

Е. Ф. БЕРЕЗОВА, А. Н. НАУМОВА, Е. А. РАЗНИЦИНА

О ПРИРОДЕ ДЕЙСТВИЯ АЗОТОГЕНА

(Представлено академиком А. А. Рихтером 12 I 1938)

«Азотоген» или «азотобактерин» есть бактериальный удобрительный препарат, который готовится на нестерилизованном торфе с добавлением суспензии клеток *Azotobacter chroococcum*. В виде торфяного порошка он вносится вместе с семенами в почву. Работами Шелоумовой (1-3) и Савостина (4-5), а также на основании практики ряда опытных станций установлено, что азотоген дает увеличение урожая под зерновыми и овощными культурами.

Положительные опыты с азотогеном привели к массовому его производству и к испытанию его в широком масштабе. В связи с этим возникли неясности и трудности, которые в конечном итоге связаны с вопросом о природе действия азотогена.

До настоящего времени принимается, что *Azotobacter chroococcum*, который входит во все препараты азотогена, усваивая элементарный азот воздуха, обогащает почву усвояемым для растений азотом, вследствие чего получается прибавка урожая. Такое объяснение эффекта действия азотогена мы считаем возможным, однако недостаточно доказанным, особенно для тех случаев, когда азотоген дает эффект на почвах, обеспеченных азотом.

Не входя в рассмотрение этого общепринятого объяснения (и его вариантов), мы хотим обратить внимание на совершенно иной механизм действия азотогена, именно на стимуляционное действие на растения, которое оказывает *Azotobacter chroococcum* вследствие выделения ростовых веществ типа ауксинов.

Излагаемая здесь точка зрения основана на опытах, ведущихся в течение последних двух лет. Основные выводы наших исследований в части, касающейся азотогена, сводятся к следующим положениям.

1. *Azotobacter chroococcum* принадлежит к почвенным бактериям, которые являются наиболее сильными образователями ростовых веществ.

2. Обработка семян суспензиями *Azotobacter chroococcum* или препаратами азотогена вызывает стимуляцию роста проростков, т. е. той стадии развития, когда растения еще не пользуются азотистыми веществами извне.

3. Эффект, аналогичный действию азотогена, получают в вегетационных опытах от применения препаратов торфа, насыщенных не только *Azotobacter chroococcum*, но и некоторыми другими бактериями, не азотоусвоителями.

Приводим экспериментальные данные, на основании которых сделаны наши выводы.

1. Образование ростовых веществ у *Azotobacter chroococcum* и других почвенных бактерий. В 1931 г. Boysen-Jensen (6) нашел, что из 17 видов бактерий 13 образуют ростовые вещества типа ауксинов. Среди бактерий, изученных Бойсен-Иенсеном, типичных почвенных бактерий было немного (*Bacillus mycoides*, *Bacillus subtilis*, *Bacterium radiobacter*, *Bacterium denitrificans*, *Bacillus vulgatus*). Придерживаясь в основном методики Бойсен-Иенсена, мы изучили образование ростовых веществ, действующих на колеоптили овса, у ряда почвенных бактерий. Результаты этих исследований заслуживают особого изложения; здесь мы приводим некоторые выводы (табл. 1).

Таблица 1

Образование ростовых веществ типа ауксинов различными почвенными бактериями

Название бактерии	Индивидуальные изгибы колеоптилей в градусах	Среднее значение изгиба из пяти колеоптилей
<i>Mycobacterium rubrum</i>	0; 0; 0; 0; 0;	0.0
<i>Azotobacter vinelandii</i>	0; 0; 0; 0; 0;	0.0
<i>Bacillus mycoides</i>	3; 2; 4; 5; 3;	3.4
<i>Azotobacter agile</i>	4; 9; 4; 7; 6;	6.0
<i>Mycobacterium luteum</i>	0; 3; 10; 10; 8;	7.0
<i>Rhizobium leguminosarum</i>	3; 7; 10; 13; 7;	8.0
<i>Proteus vulgaris</i>	16; 17; 13; 20; 0;	13.2
<i>Bacillus subtilis</i>	10; 17; 17; 20; 10;	14.8
<i>Mycobacterium album</i>	20; 18; 18; 10; 10;	15.2
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	27; 17; 24; 18; 20;	21.2
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. А) . .	28; 28; 26; 22; 18;	24.4
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. 10А) .	27; 24; 26; 37; 17;	26.2

Из этих данных видно, что среди изученных нами почвенных бактерий *Azotobacter chroococcum* принадлежит к наиболее энергичным образателям ростовых веществ. Почти столь же обильно образуют эти вещества *Pseudomonas fluorescens**. Интенсивность образования ростовых веществ у прочих бактерий значительно более низкая.

2. Стимуляция развития проростков в результате обработки семян суспензиями *Azotobacter chroococcum*. Семена льна увлажнялись или водой (контрольные) или суспензией из клеток *Azotobacter chroococcum* (бактеризованные). В качестве смесителя пользовались кварцевым песком. На бактеризацию 100 семян брали 0.3 см³ жидкости, содержащей приблизительно 500 миллионов клеток азотобактера. Штаммов *Azotobacter chroococcum* было два (А и 10А). Штаммом А (северный) пользуются в Институте сельскохозяйственной микробиологии для изготовления азотогена. После 24-часового увлажнения семян последние проращивались в чашках Коха на увлажненной марле. Через 7 дней производилась фитопатологическая экспертиза проростков по инструкциям Всесоюзного института льна (7) и измерение длины их. Результаты этих опытов приведены в табл. 2.

* Бактерии, вовсе не давшие изгибов колеоптилей, нельзя рассматривать как абсолютно не образующие ростовых веществ. На более чувствительных сортах овса и при большей экспозиции они могут давать изгибы.

Таблица 2

Влияние обработки семян льна бактериями
Azotobacter chroococcum на развитие проростков

Вариант опыта	Образец семян	Всхо- жесть, %	Зараженность проростков		Средние размеры проростков, см
			Общая, %	В том числе сильно пораженных, %	
Контрольные	364	93	53	—	8.60
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. А) . . .	364	96	28	—	11.34
Контрольные	148	96	75.5	11.5	4.05
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. А) . . .	148	97	67.5	0	5.57
Контрольные	148	98	83.5	8.5	5.97
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. А) . . .	148	97.5	68.5	10.0	6.01
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. 10А) . .	148	98	54.0	1.0	6.48
Контрольные	208	97	15.0	—	5.8
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. А) . . .	208	98.5	5.0	—	7.2
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. 10А) . .	208	98.5	25.5(?)	—	7.7

Из этих данных видно, что проростки семян, обработанных суспензиями азотобактера, характеризуются двумя особенностями: они менее страдают от поражений и отличаются ускоренным ростом.

Аналогичные опыты проведены с пшеницей. На бактеризацию 105 зерновок бралось 1.5 см³ суспензии, содержащей около 500 миллионов клеток азотобактера в 1 см³. Увлажненные семена через сутки высевались в стеклянные сосуды с чистым кварцевым песком, увлажненным до 60% от полной влагоемкости. Через 10 суток определяли количество проростков, число больных и пораженных растений и общий вес 100 растений. Кроме того в одной серии контрольные семена были обработаны торфом, а другие варианты—азотогеном (2 образцами: А и Б). Результаты этих опытов приведены в табл. 3.

Из этих данных видно, что обработка семян пшеницы суспензиями азотобактера приводит к ускорению роста проростков и к небольшому снижению их пораженности. Азотоген А не дал никакого эффекта, а азотоген Б дал значительное ускорение роста, но не снизил зараженности*.

Результаты этих опытов доказывают, что азотобактер влияет на рост растений еще в стадии проростков, когда не может быть речи о значении азотоусвоения.

3. Торфа, обогащенные некоторыми не фиксирующими азот бактериями, действуют аналогично.

* Если берутся для опыта сильно пораженные семена с низкой всхожестью, то бактеризация азотобактером не только не дает эффекта, но может даже ухудшить состояние проростков.

Таблица 3

Влияние обработки семян пшеницы бактериями
Azotobacter chroococcum на развитие проростков

Вариант опыта	Сорт семян	Всхо- жесть, %	Общее число проро- стков	В том числе боль- ных и пора- женных	Вес 100 раст., г
Контрольные	Укра- инка	95	89	8	4.13
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. А)		95	93	2	4.48
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. 10А)		97	96	4	4.59
Контрольные	Цезиум 0111	94	91	4	6.46
<i>Azotobacter chroococcum</i> (шт. 10А)		95	92	4	6.74
Контрольные	Люте- цене 062	97	94	3	6.67
Азотоген (А)		95	95	0	6.20
Азотоген (В)		97	94	3	7.58

чно азотогену. В 1937 г. был проведен вегетационный опыт с пше-
ницей Лютецене 062 в малых сосудах по 2.6 кг почвы. Почва—подзол
Долгопрудного опытного поля; фон—полное удобрение: 1.24 г суперфос-
фата на сосуд, 0.4056 г. KNO_3 ; 0.3917 г NH_4NO_3 ; 2 г $CaCO_3$ на 1 кг
абсолютно сухой почвы. Влажность 60% от полной влагоемкости.
Схема опыта: 1) семена сухие; 2) семена, увлажненные водой; 3) семена,
смешанные с чистым торфом; 4) семена, обработанные торфом и бактерией
Pseudomonas fluorescens (штамм В-17); 5) семена, обработанные торфом
и бактерией *Pseudomonas fluorescens* (штамм F-24); 6) семена, обработан-
ные торфом и *Azotobacter chroococcum* (штамм 10 А). Повторность трехкрат-
ная. Начало опыта 28 V, уборка 5 IX. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние обработки семян бактериями, не усваивающими
азот и *Azotobacter chroococcum*, на урожай пшеницы

Вариант опыта	Всхожесть, %	Высота раст. в см			Урожай в г на сосуд			Урожай в % к контролю		
		8 VI	19 VI	1 VII	Зерно	Солома	Корни	Зерно	Солома	Корни
Контрольные сухие	96	9.60	29.51	56.5	4.59	9.03	0.84	100	100	100
Контрольные увлажнен- ные	96	13.26	28.29	57.06	4.36	8.84	0.72	94.8	97.9	96.5
Торф	94.6	13.66	28.62	56.50	3.74	7.48	0.70	81.5	82.9	85.5
Торф + <i>Pseudomonas fluo- rescens</i> (шт. В-17)	100.0	13.13	27.61	59.06	5.69	8.64	0.92	123.9	95.7	105.7
Торф + <i>Pseudomonas fluo- rescens</i> (шт. F-24)	98.5	12.39	28.37	55.80	5.74	8.80	1.12	125.0	97.5	108.4
Торф + <i>Azotobacter chro- ococcum</i>	97.5	12.88	28.34	59.06	5.37	8.05	0.73	116.9	89.2	103.2

Из этих данных видно, что торф, насыщенный азотобактером, дал прибавку урожая зерна на 16.9%, а такой же торф, насыщенный бактериями, заведомо не фиксирующими азот, дал прибавки зерна в 23.9% и 25.0%. Вначале проростки бактеризованных семян по высоте уступали проросткам семян небактеризованных, но уже с I VII растения из семян, бактеризованных *Azotobacter chroococcum* и *Pseudomonas fluorescens* (штамм В-17), были выше контрольных.

Этот опыт интересен еще тем, что в данном случае азотоген действовал при обеспеченности растений азотом.

Аналогичные результаты были получены в вегетационном опыте со льном. Сорт семян 0107, общая зараженность 2.0%; всхожесть 98.5%. Почва подзолистая легко суглинистая. Фон—НРК. Повторность трехкратная. Посев 10 VI 1937 г., уборка урожая 28 VIII 1937 г. Контрольные семена обрабатывались торфом, увлажненным водой. Бактеризованные семена обрабатывались торфом, увлажненным суспензиями различных бактерий (*Azotobacter chroococcum* и *Pseudomonas fluorescens*). Результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5

Влияние обработки семян бактериями, не усваивающими азот и *Azotobacter chroococcum*, на урожай льна

Вариант опыта	Всхожесть, %	Высота раст. в см			Урожай в г на сосуд		Урожай в % к контр.	
		9 VII	20 VII	28 VIII	Семена	Солома	Семена	Солома
Контрольные	97.3	35.9	75.4	113.2	5.06	22.55	100	100
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (В-17)	96.5	38.0	76.0	111.8	5.73	22.41	113.2	99.4
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (F-24)	95.8	37.0	80.4	116.8	5.37	24.23	106.3	107.5
<i>Azotobacter chroococcum</i>	95.2	36.0	73.6	116.1	6.06	22.1	119.7	98.0

Как видно из этих данных, эффект действия азотобактера не отличается от действия некоторых других бактерий, неспособных усваивать азот.

4. В ы в о д ы. Положение о том, что азотоген дает увеличение урожая вследствие азотфиксирующей деятельности азотобактера мы считаем возможным, но недостаточно доказанным. В представлениях о природе действия азотогена необходимо учесть непосредственное стимуляционное влияние выделений азотобактера на высшее растение.

Высказанная здесь точка зрения может иметь далеко идущее значение для практики изготовления азотогена (и других бактериальных удобрительных препаратов).

Микробиологический институт.
Академия Наук СССР.
Москва.

Поступило
13 I 1938.

Институт сельскохозяйственной микро-
биологии.
Всесоюзная Академия сельскохозяйственных
наук им. Ленина.
Ленинград.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. М. Шелоумова и О. Протодьяконов, Тр. Всесоюзного ин-та с.-х. микробиологии, IV, 41 (1929); V, 118 (1933). ² А. М. Шелоумова, Е. Зайцева и В. Фаерман-Нилова, Тр. Всесоюзного ин-та с.-х. микробиологии, V, 131 (1933). ³ А. М. Шелоумова, П. Евгеньева, Х. Зиновьева, Р. А. Менкина и С. Л. Черняк, Тр. Всесоюзного ин-та с.-х. микробиологии, VI, 48 (1935). ⁴ П. В. Савостин, К. В. Сапожникова и М. А. Пентина, Соц. реконструкция с. х., № 5 (1936). ⁵ П. В. Савостин и М. А. Пентина, Сборн. «Бактериальные удобрения» (1937). ⁶ Boysen-Jensen, Biochem. ZS., 236, 205 (1931). ⁷ В. П. Виноградов, Е. И. Капустина, Т. Т. Попова, А. Н. Шевченко, Методика определения посевных качеств и фитопатологической экспертизы семян льна (1937).