Доклады Академии наук СССР
1955. Том 103, № 4

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Л. К. ОСТРОВСКАЯ и Б. А. ГЕЛЛЕР

ЗНАЧЕНИЕ МИКРОКОЛИЧЕСТВ МЕДИ ДЛЯ ПРЕВРАЩЕНИЙ АЗОТА В ЛИСТЬЯХ ОВСА

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 30 V 1955)

Исследователи, изучавшие эффективность действия медных удобрений на торфяных и других почвах, показали, что при повышенном азотном питании потребность растений в медных удобрениях возрастает ([1–3]) В ряде работ отмечается также влияние недостатка меди на азотный обмен растений ([2, 4–6]). Во многих случаях недостаток меди приводит к повышению содержания общего, белкового и различных форм небелкового азота в зерне, плодах, листьях и других органах растений. Суммируя в сводной работе эти результаты, Штейнберг ([7]) приходит к выводу, что медь каким-то образом участвует в процессе утилизации белка, способствуя его распаду. Недостаток меди в тканях растений приводит, по его мнению, к блокированию реакций распада и к накоплению белка. Такое предположение представляет большой интерес, поскольку распад белка является необходимой предпосылкой его новообразования, обновления структуры живого вещества. Однако Штейнберг не дает экспериментальных доказательств своего предположения и к тому же не учитывает, что при более высоком содержании белка и других органических соединений количество их на одно растение у растений, страдающих от недостатка меди, значительно ниже вследствие задержки их роста.

На рис. 1 *А* представлены полученные нами данные по динамике сырого веса надземной части растений овса и относительного содержания в ней общего и белкового азота, в зависимости от условий питания медью. В то время как в зерне овса при недостатке меди постоянно наблюдается более высокое содержание общего и белкового азота ([6]), в вегетативных органах это не всегда имеет место. Различия по относительному содержанию общего и белкового азота в листьях в данном случае невелики и непостоянны. При сравнении же динамики роста с динамикой накопления общего и белкового азота в пересчете на одно растение (рис. 1 *Б*) при недостатке меди обнаруживается также и уменьшение общего количества содержащихся в растении азотных соединений в результате отставания роста.

Таким образом, несмотря на нормальное или даже повышенное содержание основных органических соединений азота в растении (белка), рост растений при недостатке меди задерживается.

Недостаток меди может приводить к различным патологическим явлениям в растительном организме, например к расстройству дыхательной функции вследствие недостаточного синтеза медьпротеидных ферментов, или к задержке синтеза железопорфириновых соединений и хлорофилла, для образования которых необходимы следы меди. Каждая из этих причин может быть достаточной для объяснения задержки роста растений. Однако это не исключает возможности того, что задержка роста происходит вследствие необходимости участия меди в превращениях азота.

Для решения вопроса об участии меди в превращениях азота в расте-

нии авторами был использован метод с применением солей изотопа азота N^{15}.

Опытные растения овса (сорт Советский) выращивались в вегетационных сосудах в торфе, на котором растения обычно сильно страдают от недостатка меди. В опыте было два варианта: без добавления меди и с внесением в каждый сосуд по 200 мг $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Через 26 дней после посева растениям была дана азотная подкормка сульфатом аммония, содержавшим 9,1% N^{15}. В каждый сосуд было вынесено по 2,86 г соли,

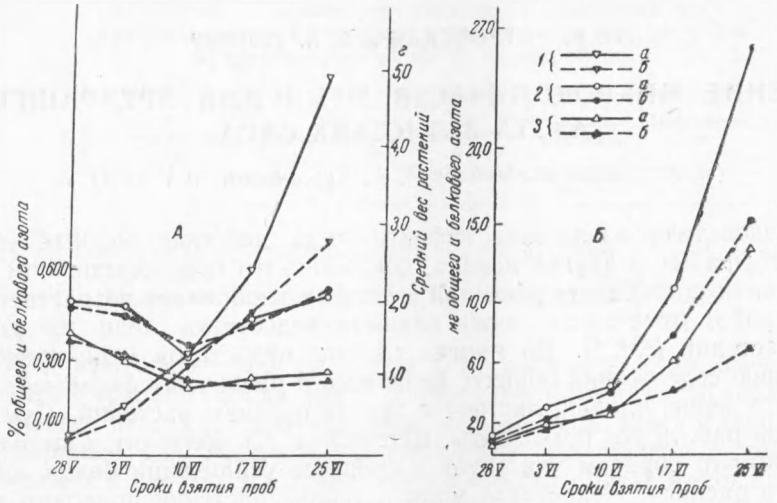


Рис. 1. *А* — влияние меди на рост растений овса и на относительное содержание общего и белкового азота. *Б* — то же в пересчете на одно растение. *1* — сырой вес растений, *2* — N общий, *3* — N белковый; *а* — с Cu, *б* — без Cu

растворенной в 100 мл воды. В день подкормки растения имели четыре вполне развитых листа. Средний вес растений, не получивших медного купороса, был на 18,2% ниже, чем растений с медным купоросом.

Подкормка была внесена в вегетационные сосуды 31 VIII в 10 час. вечера. Первая половина растений была взята для анализа в 10 час. утра, вторая — в 6 час. вечера следующего дня. Условия погоды в этот день были нормальными для роста и фотосинтетической деятельности растений.

Взятые из сосудов растения (без корней) быстро промывались и измельчались. Навески немедленно замораживались сухим льдом и растирались в замороженном виде. В одной из навесок белки осаждались танином, и фильтрат после нейтрализации пропускался через колонку с Al_2O_3 для выделения аспарагиновой и глутаминовой кислот по методу Кретовича и Бундель. Смесь аминокислот элюировалась щелочью и после нейтрализации азот определялся по Кьельдалю.

Во второй навеске после осаждения белков несколькими каплями ледяной уксусной кислоты и отделения осадка фильтрат обрабатывался кислым уксуснокислым свинцом для осаждения пептонов ([8]). Фильтрат после отделения осадка служил для определения азота полипептидов (путем осаждения уксуснокислой ртутью), основного и остаточного азота и азота нитратов (восстановленных сплавом Деварда).

Аммиак выделялся из отдельной навески путем отгонки под разрежением с магнезиальным молоком и боратным буфером pH 8. Хлористый аммоний, полученный из различных азотистых фракций исследуемого материала, после окисления гипобромитом в соответствующей установке ([9]) до молекулярного азота подвергался изотопному анализу в масс-спектрометре. Вследствие незначительного содержания N^{15} приходилось

ограничиваться измерением только двух пиков азота: 28 и 29. Поправки на примесь воздуха вносились только в нескольких случаях, когда содержание воздуха в пробе превышало 3—4%. К сожалению, из некоторых фракций было получено слишком мало хлористого аммония (азот пептонов, амидов и оснований) и они не могли быть проанализированы на содержание N^{15}.

В табл. 1 представлены результаты биохимического анализа на содержание в свежем материале фракций азотистых соединений, которые в дальнейшем были подвергнуты изотопному анализу.

Таблица 1

Содержание различных соединений азота в надземной части растений овса при различных условиях питания медью (мг N на 100 г сыр. веса)

Содерж. меди в вегетац. сосуде в мг	NH_4		NO_3		Глутамин. и аспараг. к-ты		Полипептиды		Белок		Остат. азот	
	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.
14, 4	—	2,8	98,7	79,1	12,2	15,5	12,3	8,8	264	304	15,8	44,8
68,6	3,7	3,2	83,0	60,9	14,0	11,2	11,2	12,3	211	292	10,9	13,0

Обращают на себя внимание данные прироста белка за период между двумя сроками взятия проб. Процент белка у растений с недостаточным питанием медью возрос в течение 8 час. на 15%, а при нормальном питании медью — на 38%.

Таблица 2

Избыток N^{15} в отдельных фракциях азотистых соединений (ат. %)

Содерж. меди в вегетац. сосуде в мг	NH_4		NO_3		Глутамин. и аспараг. к-ты		Полипептиды		Белок		Остат. азот	
	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.	10 ч.	18 ч.
14,4	—	0,61	—	0,18	0,16	0,29	0,14	0,33	0,05	0,07	0,22	—
68,6	—	0,96	—	0,25	0,13	0,29	0,24	0,42	0,20	0,31	0,09	—

Из табл. 2 видно, что внесенный в виде подкормки аммоний довольно интенсивно поступал в растение. В течение 20 час. аммоний в растениях с нормальным питанием медью обменялся на 11,05%, а в растениях с недостатком меди — на 7,04%. Эти цифры обмена рассчитаны при условии, что внесенный в почву сернокислый аммоний с 9,1% N^{15} поступает в растение, не разбавляясь азотом торфа, и поэтому являются минимальными. В действительности обмен может быть больше, так как растение может получать азот не только из удобрения, но также и из соединений, содержащихся в торфе (хотя перед внесением подкормки в торфе было мало доступных для растения соединений азота).

Влияние меди сильнее всего сказалось на обмене азота в белке. Недостаток меди очень значительно задержал обмен N^{15} именно в этой фракции. Повидимому, различие в степени обмениваемости белка определило и различия в степени поступления азота, что видно из данных для аммиака. В остальных проанализированных фракциях различия в содержании N^{15} между сравниваемыми вариантами значительно меньше,

чем в содержании фракции белкового азота, а в некоторых случаях (остаточный азот через 12 час. после подкормки) содержание N^{15} (в ат. %) даже выше у растений, страдающих от недостатка меди.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что недостаток меди вызывает задержку синтеза белка в растении. Эти результаты могут объясняться как непосредственным участием меди в синтезе белка, так и косвенным ее влиянием на этот синтез путем повышения интенсивности дыхания растения и увеличения таким образом его энергетических возможностей.

В случае непосредственного участия меди в синтезе белка не исключена возможность, что медь способствует распаду белка, создавая тем самым условия для образования новых его молекул. В пользу этого предположения говорят опыты in vitro с расщеплением белков ионами меди в щелочной среде ([10]). По мнению авторов, испытавших этот метод на многих белках, ионы меди, образуя с азотом пептидных связей комплексные медные соли, способствуют расщеплению белков на крупные полипептиды.

Авторы выражают благодарность действительному члену АН УССР А. И. Бродскому и проф. А. С. Оканенко за ценные указания и советы при проведении этой работы.

Институт физиологии растений и агрохимии и
Институт физической химии
Академии наук УССР

Поступило
28 V 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. В. Зенюк, Медные удобрения под зерновые культуры на осушенных болотах, 1937. [2] S. G. Gilbert, H. M. Sell, M. Drosdoff, Plant Physiol., 21, 290 (1946). [3] A. F. Camp, B. R. Fudge, Florida Agr. Exp. Sta. Bull., 355, 1 (1939). [4] И. В. Мосолов, Сов. агрон., № 6 (1948). [5] R. E. Lucas, Soil Sci., 65, 401 (1948). [6] Л. К. Островская, Тр. Инст. физиол. раст. и агрохим. АН УССР, № 9 (1955). [7] R. A. Steinberg, Copper Metabolism, 1950. [8] C. P. Sideris, H. J. Young, Plant Physiol., 21, 75 (1946). [9] Д. Риттенберг, Получение и определение меченых атомов, 1948. [10] К. Г. Иоффе, В. М. Сорокин, Биохимия, 19, 652 (1954).