
ДЕЙСТВИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА РАСТЕНИЯ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ

Л. А. ХРИСТЕВА

Стимулирующий эффект физиологически активных форм (ФАВ) гуминовых кислот можно считать твердо установленным фактом, однако степень его проявления далеко не всегда стабильна.

Еще в начале пятидесятых годов мы заметили (Л. А. Христева, 1954), что эффект от применения этих веществ всегда относительно выше при отклонении внешних условий от нормы. К этому же выводу независимо от нас пришли и многие другие исследователи.

Совершенно очевидно, что изучение этих условий имеет не только теоретическое, но и практическое значение, так как позволяет дифференцировать районы и приемы наиболее эффективного использования ФАВ в сельском хозяйстве. Однако наиболее полное решение этой проблемы будет возможно тогда, когда вскроются биологические механизмы взаимодействия ФАВ с субклеточными структурами и функциями организма как такового. Поэтому рассмотрим имеющийся экспериментальный материал под этими двумя углами зрения.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФАВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Минеральное питание является одним из наиболее изученных и наиболее регулируемых волей человека факторов внешней среды. Не вдаваясь в историю данного вопроса, отметим, что на современном этапе развития сельского хозяйства для всех технически развитых стран важнейшей задачей является повышение коэффициента использования минеральных удобрений, и, прежде всего, азотных, так как прямое увеличение доз выше определенного предела эффекта не дает.

В недавно вышедшей книге «Органическое вещество целинных и освоенных почв» М. М. Кононова (1972) приводит данные Яровенко (1969) по оплате одного килограмма азота, внесенного под хлопок, четко иллюстрирующие это положение. И дальше она говорит: «По нашему мнению, наряду с разработкой таких рекомендуемых приемов агротехники, как изменение сроков внесения удобрений, различные соотношения в них питательных элементов, следует использовать результаты опыта, достаточно убедительно показывающие более эффективное использование минерального азота на агрофонах, обогащенных органическим веществом путем внесения навоза (Скрябин, 1970) или травосеяния (Яровенко, 1969)».

Несомненный интерес представляют и работы ряда авторов, показывающие возможности использования физиологически активных веществ гуминовой природы для этих целей. Кроме этого, важно знать, при каких условиях минерального питания наиболее эффективны ФАВ.

Советские ученые начали заниматься этим вопросом еще в конце 40-х и начале 50-х годов (Л. А. Христева, 1947; Л. А. Христева,

А. Е. Пшеничный, Л. Р. Пивоваров, 1957). На основании этих исследований они пришли к выводу, что «между минеральным питанием и стимулирующим влиянием гуминовой кислоты существует определенная связь. Она выражается в том, что гуминовая кислота, благодаря физиологически активным свойствам, способствует более полному использованию минеральной пищи и, в особенности тогда, когда условия минерального питания отклонены от нормы». В качестве примера, подтверждающего вышеизложенное, приводим в таблице 1 результаты одного из наших опытов, подтвердившие, что эффективность гуминовых кислот была особенно заметна на фоне избытка азота и при недостатке фосфора.

Таблица 1. Влияние соотношения N к P на начальных этапах развития яровой пшеницы на эффективность гумата натрия (опыт в песчаной культуре на смеси Гельригеля)

Схема опыта		Вес растений яровой пшеницы в 30 дней		
Соотношение	Внесено через 15 дней	Без гумата Na	С гуматом Na	
		в % к 1 N : 1 P	в % к 1 N : 1 P	в % к своему контролю (без гумата Na)
1N : 1P	—	100	99	99
1N : 1/4P	+ 3/4P	53	111	192
1/4N : 1P	+ 3/4N	81	79	98
3N : 1/4P	+ 3/4P	76	129	158

P опыта = 1,01 %

Однако здесь не было поражающих доз азота, поэтому позднее мы поставили цель выяснить, можно ли воздействием ФАВ на семена и первичные фазы роста проростков повысить сопротивляемость растений к высоким дозам азота. В этом опыте семена кукурузы ВИР-42 проращивались сперва на гумате Na и на воде (контроль) до двухнедельного возраста, затем пересаживались на смесь Прянишникова с разным количеством азота (культуры водные, фосфор дан в виде смеси Зеренсена). Через 7 дней после пересадки опыт учитывался по корневому тесту (Л. А. Христева, 1962) — таблица 2.

Таблица 2. Влияние гуминовой кислоты на способность проростков кукурузы переносить избыточные дозы азота

Схема опыта		Первичные корни		
Норма азота в смеси Прянишникова, на которую были пересажены двухнедельные проростки	Среда проращивания семян и получения проростков	I порядка		II порядка
		Средняя длина, мм	Количество на одно растение	Средняя длина, мм
1	вода	9,4	34	13
1	0,0025%-ный раствор гумата натрия	12,0	71	19
4	вода	11,7	24	4
4	0,0025%-ный раствор гумата натрия	12,7	54	14
8	вода	8,2	20	4
8	0,0025%-ный раствор гумата натрия	11,1	44	10

Из таблицы 2 следует, что влияние гумата на всех фонах азотного питания было положительным, но особенно важно, что предварительное выращивание проростков на гумате натрия повысило их сопротивляемость даже к таким концентрациям азота, как N₈, которые были явно поражающими.

При нашей лаборатории, тогда аспирантом, а теперь кандидатом с.-х. наук Л. Е. Айзиковичем (1966) были проведены полевые опыты с рисом, которые показали, что наличие ФАВ и других органических веществ в составе удобрения повышает эффективность азота в высоких дозах и снимает его отрицательное действие в естественной среде (табл. 3).

Таблица 3. Эффективность гумофоски под рис на различном уровне азотного питания (по опыту Айзиковича, 1966 г.)

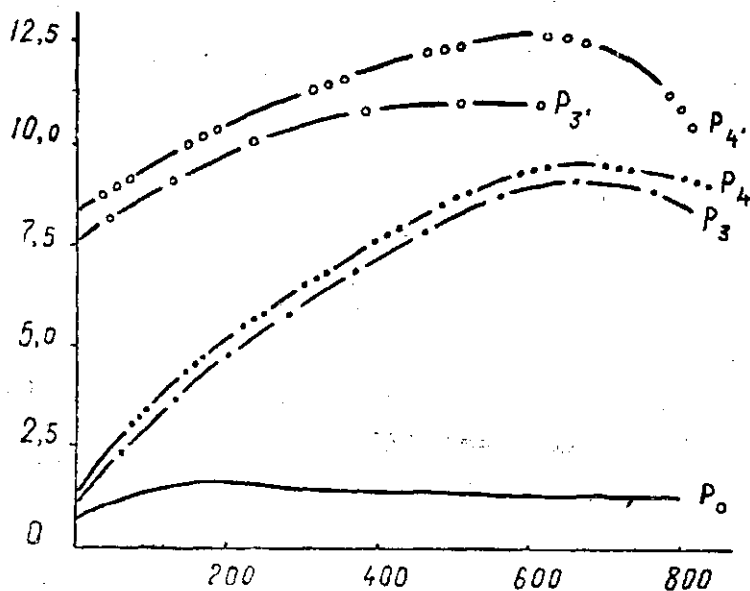
Схема опыта	Фон — N ₆₀ P ₁₀₀		Фон — N ₁₂₀ P ₁₀₀		Фон — N ₁₈₀ P ₁₀₀	
	Прибавка					
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Контроль (фон)	(37,2)	—	(52,0)	—	(59,7)	—
Фон + N ₆₀ P ₉₀ K ₂₀ в гумофоске	6,2	16,6	6,8	13,1	3,5	5,9
Фон + N ₆₀ P ₉₀ K ₂₀ в минеральных удобрениях	5,1	13,7	2,3	4,4	-3,2	-5,3

P опыта = 2,3%

Повышение эффективности минеральных удобрений при параллельном использовании ФАВ гуминовой природы отмечено также в ряде работ, публикуемых в этом сборнике (Л. В. Фот, Ф. Г. Вафина, В. Е. Коваленко, М. П. Сонько и др.). Об этом же свидетельствуют и многочисленные работы других советских исследователей, помещенные в тематических сборниках «Гуминовые удобрения», т. I, II и III, 1957, 1962, 1968 годов. Однако наиболее убедительными в этом аспекте необходимо считать работы М. М. Кононовой и И. Александровой (1971), которые использовали изотопный метод исследования.

В опытах с просом и овсом в песчаных культурах на смеси Бриха, содержащей KN¹⁵O₃ они доказали, что добавление растворов гуминовых кислот к питательной среде не только положительно повлияло на усвоение N¹⁵, но и способствовало лучшему использованию азота, входящего в состав самих гуминовых кислот. Из зарубежных работ в этом плане нужно прежде всего остановиться на исследованиях Шаминада с сотрудниками (1953, 1958, 1968), которые начали их в пятидесятых годах, и работах Ф. Эрнандо (1968). В своих работах Шаминад, стремясь дифференцировать ответную реакцию растений на минеральные и органические удобрения, ставил опыты в вегетационных сосудах с различными перегнойными веществами, как то: навоз, ферментированная солома или торф, выделенные гуматы и другие на фоне внесения минеральных солей в разных дозах. В опыте с райграсом он показал, что кривые ответов растений на разные дозы азота связаны с уровнем фосфорного питания (рис. 1). Однако при увеличении дозы как азота, так и фосфора наступает «потолок» в их действии. Дальнейшее увеличение азота и фосфора приводит даже к угнетению растений. Внесение гуминовых веществ на таком фоне значительно смещает этот «потолок». В его опытах было также четко показано влияние гуминовых веществ на вынос питательных элементов. В качестве примера в таблице 4 представлены результаты опытов с рожью. Шаминад объяснял, с одной стороны, полученные другими авторами опыты, а с другой — эффектом «разбавления» поступивших веществ массой урожая. Не менее интересен рис. 2, где приведены данные другого вегетационного опыта с райграсом. В этом опыте на фоне достаточного снабжения растения всеми элементами питания доза азота

Сухой массы,
г на сосуд



Дозы азота, мг на сосуд

Рис. 1. Влияние ферментированного торфа на урожай райграсса при равномерном уровне питания:

P₀ — урожай райграсса без внесения фосфора; P₃, P₄ — урожай райграсса при внесении фосфора в разных дозах; P₃', P₄' — урожай райграсса при внесении фосфора в разных дозах на фоне ферментированного торфа.

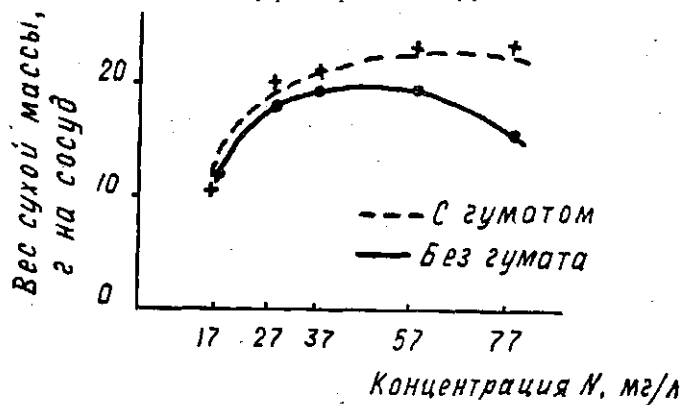


Рис. 2. Влияние гумата натрия на урожай райграсса (Chamipade, 1958).

менялась. При этом оказалось, что и наивысшая урожайность была получена при внесении его из расчета 27 мг/л; дальше кривая урожайности давала некоторое плато, а затем падала вниз. Внесение 2,5 мг/л гуматов натрия из перегноя резко изменило картину. Исчезло отрицательное действие больших доз азота и по мере их увеличения урожайность райграсса увеличивалась, хотя и непропорционально. На аналогичную картину указывает график по выносу азота (Шаминад, 1958), только здесь еще более заметно снятие гуматом какого-то фактора, лимитирующего восприятие им азота. Шаминад подчеркивает, что этот процесс сопровождается и лучшим использованием поступившего азота

Таблица 4. Вынос питательных элементов рожью по Шаминаду (1968 г.)

Количество каждого элемента, внесенного на 1 кг почвы (NPK), мг	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	без гумуса	с гумусом	без гумуса	с гумусом	без гумуса	с гумусом
5	0,5	0,7	0,4	0,6	29,3	28,9
10	0,5	1,0	0,5	4,1	30,0	35,4
20	2,9	3,2	3,0	3,7	31,9	36,1
30	4,5	5,7	1,7	4,6	34,3	35,9
40	4,2	9,2	4,2	5,1	35,3	42,3

в самом растении, так как на единицу азота образуется большее количество сухого вещества.

Не менее интересны в этом плане исследования Ф. Эрнандо (1968). Отличие его работ от предыдущих состоит в том, что он испытывал в гидропонике на кварце разные дозы NPK на фоне изменяющихся доз физиологически активных гуминовых веществ. В опыте с кукурузой он получил четкие результаты, показавшие, что физиологически активные гуматы снимают токсичность высоких доз NPK, причем, это действие

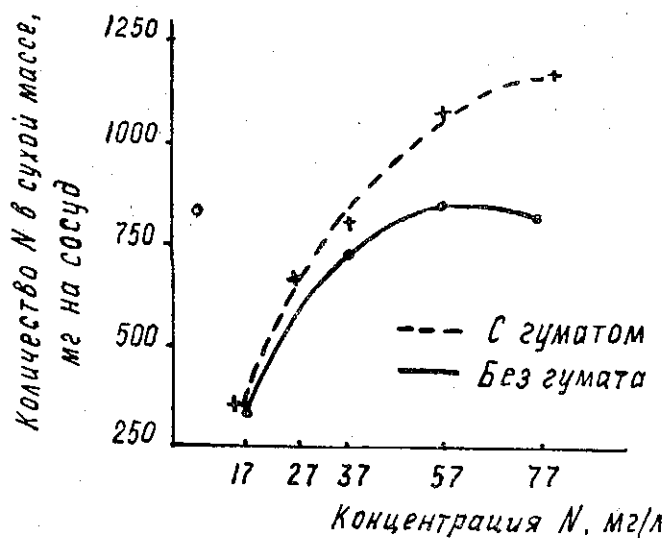


Рис. 3. Влияние гумата на вынос азота райграса (Chaminade, 1958).

хорошо проявляется при дозах гумата 6,24 и 96 мг/л (рис. 4 и 5). Разброс доз гумата по эффективности Ф. Эрнандо объясняет тем, что в основе физиологического действия этих веществ лежат два начала. Первое начало — это хиноидные и полифенольные группы, входящие в состав молекулы гуминовых кислот, которые активизируют реакцию оксидоредукции и перенос H₂ на O₂, и второе — это наличие в молекуле гуминовой кислоты второй части, образованной белками и другими химическими группами, по его мнению, обладающими энзиматическими свойствами. Эта часть молекулы, как он считает, оказывает влияние на фотосинтез. Установившееся между двумя факторами равновесие определяет их физиологический эффект на растения; причем в зависимости от дозы гуминовой кислоты в ее действии преобладает то одна, то другая сторона.

В своих работах Ф. Эрнандо иллюстрирует, что гуминовые кислоты нормализуют поступление ионов NO₃ из растворов, содержащих повышенные концентрации NPK, и почти не оказывают влияния на по-

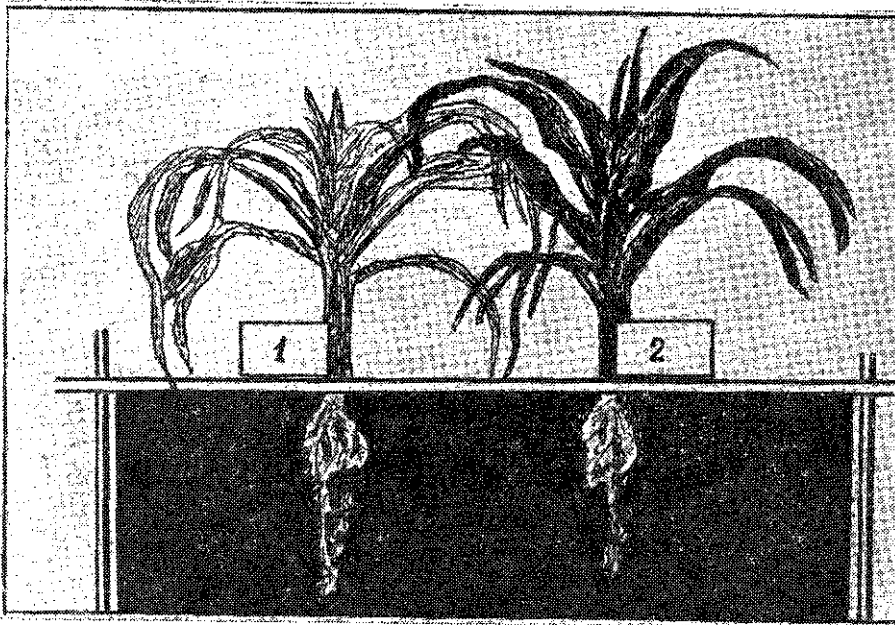


Рис. 4. Снятие отрицательного действия высоких доз минеральных удобрений на кукурузе добавлением гуминовой кислоты:
 1 — контроль — тройная доза минеральных удобрений без ГК; 2 — то же + 6 мг ГК.

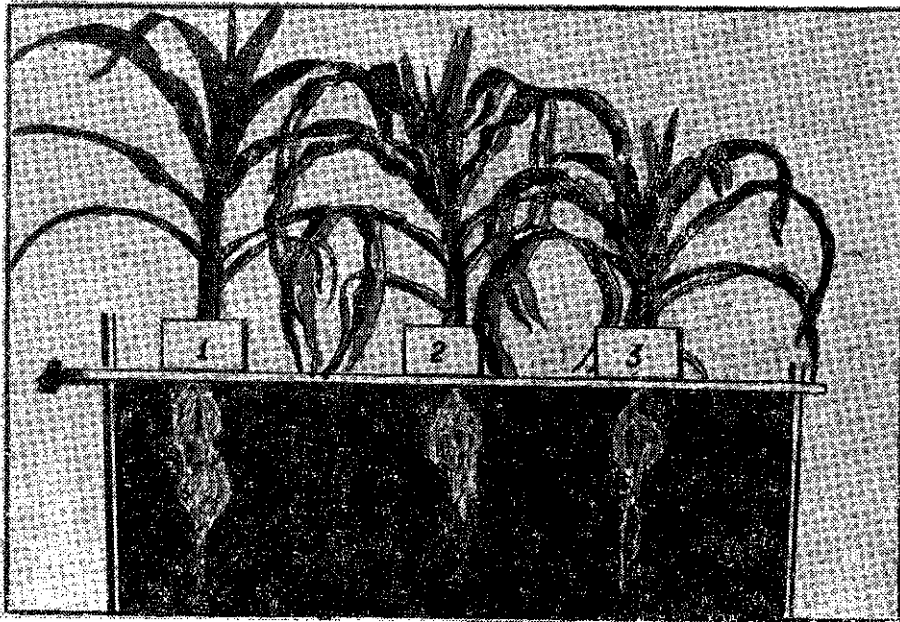


Рис. 5. Влияние возрастающих доз (1, 2, 3) минеральных удобрений на кукурузу (Hernando, 1968).

ступление PO_4 . Исследователь подчеркивает, что при высоких дозах NPK наступает хлороз, а гуминовая кислота его снимает, выравнивая поступление азота и магния. Оптимальная доза гуминовых кислот, по его мнению, может быть найдена только с учетом доз NPK, по фону которых она вносится.

Большой интерес в этом плане представляют работы Гуминского и Гуминской (1971), которые показали, что фракции гуматов или гумат натрия без разделения на фракции могут быть использованы как защита при высоких концентрациях питательного раствора. Им удалось в условиях гидропоники подтвердить, что внесение гуматов в среду повышает урожай культур на фоне 4-кратной концентрации NPK на 40% против нормальной питательной смеси. Они подчеркивают, что питательный раствор в тройной концентрации без гумата действует на раствор отрицательно.

ДРУГИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Выше мы рассмотрели эффективность действия ФАВ в зависимости от соотношения и доз основных минеральных элементов; но на поступление питательных элементов в растение влияют не только их формы, наличие в среде корневого питания, а и осмотическое давление, наличие токсичных ионов в почвенном растворе, его pH, доступ кислорода к корням и другие. Есть основания полагать, что физиологически активные вещества, вызывая существенные сдвиги в обмене веществ у растений, могут влиять на их реакцию и на эти факторы.

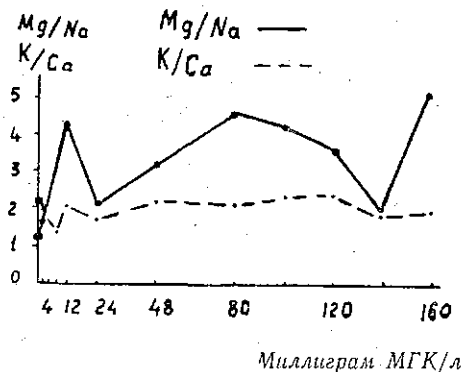


Рис. 6. Действие различных доз гуминовой кислоты на отношение K/Ca и Mg/Na в растении кукурузы, выращенном на солевом растворе с 12,6 Мо проводимости (по Ф. Эрнандо).

Вопросу использования растворимых гуматов для снятия токсикоза у растений, вызванного засолением среды корневого питания, посвятил одну из своих работ Эрнандо (1968). Для решения поставленной задачи исследователь вводил в нормальный питательный раствор $CaCl_2$, $NaCl$ и $MgSO_4$, повышая его концентрацию до 5,6 и 12,6 Мо проводимости. На этом фоне Эрнандо испытал действие разных доз гуминовых кислот.

Из его работ следует, что гуминовая кислота при определенных концентрациях снимает токсическое действие засоления в 5,6 Мо, задерживающее нормальный рост кукурузы. Подчеркивая, что максимум действия гуминовой кислоты проявляется в двух дозах, а именно 12 и 120 мг/л, Эрнандо усматривает подтверждение своего представления о двух сторонах физиологического действия ее молекулы.

Он приводит данные (рис. 6), показывающие, что под влиянием гуминовой кислоты в растениях при засолении нормализуется соотношение катионов, причем отмечает, что благотворное влияние на соотношение Mg/Na коррелирует с влиянием на урожай. При увеличении дозы гуминовой кислоты выше 190 мг/л ее действие переходит в свою противоположность. Такое высокое засоление как 12,5 Мо снимается труднее. Оптимальной дозой гуминовых кислот является 80 мг/л.

Основные выводы, которые делает этот автор, следующие:

- 1) гуминовая кислота снимает токсикозы, вызванные нарушением физиологического равновесия в сфере корневого питания;
- 2) применение уровня физиологически активной гуминовой кислоты не пропорционально получаемому эффекту;
- 3) расчет органических удобрений требует более сложных подходов, чем минеральные удобрения.

А. В. Петербургский (1957) приводит данные вегетационного опыта, характеризующие влияние разных доз гуминовой кислоты на рост гороха в зависимости от рН среды. «Это вещество было более эффективно в случае неблагоприятных реакций среды (рН 4 и 7,5) и проявило слабое действие в случае реакции, вполне подходящей для гороха (рН 6). Следует отметить, что при всех реакциях среды максимальный эффект получен от самой малой из бывших в опыте доз гуминовой кислоты».

Анализируя природу этого явления, он подчеркивает, что условия опыта были такие, что не могло быть и речи об усреднении реакции среды при применении гуминовых кислот, что и подтверждалось при экспериментальном определении рН 2 раза в сутки.

Полученные результаты исследователь склонен был связать с сорбционными свойствами указанных кислот.

Обобщая свои многочисленные опытные данные по установлению связей между эффективностью гуматов и реакцией среды, профессор Гуминский (1971) утверждает, что здесь действует закон: чем большее отклонение реакции среды от оптимального для данного растения, тем заметнее эффект физиологического действия гуматов (имеются в виду отклонения рН, которые не приводят к гибели растений).

Начиная с пятидесятых годов, этот ученый со своими сотрудниками направил усилия на выяснение значения количества кислорода в среде корневого питания в связи с физиологическим эффектом рассматриваемых веществ у томатов.

Изучая этот вопрос на тест—культуре томатов, он пришел к выводу, что эффект действия гуминовых веществ повышается при недостатке кислорода в корневой среде. Для иллюстрации положения приведем сделанные нами усредненные расчеты, характеризующие относительный эффект от гуминовых веществ на сухом весе томатов при разных условиях аэрации среды корневого питания (расчеты сделаны на основании данных статьи Гуминской и Гуминского, 1953).

Оказывается, что при продувании прибавка водных культур в весе надземной массы составила 35 и корней +44,4%, а без продувания соответственно +36,4 и +267%.

Приведем результаты одного из наших опытов в водной культуре с проростками кукурузы сорта ВИР-42, в которой гуминовые кислоты вносились в среду на фоне различных условий минерального и кислородного питания. Последнее достигалось разным режимом возобновления кислорода в среде (табл. 5). Средняя температура проведения этого опыта была 30—32°C.

Эти данные показывают, что растения, корни которых находились в среде с пониженным содержанием кислорода, больше пострадали от высоких доз азота, чем те, которые хорошо аэрируются. Это значит, что достаточное количество кислорода в среде нужно рассматривать,

Таблица 5. Влияние гуминовых кислот на способность растений переносить избыток азота при разном режиме кислородного питания

Схема опыта	С продуванием и взбалтыванием			Без продувания со взбалтыванием		
	неповрежденных растений на 10-й день опыта	средняя длина корня, М.±м	количество корней 2-го порядка на растение	неповрежденных растений на 10-й день опыта	средняя длина корня, М.±м	количество корней 2-го порядка на растение
Полная смесь Прянишников	62,5	115±7	44	44,5	101±6	27
То же + гумат натрия 10 мг на 1 л	87,5	130±6	57	87,5	122±5	69
Смесь Прянишников, содержащая 4 нормы N	50,0	105±5	41	32,0	96±4	27
То же + гумат натрия 10 мг на 1 л	68,0	135±6	64	65,0	128±7	60
Смесь Прянишников, содержащая 8 норм N	37,5	98±4	18	12,0	94±4	10
То же + гумат натрия 10 мг на 1 л	37,5	96±6	36	38,0	99±9	12

как фактор повышения резистентности растений к неблагоприятным условиям. Что же касается влияния гуматов натрия, то совершенно очевидно, что их действие на фоне 4-х доз азота было более заметно, чем при одинарной дозе и что этот эффект был относительно выше при недостатке кислорода в среде. Следовательно, ФАВ гумусовой природы поднимает резистентность растений и при наложении 2-х неблагоприятных факторов — недостатка кислорода и избытка азота. Однако такой эффект от гуматов не прослеживается уже в варианте 8N.

Гуминский и Бадур (1965) изучали вопрос об эффективности физиологически активных гуматов в присутствии бикарбоната Na и пришли к выводу, что под влиянием гуминовых кислот повышается сопротивляемость растений (тест — культура томаты) к токсическому воздействию NaHCO_3 . Этот эффект проявляется больше опять-таки при сниженном количестве кислорода в среде корневого питания. Токсические действия соды они связывают с выпадением Fe в осадок, чему противодействует гуминовая кислота.

Влияние температуры на эффективность ФАВ можно продемонстрировать нашими данными, которые приводятся в таблице 6. Корневой тест показывает, что температура опыта очень сильно сказалась на эффективности гуминовых кислот. На одну и ту же температуру растения реагируют по-разному. Было замечено, что в тех случаях, когда температура ФАВ ниже уровня нужного для ферментативных процессов, ФАВ не дают должного эффекта.

Таблица 6. Эффективность гумата натрия в зависимости от температуры окружающей среды

Культура	Схема опыта	14—18°C			8—12°C		
		длина корня первого порядка, мм	число корней второго порядка, мм	длина стебля, мм	длина корня первого порядка, мм	число корней второго порядка, мм	длина стебля, мм
Озимая пшеница	Вода	36	нет	85	36	нет	75
ОД — 3	Гумат натрия	150	220	200	124	119	95
Яровой ячмень	Вода	56	нет	180	32	нет	100
ОД — 9	Гумат натрия	173	145	180	280	180	180

Более полное освещение этого вопроса можно найти в статье Котлюбы и Реутова (1962). Используя P^{32} , они отметили, что при температуре, угнетающей ферментативные процессы, гуминовые вещества не только не стимулируют поступление фосфора в растение, как это происходит при более высоких температурах, а наоборот, способствуют его выходу в среду.

Таблица 7. Влияние гуминовой кислоты на поступление P^{32} в проростки ячменя при разных температурах внешней среды (по опыту В. Г. Котлюбы и В. А. Реутова)

Варианты опыта	Число имп/мин на 10 кг сухого вещества							
	Номера опытов							
	1	2	3	4	1	2	3	4
	$t^{\circ} + 11$		$t^{\circ} + 8$		$t^{\circ} + 22$		$t^{\circ} + 18$	
Вода + P^{32}	1330	837	323	484	2156	1995	683	618
Гуминовая кислота + P^{32}	1226	615	276	334	2632	нет данных	855	767

Повышение относительной эффективности гуминовой кислоты можно наблюдать и при снижении влажности почвы. Это хорошо иллюстрирует таблица 8, в которой приведены данные нашего вегетационного опыта, поставленного при разных условиях полива. Опыт был заложен на каштановой почве с яровой пшеницей Тетчер. Результаты свидетельствуют, что при поливе до 60% от полной влагоемкости гуминовая кислота незначительно повысила урожай зерна и несколько снизила урожай соломы. При недостаточной влажности в более поздний период (полив до 35% от полной влагоемкости) картина резко изменилась. Гуминовая кислота оказала значительное положительное влияние на образование органов репродукции и даже способствовала росту стеблей. Особенно заметным оно было, когда кислоты вносили при набивке сосудов на удобренном фоне. В этом случае вес колосьев был больше своего контроля (NP) на 90%, хотя урожай зерна больше только на 25%. Последнее нужно отнести за счет неблагоприятных условий для налива зерна.

Таблица 8. Влияние гуминовой кислоты на урожай яровой пшеницы при различных условиях питания и полива

Схема опыта		Полив до 60% полной влагоемкости			Полив до 35% полной влагоемкости		
Фон	Удобрено гуминовой кислотой	на сосуд, г			на сосуд, г		
		вес стеб- лей	ко- лосьев	зерна	вес стеб- лей	ко- лосьев	зерна
Без удобрения	Нет	11,0	7,5	5,1	6,3	4,7	3,3
	При набивке	10,8	7,9	5,4	7,0	5,4	3,3
	То же +2 поли- ва	9,3	8,0	5,6	7,4	5,8	3,7
NP	Нет	22,0	17,9	12,8	12,0	7,2	4,6
	При набивке	19,2	18,1	13,0	15,3	14,0	5,8
	То же +2 поли- ва	22,4	20,0	13,8	11,5	11,1	4,4
То же в % к контролям							
Без удобрения	При набивке	92	105	106	111	116	100
	То же +2 поли- ва	84	106	109	119	125	112
NP	При набивке	87	101	101	120	194	125
	То же +2 полива	102	111	108	96	154	96

Примечание: до кушения все сосуды поливались до 60% от полной влагоемкости.

Отсюда следует вывод:

Эффективность гуминовой кислоты выше, когда растение поставлено в условия, отклоняющиеся от нормы. Гуминовая кислота повышает засухоустойчивость растений.

Приведем результаты опытов, в которых изучалось влияние условий кислородного питания и гуминовых кислот на жароустойчивость растений. Они ставились так: проростки растений — ячменя, кукурузы, овса — инфильтровались по методу Курсанова водой и раствором гумата натрия (0,001%) и высаживались на 48 часов в общие вакуум-эксикаторы, в которых создавалась температура 45—50°C и различный режим кислородного питания (содержание кислорода в воздухе 21 и 5%). О степени жароустойчивости растений судили по понижению их тургора и пожелтению. Параллельно определяли интенсивность дыхания.

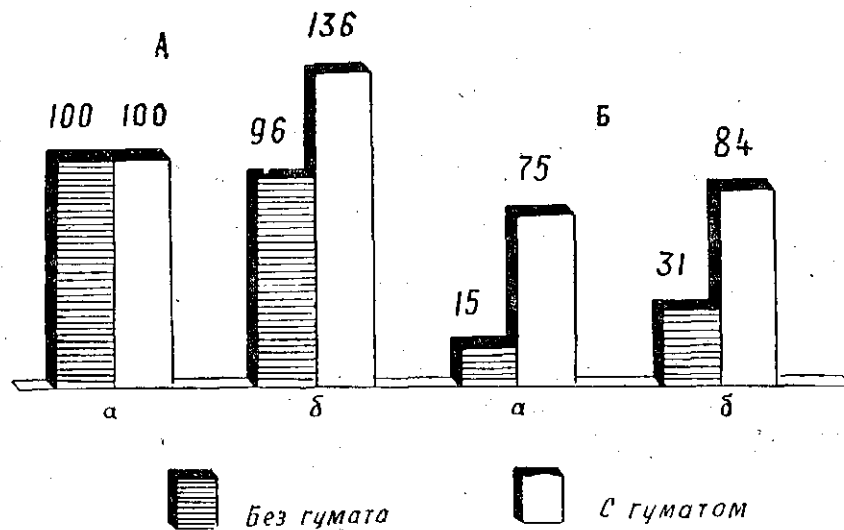


Рис. 7. Влияние гумата натрия и количества O₂ на жароустойчивость ячменя. Содержание O₂ в воздухе: А — 21%; Б — 5%; а — процент растений, оставшихся зелеными; б — поглощено O₂ в мл³ за 5 мин на 1 г.

Результаты этих опытов показали (рис. 7), что под действием высоких температур, но при нормальном содержании кислорода в воздухе, растения слегка пожелтели, а действие гуминовой кислоты сказалось только на сохранении тургора и повышении интенсивности дыхания. В том случае, когда содержание кислорода в воздухе было 5%, растения сильнее пострадали от действия высоких температур. Инфильтрация гуминовой кислоты в этих условиях значительно уменьшила количество пожелтевших листьев. Так, в одном из опытов с ячменем количество пожелтевших растений на контроле было 85%, а при инфильтрации гуматом натрия — 27%. В опыте с кукурузой и овсом процент пожелтевших листьев на контролях составлял в среднем около 50%, а при инфильтрации гуматом натрия — 20%. Кроме того, было замечено, что гуминовые кислоты, введенные в лист, понижают транспирацию.

М. М. Кононова (1965) показала, что проявление действий физиологически активных веществ в большой степени зависит от относительной влажности воздуха. Оказалось, что, если влажность воздуха низка, эффективность физиологически активных гуматов выше.

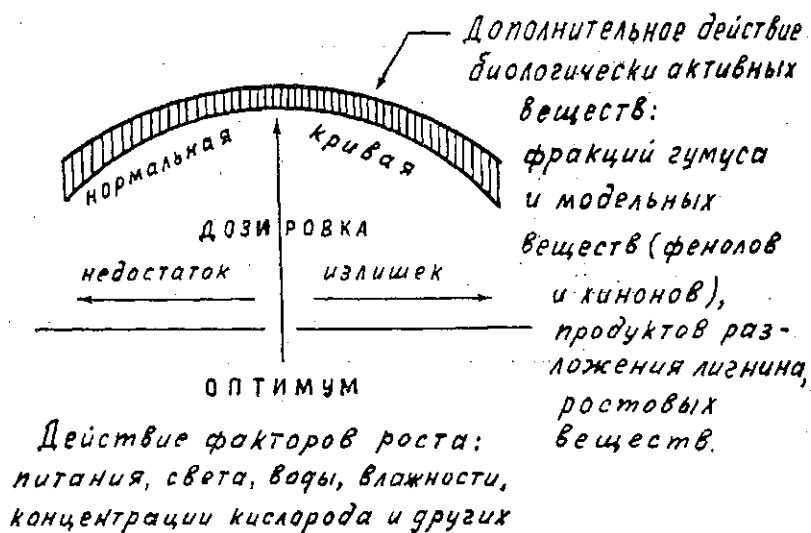


Рис. 8. Влияние физиологически активных веществ на получение урожая в связи с изменениями факторов роста по Флайту.

В вегетационных опытах со стерильными песчаными культурами яровой пшеницы Зохтиг отметил, что при недостаточном освещении ванилин, который он рассматривает как фрагмент гуминовых кислот, оказывал заметное положительное влияние на образование сухой массы корней и проростков. При усилении освещения до 500 вт/м^2 этот эффект исчезал, более того, присутствие ванилина отрицательно сказывалось на корнеобразовании (Söchtig, 1964).

Из приведенного выше материала можно сделать принципиальный вывод: физиологически активные гуминовые кислоты повышают сопротивляемость растений и не к каким-то определенным факторам внешней среды, а поднимают их общую резистентность. Или другими словами — физиологически активные гуминовые вещества повышают общую неспецифическую сопротивляемость организма (рис. 8).

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ ЯВЛЕНИЯ И ЕГО ВОЗМОЖНОМ ЗНАЧЕНИИ

Прежде всего нужно отметить, что в медицине давно уже известен ряд лекарственных средств, обладающих особенностью повышать общую резистентность организма. Это и препараты женьшеня, элеутерококка колючего, золотого корня и других растений. Это и синтетические препараты — производные бензимидазола, например, диабазол, это и тканевые препараты и стимуляторы, предложенные академиком Филатовым. Большинство исследователей, работающих с этими веществами, считают, что сходство в действии их объясняется непосредственным влиянием их на клетки и синтез белка (М. А. Розин, 1967, 1971, Пучковская, 1972 и др.). Что же касается природы действия физиологически активных гуминовых веществ на растения, то, хотя по этому вопросу имеется огромная литература, содержащая часто разноречивые точки зрения, теории, позволяющей объяснить природу повышения общей сопротивляемости растительного организма под их влиянием еще нет. В связи с этим приведем некоторые соображения и результаты экспериментальных исследований, которые, по нашему мнению, могут быть использованы для создания рабочей гипотезы в целях дальнейшего изучения этого вопроса.

Необходимо подчеркнуть, что у растений характерным тестом реакции на внешние условия может служить их рост, являющийся инте-

гральной функцией многих биохимических и физиологических процессов, разворачивающихся в клетках. Из этих процессов определяющими в указанном плане, очевидно, следует считать энергетические и синтез нуклеиновых кислот, ответственных, как за передачу генетической информации, так и за информацию при синтезе белка, а также собственно синтез белков ферментов, которые направляют и контролируют весь цикл клеточного метаболизма.

Известно, что течение метаболических процессов, с одной стороны, тесно связано с конкретными структурами клетки и зависит от их состояния, с другой — в значительной степени определяет ход этих процессов и их состояние. Следовательно, можно предположить, что ухудшение роста растений под влиянием тех или иных неблагоприятных условий, независимо от их характера, должно сопровождаться торможением указанных выше ведущих процессов обмена веществ в клетке, хотя первичные реакции, вызываемые теми или иными факторами, могут отличаться. Отсюда вытекает, что действие физиологически активных гуминовых кислот, повышающих неспецифическую сопротивляемость организма к неблагоприятным условиям внешней среды, должно быть направлено на нормализацию и стимуляцию тех же ведущих процессов клеточного метаболизма, которые тормозятся или блокируются ингибирующими факторами среды. Только при этом условии клетки будут приобретать дополнительную возможность быстро репарировать свои жизненно важные структуры и этим самым противостоять пагубному воздействию неблагоприятных условий.

В работах (Л. А. Христева, 1962, 1968), а также в исследованиях, выполненных нашими сотрудниками, (Дынкина, 1968; Горовая, 1968, Фот, 1969), показано, что физиологически активные гуматы в какой-то мере снимают действие ряда дифференцированных ингибиторов — дыхания (р-нитрофенол) окислительного фосфорилирования (2,4-динитрофенол) синтеза нуклеиновых кислот и белка (8-азогуанин, ДНК-нуклеаза, пирофосфат Na актиномицид Д, хлорамфеникол). При этом было также установлено, что параллельно снимаются блоки таких функционально зависимых процессов и параметров, как митоз, объем ядер и рост отдельных органов растений.

Для иллюстрации снятия действия ряда ингибиторов при помощи ФАВ по ростовому тесту приведем результаты некоторых опытов (таблицы 9, 10, 11).

Таблица 9. Влияние 2,4-динитрофенола и гумата натрия на рост корешков маша

Среда выращивания семян	Средняя длина корешка через 24 часа после намачивания, мм	Проростки пересажены на:		
		воду	гумат натрия	2,4-ДНФ
		средняя длина корешка через 72 часа после пересадки, мм		
Вода (контроль)	13,5	30,9	45,1	17,9
Гумат натрия, 0,005%	18,3	55,8	49,2	20,5
2,4 ДНФ, 10 ⁻³ М	4,0	22,2	34,5	6,6

Таблица 10. Влияние 8-азогуанина и растворимых гуматов на рост корешков маша

Схема опыта		Длина корня, мм		
среда выращивания семян	среда, на которую пересаживали проростки	через 48 часов после намачивания	после пересадки	
			через 72 часа	через 96 часов
Вода	Вода	18,8	39,6	53,4
Гумат натрия, 0,005%	Гумат натрия, 0,005%	24,8	55,0	77,8
8-азогуанин, 10 ⁻³ М	8-азогуанин, 10 ⁻³ М	11,9	19,8	20,8
8-азогуанин, 10 ⁻³ М	Вода	11,9	34,2	44,6
8-азогуанин, 10 ⁻³ М	Гумат натрия, 0,005%	11,9	43,2	54,0

Таблица 11. Влияние пирофосфата натрия и растворимых гуматов на рост корешков маша

Схема опыта		Длина корня, мм		
среда проращивания семян	среда, на которую пересаживали проростки	после намачивания через 48 часов	после пересадки	
			через 72 часа	через 96 часов
Вода	Вода	18,0	39,6	53,4
Гумат натрия, 0,005%	Гумат натрия, 0,005%	24,8	55,0	77,8
Пирофосфат натрия, 10^{-3} М	Вода	14,5	34,2	44,6
Пирофосфат натрия, 10^{-3} М	Пирофосфат натрия, 10^{-3} М	14,5	35,6	42,4
Пирофосфат натрия, 10^{-3} М	Гумат натрия, 0,005%	14,5	56,2	69,2

Таблица 12. Влияние гумата натрия на снятие ингибирующего действия хлорамфеникола (опыт с проростками оз. пшеницы сорта Веселоподолянская 499, проведенный Л. В. Фот)

Схема опыта		Длина проростков, мм	Сырой вес проростков с чашки, г	Содержание белка в % на абс. сухой вес	Содержание свободных аминокислот, мг/%
среда, в которой замочены семена на 48 часов	среда, в которую пересажены проростки на 6 суток				
Вода	Вода	143	3,25	14,86	181,1
Хлорамфеникол	Хлорамфеникол	73	1,33	10,94	1230,0
Хлорамфеникол	Вода	98	2,10	13,57	707,2
Хлорамфеникол	Гумат натрия	119	2,60	15,56	551,4

Таблица 13. Эффект снятия растворимыми гуматами ингибирующего действия хлорамфеникола на митотическую активность меристематических клеток корешков кукурузы (по опыту А. И. Горовой)

Среда, в которой наклюнулись семена выдерживались в течение 24 часов	Среда выращивания проростков	Количество исследованных клеток, шт.	Митотический индекс — абс. разброс
Вода	Вода (контроль)	5400	45,4±4,9
Хлорамфеникол, 0,025%	Хлорамфеникол, 0,025%	6000	12,5±2,5
»	Вода	6000	18,0±3,6
»	Гумат натрия $3,1 \times 10^{-5}$ м/л	6000	34,0±3,4

Нормализуемое влияние растворимых гуматов на синтез ДНК, после того как он был заторможен дифференцированными ингибиторами и как это сказывается на функциональном состоянии клеточных ядер, наглядно показывают рис. 9 и 10.

Из этого экспериментального материала следует также, что под влиянием изучаемых ФАВ не только снимаются блоки ведущих биохимических и физиологических процессов на уровне клетки, а и что они ими стимулируются.

В связи с тем, что установление факта ускорения синтеза нуклеиновых кислот под воздействием физиологически активных гуматов имеет принципиальное значение для понимания сути их рост-активирующего действия, были приведены специальные опыты с использованием изотопной методики.

Результаты одного из них приводим в таблице 14.

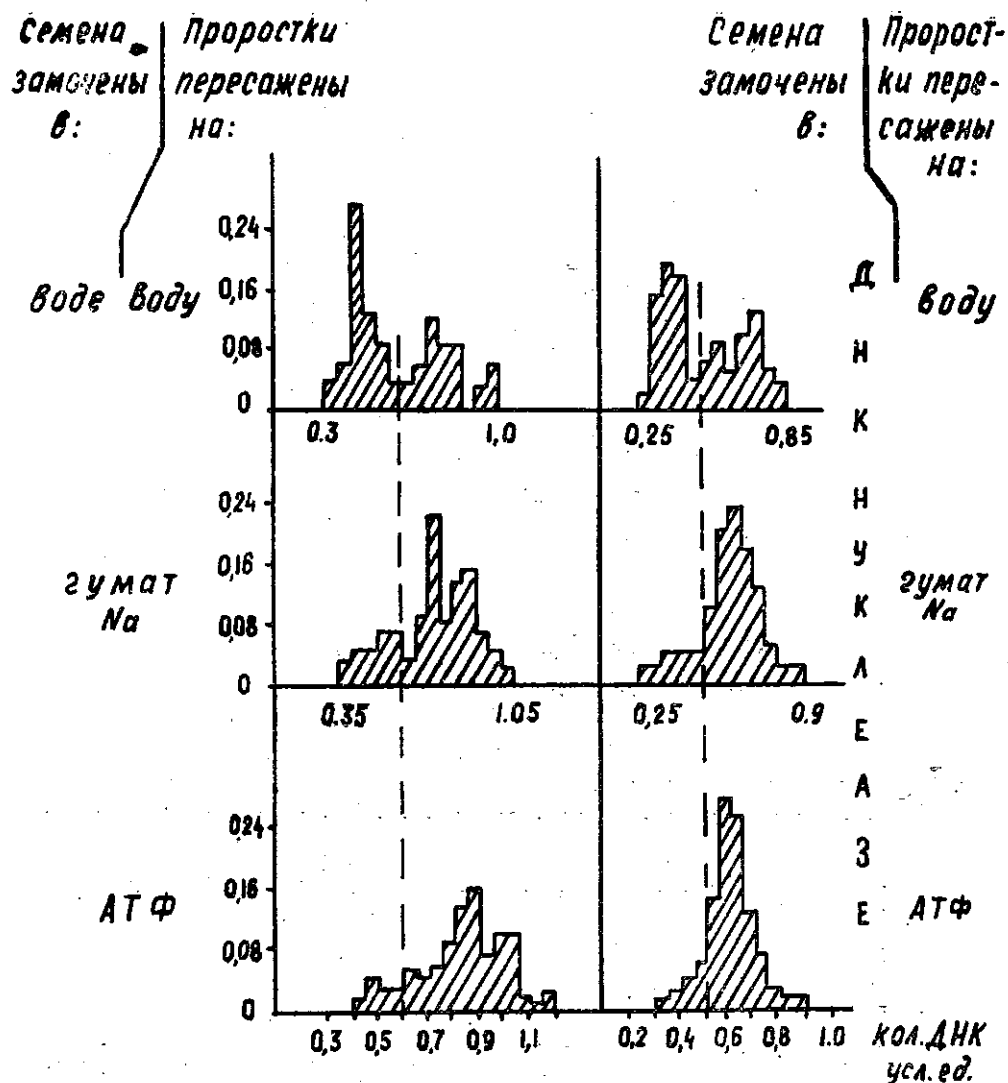


Рис. 9. Влияние физиологически активных веществ на частоту встречаемости интерфазных ядер корневой меристемы кукурузы с разным количеством ДНК (по опыту Горовой А. И.).

Таблица 14. Влияние гуматов натрия на скорость включения P^{32} в свободные нуклеотиды и ДНК меристематических тканей корешков подсолнечника

	Семена проращивались на:	Удельная активность в импульсах на μ общего фосфора	Кх (M \pm m)	T, час
Свободные нуклеотиды	Воде	3194 \pm 146	424 \pm 24	16,0 \pm 1,0
	Растворе гумата Na	4295 \pm 172	625 \pm 35	11,0 \pm 1,0
ДНК	Воде	1647 \pm 41	196 \pm 5	35,0 \pm 1,0
	Растворе гумата Na	1985 \pm 268	243 \pm 37	29,0 \pm 4,0
Низкополимерная РНК	Воде	1861 \pm 187	225 \pm 25	31,0 \pm 3,0
	Растворе гумата Na	2633 \pm 94	336 \pm 14	21,0 \pm 1,0
Высокополимерная РНК	Воде	541 \pm 52	61 \pm 6	116,0 \pm 11,0
	Растворе гумата Na	831 \pm 78	94 \pm 9	74,0 \pm 7,0

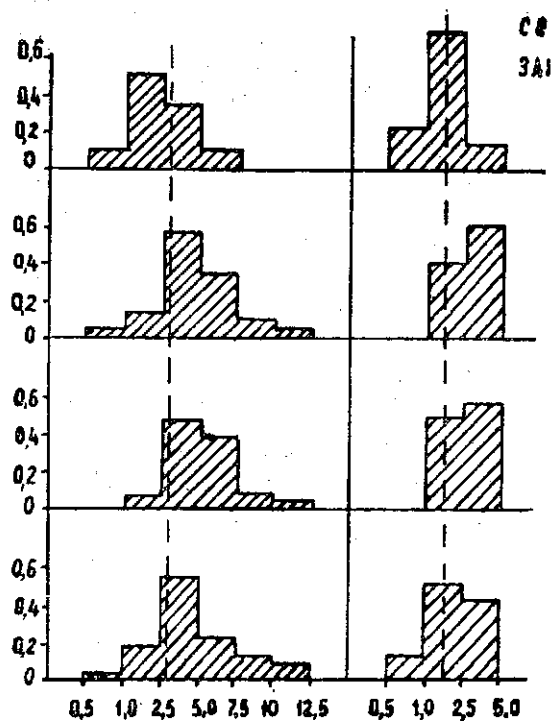


Рис. 10. Влияние физиологически активных веществ на частоту встречаемости интерфазных ядер разного объема корневой меристемы кукурузы (по опыту Горовой А. И.).

Коэффициент обновления молекул «К» $= \frac{-\ln\left(1 - \frac{AB}{An}\right)}{t}$, где АВ —

удельная активность фракций,

Ап — удельная активность раствора с P^{32} ;

t — время замачивания корней в растворе с P^{32} ;

T — время полубообновления молекул (по Д. М. Гродзинскому).

Очевидно, что под влиянием гуматов коэффициент обновления молекул увеличивается. Другими словами, подтверждается положение, что физиологически активные гуматы ускоряют скорость синтеза нуклеиновых кислот.

Таким образом, весь этот экспериментальный материал согласуется с мыслью о том, что под воздействием ФАВ растительный организм приобретает повышенную способность к репарационным процессам на уровне клетки, чем и объясняется повышение неспецифической резистентности растений в целом.

Однако, необходимо подчеркнуть, что характер первичного воздействия различных неблагоприятных факторов внешней среды на растения не идентичен. Не идентичным хотя и близким являются состав и строение физиологически активных гуминовых веществ, содержащихся в почве и органических удобрениях, а также в препаратах, получаемых на основе торфа и бурых углей. Неоднозначными являются и их первичные реакции взаимодействия с клетками и ее структурами. В этом прежде всего сложность проблемы как таковой, а также возможности использования описанных явлений в сельскохозяйственной практике. Именно эти вопросы должны стать объектом углубленных исследований ближайшего времени. И все же уже сейчас есть основание думать, что использование физиологически активных гумусовых

веществ в целях повышения общей резистентности растений возможно. Следует при этом учитывать ряд условий и, прежде всего, экологические.

В связи с этим очень полезно обратиться к работам польского ученого М. Никлевского и его сотрудников (1971), изучающих действие гуминовых препаратов, получаемых на основе торфа и угля, на урожай сельскохозяйственных культур, вычлняя среду, в которой они наиболее эффективны.

Результаты многолетних и многочисленных полевых опытов позволили М. Никлевскому сделать ряд принципиальных выводов.

Наиболее целесообразной технологией производства перегнойных препаратов проф. Никлевский считает обработку торфа или бурого угля сначала минеральными кислотами, а затем нейтрализацию их щелочами. Он отмечает, что по биологической активности препараты, полученные из высококачественного торфа и бурого угля, равноценны.

Сравнивая технологию, принятую в Польше (обработка сырья $H_3PO_4 + NaHCO_3$), с технологией, используемой в Японии (обработка $HNO_3 + MgCO_3$), он на основе результатов полевых опытов приходит к выводу, что при высоких температурах внешней среды преимущество имеют польские препараты, а при низких — японские.

Касаясь вопроса природы биологической активности препаратов, он отмечает, что физиологически активные гуматы в основном затрагивают в растениях процессы дыхания и фотосинтеза; наиболее активным влиянием на окислительные процессы при дыхании обладают фульвокислоты, экстрагированные холодной водой, а на фотосинтез — гиматомелановые кислоты. При применении фульвокислот при температуре окружающей среды выше $20^\circ C$ они дают положительный стимуляционный эффект, а при более низких — отрицательный.

Препараты, содержащие фульвокислоты, как считает проф. Никлевский, при соблюдении вышеуказанных условий в полевых опытах дают прекрасный эффект.

Гиматомелановые кислоты стимулируют процесс фотосинтеза и частично заменяют соли К. Они дают наилучшие результаты в вариантах с полной дозой минеральных удобрений, с половинной дозой солей К и с малой дозой сульфата Mg.

Проф. Никлевский считает, что во влажных районах физиологически активные гуминовые препараты имеют перспективу при внесении их в почву в сочетании с минеральными удобрениями и в виде комплексных удобрений.

В сухих районах наиболее перспективным представляется использование воднорастворимых гуминовых препаратов при внекорневых подкормках. В первом случае главный действующий фактор автор связывает с гиматомелановыми кислотами, а во втором — с фульвокислотами.

Следует подчеркнуть, что экологический подход в значительной мере позволяет прогнозировать наиболее перспективные районы применения указанных веществ и определяет оптимальные варианты их использования в конкретных условиях.

Говоря о возможном значении описуемых явлений для сельскохозяйственной практики, можно сделать еще один принципиальный вывод: при оценке плодородия почвы необходимо учитывать наличие в них физиологически активных веществ. Это важно, как в целях получения высокого хозяйственного эффекта от стимуляторов роста, так и с точки зрения устранения действия тех ингибиторов, которые могут накапливаться в почве.

Известно, что во многих районах сильная пшеница явно вырождается. Может быть, мы должны объяснить этот факт тем, что в почве накапливались ингибиторы синтеза нуклеиновых кислот и белка, что

и снижало белковость пшеницы? Тогда искать средства борьбы против этого явления следует и среди физиологически активных веществ.

Хорошо известно, что систематическое употребление химических веществ, применяемых для борьбы с различными вредителями и болезнями, часто ведет к подавлению генетических систем как микрофлоры, так и растений, а затем и животных.

Так как физиологически активные вещества устраняют в определенной мере ингибирующее влияние веществ, действующих на эти системы, возникает вопрос: возможно ли устранить при помощи ФАВ гумусовой природы токсическое действие обычных сельскохозяйственных ядов, если они накапливаются в почвах?

Высокие дозы минеральных удобрений, и в первую очередь азотных, способны вызвать токсикозы у растений. Весьма заманчивым представляется использование ФАВ гумусовой природы для борьбы с указанным явлением, тем более, что они повышают коэффициент использования элементов минерального питания.

Что же касается практических приемов применения этих веществ, то они могут быть различными. Это может быть и использование специальных препаратов для корневых и внекорневых подкормок по фону минеральных удобрений, и комплексные гуминовые удобрения, получаемые на основе торфа или бурых углей; и компосты и перегной, которые так же содержат физиологически активные вещества, хотя с этой точки зрения они изучены еще недостаточно. Этому вопросу посвящены многие работы, опубликованные в тематических сборниках «Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения», т. II, III, IV.

В свете всего вышесказанного можно сказать, что чем дальше пойдет технический прогресс на земле, тем важнее становится роль как органического вещества самой почвы, так и содержащих их удобрений и тем большего внимания со стороны научной общественности заслужит изучение гумуса почвы и удобрений.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Александрова. Сб. «Органическое вещество целинных и освоенных почв». Изд. «Наука», М., 1972.
2. Л. Е. Айзикович. Канд. диссертация «Влияние гуминовых удобрений на урожай риса в условиях юга Украины». Днепропетровск, 1966.
3. Сб. «Гуминовые удобрения, теория и практика их применения». Т. 3, Киев, 1968.
4. М. М. Кононова, И. В. Александрова. Труды симпозиума «Humus et planta», Прага, 1971.
5. М. М. Кононова. Сб. «Органическое вещество целинных и освоенных почв». Изд. «Наука», М., 1972.
6. В. Г. Котлюба, В. А. Реутов. Сб. «Гуминовые удобрения, теория и практика их применения». Т. 2, Киев, 1962.
7. А. В. Петербургский. Сб. «Гуминовые удобрения, теория и практика их применения». Т. 1, Харьков, 1957.
8. Л. А. Христева. «Доклады ВАСХНИЛ». № 10, М., 1947.
9. Л. А. Христева, А. Е. Пшеничный, Л. Р. Пивоваров. Сб. «Гуминовые удобрения, теория и практика их применения». Т. 2, Харьков, 1957.
10. Л. А. Христева. Сб. «Гуминовые удобрения, теория и практика их применения». Т. 2, Киев, 1962.
11. S. Guminski, M. Badurowa. «Acta societatis botanicorum poloniae», vol. XXXIV — p. 1, 1965.
12. С. Гуминский, С. Гуминская. Доклад на симпозиуме, IV комиссии МТО, Рига, 1971.
13. S. Guminski, Z. Guminska. «Acta societatis botanicorum poloniae», vol. XXII, Nr. 4, 1953.
14. С. Гуминский. Симпозиум «Humus et planta», Прага, 1967, 1971.
15. R. Chaminade. Trans. VI Internat. Congr. Soil Sci., V.D, p. 44, Paris, 1957.
16. R. Chaminade. Ann. agron., ser. A., 1958, № 2.
17. R. Chaminade. Semaine d'etude «Matiere organique et fertilite du Sol». Pontifica Acad. Scient., 1968, p. 777.
18. R. Chaminade, R. Blanchet. C. r. Acad. Sci, 1953, t. 237, p. 1768.
19. F. Hernando. Semaine d'etude «Matiere organique et fertilite du Sol», Pontifica Acad. Scient., 1968, p. 805.

20. *Söchtig H.* Beeinflussung des Stoffwechsels der pflanzen durch Humus und seine Bestandteile und die Auswirkung auf Wachstum und Ertrag.— *Landbauforschung Völkengode*, 1964, Ig. 14, H. 1.

21. *М. А. Розин.* Роль синтеза белка в механизме влияния фармакологических средств на клеточную резистентность. Кн. «Синтез белка и резистентность клеток», Л., 1971.

22. *М. А. Розин.* Клетка и неспецифическая сопротивляемость организма. Л., 1967.

23. *Н. А. Пучковская.* Тканевая терапия по В. П. Филатову. Труды Межвузовской научной конференции по проблеме «Применение биогенных стимуляторов в ветеринарии и животноводстве». Одесса, 1972.

24. *А. И. Горювая.* Влияние физиологически активных форм гуминовых кислот на специфическую деятельность меристематических клеток и рост проростков кукурузы. «Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения». Том. III, Киев, 1968.

25. *Л. В. Фот, З. Ф. Матусяк.* О возможности снятия ингибирующего действия хлорамфеникола гуматом натрия. Труды Днепропетровского СХИ, т. XI, Днепропетровск, 1969.

26. *Л. А. Христева.* Сб. «Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения», т. 3, Киев, 1968.

27. *Л. А. Христева.* Влияние гуминовых кислот на рост растений при различном соотношении питательных веществ в начале развития. Ж. «Доклады ВАСХНИЛ» № 10, М., 1947.

28. *Л. А. Христева.* Участие гуминовых кислот и других органических веществ в питании высших растений и агрономическое значение этого вида питания. Ж. «Известия АН СССР», № 4, 1955.

Проблемная лаборатория по гуминовым удобрениям при Днепропетровском сельскохозяйственном институте.