

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИЙ ПРИ ПРОРАСТАНИИ СЕМЯН ОГУРЦОВ И ВЛИЯНИЕ ИНФУЗОРИЙ *COLPODA STEINII* НА ЭТОТ ПРОЦЕСС

Показано, что бактерии *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023 продуцируют индолил-3-уксусную кислоту и аминокислоты в жидкой среде Кнопа. Обработка семян огурцов суспензией, содержащей 10^7 КОЕ/мл как бацилл, так и *Azotobacter vinelandii* ИМВ В-7076, приводила к уменьшению длины корней растений. Снижение бактериальной нагрузки бацилл до 10^6 КОЕ/мл сопровождалось уменьшением количества индолил-3-уксусной кислоты в среде и способствовало увеличению длины корней, ростков и общей массы растений. При культивировании *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023 совместно с инфузориями *Colpoda steinii* снижалось количество свободной формы этого ауксина в среде в 5,5 раз, а связанной – до следовых количеств. При этом содержание гистидина, фенилаланина, тирозина, метионина и лизина существенно уменьшалось.

Ключевые слова: бактерии, инфузории *Colpoda steinii*, семена, индолил-3-уксусная кислота (ИУК).

В растениеводстве все больше возрастает интерес к микробным препаратам, применение которых позволяет регулировать численность вредителей и полезных микроорганизмов в агроэкосистемах, существенно повысить урожайность растений без нанесения вреда окружающей среде и здоровью человека.

Микроорганизмы, которые вводят в состав биологических препаратов, принимают участие в трансформации в почвах труднорастворимых соединений, фиксируют атмосферный азот, продуцируют ряд биологически активных веществ (ауксины, цитокинины, абсцизовую кислоту, аминокислоты), оказывая комплексное влияние на рост и развитие растений [5]. На эти процессы влияет также многокомпонентная гормональная система растений, которая обеспечивает координацию и регуляцию основных физиологических процессов. Фитогормоны действуют в очень низких концентрациях на уровне 10^{-6} – 10^{-12} М [3]. Некоторые исследователи отмечают, что в определенных концентрациях ауксины могут тормозить рост корней [4].

Как известно, степень влияния микробных препаратов зависит от значительного количества действующих факторов. На интродуцированные в агроэкосистему микроорганизмы действует комплекс абиотических и биотических факторов, среди которых важная роль принадлежит корневым выделениям растений, составу почвенной микрофлоры, а также функционированию простейших и высших организмов [5, 14, 1].

Ранее нами было показано, что инфузории *Colpoda steinii* в большем количестве потребляют бактерии *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023, чем *Bacillus megaterium* 12. Клетки *Azotobacter vinelandii* ИМВ В-7076 лучше усваивались ими в фазе логарифмического роста, а *A. chroococcum* 20 – в фазе стационарного роста и фазе отмирания [10, 11].

Целью нашей работы было исследование физиолого-биохимической активности бактерий *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023 и *Azotobacter vinelandii* ИМВ В-7076 в смешанной культуре с *Colpoda steinii* и их влияния на прорастание семян огурцов.

Материалы и методы. В работе использованы селекционированные в отделе микробиологических процессов на твердых поверхностях ИМВ НАН Украины бактерии *Azotobacter vinelandii* ИМВ В-7076 [8] и *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023 [9].

Азотобактер выращивали в течение 48 часов в колбах Эрленмейера объемом 750 мл в 100 мл среды Эшби с сахарозой при 28°C на качалках (240 об/мин). Бациллы культивировали 24 ч в подобных условиях в среде следующего состава, г/л: пептон – 10.0; NaCl – 3.0; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0.3; KCl – 0.3; $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ – 0.2; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0.001; $MnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0.001. Количество бактерий в суспензиях определяли путём подсчета численности колоний, которые вырастали на соответствующих агаризованных средах (КОЕ/мл) при высеве из последовательных десятикратных разведений.

Простейшие *Colpoda steinii* [10] культивировали в среде Лозина – Лозинского [12] в ста-

ционных условиях при 26 °С на протяжении 3–4 суток. Источником питания для колпид служили бактерии, исходная численность которых составляла 10⁷ КОЕ/мл.

В исследованиях использовали семена огурцов (*Cucumis sativus*) сорта Джерело. Их стерилизовали в течение 40 минут 25 % H₂O₂, трижды отмывали стерильной водопроводной водой и раскладывали на поверхность картофельного агара в чашки Петри. Прорастивали 2 суток при 25 °С. За это время семена прорастали, а вокруг нестерильных семян образовывались колонии контаминирующих микроорганизмов. Такие семена выбраковывали.

Опыты проводили в стерильных пробирках с перетяжками, на которые были помещены сеточки из нержавеющей стали. Выращенные суспензии бактерий, содержащие 10⁸ КОЕ/мл, разводили в 10 и 100 раз средой Кнопа (рН 7.0 ± 0.1) [2]. В пробирки вносили по 20 мл (до уровня сеточек) разведенных суспензий бактерий, культуральную жидкость инфузорий (разведенную раствором Кнопа 1:10) или смесь бактерий с инфузориями (1:1), по 10 пробирок на каждый вариант. Контрольной средой служил раствор Кнопа без бактерий и инфузорий. На сеточки раскладывали по 1 проросшему стерильному семени огурца. Пробирки закрывали ватными пробками. Инкубирование проводили при 26 °С на площадке с 16-часовым световым днем при искусственном освещении 12000 люкс на протяжении 14 суток. После инкубации определяли биометрические показатели проростков, численность бактерий в растворе Кнопа и на корнях, количество инфузорий, а также количество фитогормонов и аминокислот в среде.

Для определения численности бактерий на корнях каждый корень взвешивали, стерильно гомогенизировали в фарфоровой ступке, содержащей 1 мл физиологического раствора и доводили им же до 10 мл. Количество адгезированных клеток определяли по численности колоний, выросших на соответствующих средах после посева гомогената из десятикратных разведений и пересчитывали на 1 г сырого корня.

Для исследования фитогормона опытные образцы центрифугировали 30 минут при 2600 g, фильтровали через мембранный фильтр Ø 0.2 мкм и упаривали на роторном испарителе в 20 раз, что учитывалось при последующих расчетах. Качественный и количественный анализ фитогормона – индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) проводили методом ВЭЖХ на хроматографе «Agilent 1200 LC» с диодно-матричным детектором G 1315 В, колонка Eclipse XDB-C 18 4.6x150 мм, размер частиц 5 мкм. Элюцию проводили в системе растворителей метанол : вода (37:63), анализ в режиме online. Расчет хроматограмм осуществляли при помощи программного обеспечения Chem Station (версия В. 03.01) в режиме offline [7].

Пробоподготовку образцов для определения аминокислот проводили аналогичным образом, упаривая до сухого остатка. Содержание аминокислот определяли на аминокислотном анализаторе.

Все опыты проводили в трех повторностях. Результаты опытов обрабатывали статистически [6].

Результаты и их обсуждение. Показано, что при прорастивании семян огурцов на сеточках в растворе Кнопа, содержащем как *B. subtilis* в количестве 2.7·10⁷ КОЕ/мл, так и смесь бактерий с инфузориями *C. steinii* в количестве 2400 особей в 1 мл, наблюдали незначительное стимулирование развития ростков растений. В то же время длина корней огурцов уменьшалась в 2,2 раза в присутствии в среде одних бактерий, в 1,7 раз – в их смеси с инфузориями (табл. 1). При уменьшении численности бактерий в этом растворе до 4.7·10⁶ КОЕ/мл и таком же количестве инфузорий длина ростков увеличивалась на 20,6 % по сравнению с контролем, а длина корней была подобной контрольному варианту (табл. 1). Однако они были более толстыми, имели больше корневых волосков (определяли визуально) (рис. 1). Таким образом, совместная культура инфузорий *C. steinii* с бактериями *B. subtilis* в количестве 4.7·10⁶ КОЕ/мл стимулировала рост растений на ранних стадиях их развития.

После 14 суток инкубации проростков в жидкой среде, содержащей 10⁷ КОЕ/мл бактерий, численность *B. subtilis* снизилась в 1,7 раз, в присутствии инфузорий – в 1,9 раз и в 11,2 раза при наличии бактерий 10⁶ КОЕ/мл с инфузориями. Отмечено, что при почти одинаковой численности бактерий в присутствии *C. steinii* на 1 г корней адгезировалось в 1,2 раза больше клеток. То есть, в присутствии инфузорий, которые питаются бактериями, колонизация корней последними несколько повышалась (табл. 1).

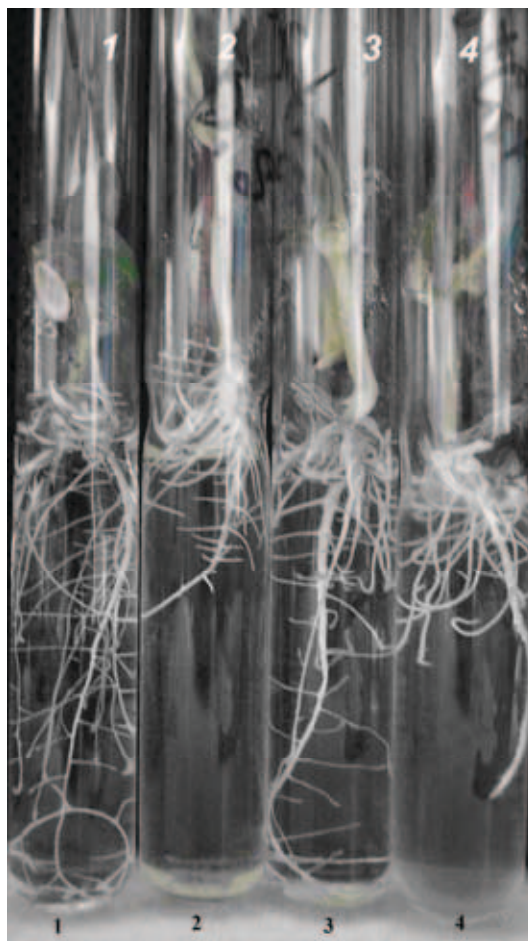


Рис. 1. Рост огурцов сорта Джерело в среде Кнопа:

1. Контроль;
2. Среда Кнопа + *B. subtilis* $2.66 \cdot 10^7$ КОЕ/мл;
3. Среда Кнопа + *B. subtilis* $4.71 \cdot 10^6$ КОЕ/мл + *C. steinii* 2400 ос/мл;
4. Среда Кнопа + *B. subtilis* $2.20 \cdot 10^7$ КОЕ/мл + *C. steinii* 2400 ос/мл.

Таблица 1

Влияние бактерий *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023 и инфузорий *Colpoda steinii* на рост огурцов сорта Джерело в среде Кнопа

Варианты	Количество бактерий			Численность инфузорий, особей/мл		Биометрические показатели растений	
	в суспензии, КОЕ/мл		на 1г сырого корня, КОЕ/г	в начале опыта	в конце опыта	Длина корней, мм / %	Длина ростков, мм / %
	в начале опыта	в конце опыта					
1. Контроль	0	0	0	0	0	94.2 ± 12.0 100.0	67.9 ± 4.2 100.0
2. Среда Кнопа + <i>B. subtilis</i>	$(2.7 \pm 0.2) \cdot 10^7$	$(1.6 \pm 0.2) \cdot 10^7$	$(1.1 \pm 0.2) \cdot 10^7$	0	0	43.8 ± 2.8 46.5	70.6 ± 7.1 104.0
3. Среда Кнопа + <i>B. subtilis</i> + <i>C. steinii</i>	$(4.7 \pm 0.2) \cdot 10^6$	$(4.2 \pm 0.2) \cdot 10^5$	$(2.2 \pm 0.2) \cdot 10^6$	2400	3500	89.7 ± 9.6 95.2	81.9 ± 11.0 120.6
4. Среда Кнопа + <i>B. subtilis</i> + <i>C. steinii</i>	$(2.2 \pm 0.3) \cdot 10^7$	$(1.2 \pm 0.1) \cdot 10^7$	$(1.3 \pm 0.1) \cdot 10^7$	2400	9200	54.5 ± 6.0 57.8	71.9 ± 5.6 105.9

Примечание. Растения выращивали в течение 14 суток

Показано, что инкубирование *B. subtilis* (10^6 КОЕ/мл) в среде Кнопа в течении 14 суток без проростков огурцов сопровождалось накоплением 17.2 нг/мл свободной и 18.0 нг/мл связанной ИУК. Добавление инфузорий *C. steinii* в начале опыта в количестве 5100 ос/мл приводило к уменьшению количества свободной и связанной ИУК (табл. 2).

Таблица 2

Влияние *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023 и инфузорий *Colpoda steinii* на биометрические показатели огурцов сорта Джерело и накопление индолил-3-уксусной кислоты

Варианты	Биометрические показатели растений			Накопление ИУК, нг/мл	
	Длина корней, %	Длина ростков, %	Масса растений, %	свободная	связанная
1. <i>B. subtilis</i>	-	-	-	17.2±0.9	18.0±0.9
2. <i>B. subtilis</i> + <i>C. steinii</i>	-	-	-	3.1±0.2	следы
3. Контроль +огурцы	100.0	100.0	100.0	6.0±0.3	13.7±0.7
4. <i>B. subtilis</i> +огурцы	84.0	110.0	128.7	3.9±0.2	45.0±2.3
5. <i>B. subtilis</i> + <i>C. steinii</i> + огурцы	95.1	105.5	138.0	1.2±0.1	следы

Примечание. Количество *B. subtilis* – $(4.7±0.3)·10^6$ КОЕ/мл. Количество инфузорий – 5100 особей/ мл. «-» – бактерии и их смешанную культуру с простейшими культивировали без растений.

В среде Кнопа, в которой выращивали огурцы без бактерий и инфузорий (контроль), обнаружено 6.0 нг/мл свободной и 13.7 связанной ИУК. Наличие бацилл в среде Кнопа, где выращивали огурцы, приводило к накоплению до 45 нг/мл связанной ИУК, тогда как содержание свободной ИУК уменьшалось. При этом длина ростков и масса огурцов возрастала на 10,0 и 28,7% соответственно (табл. 2). Накопление в культуральной среде незначительного количества ИУК, по-видимому, обусловлено низкой численностью бактерий, а также тем, что в среду не вносили триптофан – предшественник синтеза этого фитогормона.

При культивировании огурцов в смешанной культуре инфузорий с бациллами количество связанной ИУК снижалось до следовых значений. Можно допустить, что инфузории обладают способностью трансформации индолил-3-уксусной кислоты. При этом длина ростков и масса растений увеличилась на 5,5 и 38,0 % по сравнению с контролем, длина корней приближалась к показателю в контроле. Очевидно, низкие концентрации экзогенных ауксинов повышали скорость роста корней огурцов сорта Джерело, в то время как более высокий их уровень ингибировал этот процесс (табл. 2). Возможно, данные гормоны играли основную роль в процессе регуляции роста и развития растений.

Показано, что корни огурцов при выращивании в среде Кнопа без бактерий и инфузорий выделяли аминокислоты (табл. 3). В самых высоких концентрациях определялся серин (50.6 мкг/л) и гистидин (38.1 мкг/л). После инкубации монокультуры бацилл на протяжении 14 суток в среде накапливалось большое количество тирозина, фенилаланина, лизина. В значительно меньших концентрациях определялись гистидин, метионин и валин, а также другие аминокислоты. После роста огурцов в среде с этими бактериями содержание первых трех выше названных аминокислот снизилось от 4 до 20 раз. Концентрация гистидина и метионина осталась почти на тех же уровнях, в то время как валин не выявлен.

Иная закономерность наблюдалась в культуральной жидкости бацилл с инфузориями без растений. Количество аминокислот было значительно меньше, чем при инкубировании монокультуры этих бактерий. Это, в основном, было обусловлено снижением содержания лизина, гистидина, фенилаланина, тирозина, метионина и валина, тогда как концентрация остальных аминокислот уменьшалась незначительно. После выращивания огурцов в среде с бактериями и инфузориями спектр аминокислот уменьшился и количества их были меньше, кроме серина, чем при выращивании в среде с одними бациллами (табл. 3).

Проращивание семян огурцов в жидкой среде в присутствии азотфиксирующих бактерий *A. vinelandii*, а также в их совместной культуре с инфузориями, показало несколько иные

результаты. Так, при высокой численности азотобактера ($1.8 \cdot 10^7$ КОЕ/мл), как и при наличии в среде Кнопа *B. subtilis*, длина корней огурцов уменьшалась, но их масса превышала контрольные показатели на 27,3 %. Уменьшение бактериальной нагрузки *A. vinelandii* в среде до $2.3 \cdot 10^6$ КОЕ/мл приводило к значительному увеличению длины корней и ростков огурцов, а также их массы (табл. 4).

Таблица 3

Содержание аминокислот (мкг/л) в среде Кнопа

Аминокислоты, мкг/л	Среда без растений, содержащая		Варианты выращивания огурцов		
	<i>B. subtilis</i>	<i>B. subtilis</i> + <i>C. steinii</i>	Контроль	<i>B. subtilis</i>	<i>B. subtilis</i> + <i>C. steinii</i>
Аспарагиновая кислота	-	7.1	13.4	14.0	9.6
Треонин	25.5	7.2	11.2	22.8	24.1
Серин	44.7	40.4	50.6	44.3	48.8
Глутаминовая кислота	37.6	5.8	8.1	25.2	9.6
Пролин	16.4	11.5	3.9	10.7	-
Глицин	46.8	22.5	20.2	23.0	24.7
Аланин	28.9	10.7	7.2	13.3	11.6
Валин	96.5	-	3.8	-	-
Цистин	76.1	-	4.0	76.7	-
Изолейцин	17.0	14.1	5.6	10.8	-
Лейцин	28.4	8.1	8.1	10.8	10.6
Тирозин	959.3	12.3	-	66.9	-
Фенилаланин	900.5	12.0	-	44.2	-
Гистидин	145.0	54.8	38.1	131.0	59.0
Лизин	1210.1	22.2	0.2	298.6	15.9
Аммиак	-	-	65.4	-	-
Метионин	139.4	2.0	11.3	142.6	-
Аргинин	12.7	-	-	-	-

Примечание. *B. subtilis* - $(4.6 \pm 0.2) \cdot 10^6$ КОЕ/мл. *C. steinii* - 5100 особей / мл.

«-» - отсутствует.

Таблица 4

Влияние *Azotobacter vinelandii* ИМВ В-7076 и инфузорий *Colpoda steinii* на рост огурцов сорта Джерело в среде Кнопа

Варианты	Количество бактерий и инфузорий			Биометрические показатели		Масса, г /%	
	в суспензии, КОЕ/мл, особей/мл		на 1г сырого корня, КОЕ/г	Длина корней, мм / %	Длина ростков, мм / %	1 корня	1 ростка
	в начале опыта	в конце опыта					
1. Контроль	0	0	0	$\frac{77.3 \pm 5.9}{100.0}$	$\frac{54.2 \pm 4.3}{100.0}$	$\frac{0.231}{100.0}$	$\frac{0.493}{100.0}$
2. <i>A. vinelandii</i> (1:10)	$A(1.8 \pm 0.2) \cdot 10^7$	$(1.7 \pm 0.2) \cdot 10^7$	$(5.3 \pm 0.2) \cdot 10^6$	$\frac{64.9 \pm 8.1}{84.0}$	$\frac{61.1 \pm 5.2}{112.7}$	$\frac{0.294}{127.3}$	$\frac{0.595}{120.7}$
3. <i>B. subtilis</i> + <i>C. steinii</i>	$B(5.6 \pm 0.1) \cdot 10^5$ 1100	$(3.8 \pm 0.2) \cdot 10^5$ 4630	$(6.7 \pm 0.3) \cdot 10^5$	$\frac{46.3 \pm 3.2}{59.9}$	$\frac{57.5 \pm 4.0}{106.1}$	$\frac{0.274}{118.6}$	$\frac{0.579}{117.4}$
4. <i>A. vinelandii</i> (1:10) + <i>B. subtilis</i> + <i>C. steinii</i>	$A(1.8 \pm 0.2) \cdot 10^7$ $B(7.0 \pm 0.1) \cdot 10^5$ 1100	$(8.3 \pm 0.3) \cdot 10^6$ $(1.0 \pm 0.1) \cdot 10^6$ 9260	$(4.2 \pm 0.3) \cdot 10^6$ $(1.1 \pm 0.1) \cdot 10^6$	$\frac{65.4 \pm 4.3}{44.2}$	$\frac{53.8 \pm 5.0}{115.7}$	$\frac{0.275}{119.0}$	$\frac{0.512}{103.9}$
5. <i>A. vinelandii</i> (1:100)	$A(2.3 \pm 0.1) \cdot 10^6$	$(2.2 \pm 0.2) \cdot 10^7$	$(5.9 \pm 0.3) \cdot 10^6$	$\frac{104.6 \pm 12.0}{135.3}$	$\frac{63.2 \pm 2.7}{116.6}$	$\frac{0.277}{120.2}$	$\frac{0.698}{141.6}$
6. <i>A. vinelandii</i> (1:100) + <i>B. subtilis</i> + <i>C. steinii</i>	$A(2.1 \pm 0.1) \cdot 10^6$ $B(3.0 \pm 0.1) \cdot 10^5$ 1100	$(6.3 \pm 0.2) \cdot 10^5$ $(8.5 \pm 0.3) \cdot 10^5$ 4000	$(5.9 \pm 0.2) \cdot 10^6$ $(4.5 \pm 0.1) \cdot 10^6$	$\frac{137.6 \pm 11.6}{178.0}$	$\frac{66.7 \pm 3.1}{123.1}$	$\frac{0.254}{110.0}$	$\frac{0.790}{160.2}$

Примечание. Количество *A. vinelandii* в исходной суспензии $(1.8 \pm 0.2) \cdot 10^8$ КОЕ/мл. А - *A. vinelandii*, В - *B. subtilis*. Растения выращивали в течение 14 суток

Отмечено, что при смешивании суспензии азотобактера с культуральной жидкостью *C. steinii* в экосистему попадало определенное количество бактерий, используемых простейшими ранее в качестве источника питания. Наличие в среде азотобактера (10^7 КОЕ/мл) с инфузориями (1100 ос/мл) и сопутствующими им бактериями (10^5 КОЕ/мл) приводило к удлинению ростков на 15,7 %, но масса их была на уровне контроля. Длина корней значительно уменьшалась (на 56 %), но масса их была больше контрольных на 19 %. При снижении количества *A. vinelandii* на порядок и той же численности других объектов исследования наблюдался наиболее эффективный рост и развитие растений. Численность инфузорий увеличивалась в жидкой экосистеме в 8,4 раза при большем количестве азотобактера, в 3,6 раз – при меньшем, что, по-видимому, обусловлено большей доступностью источников питания – наличием двух видов бактерий (табл. 4).

Известно, что высокая бактериальная нагрузка в корневой зоне растений может тормозить их рост и развитие [8]. Очевидно, в наших экспериментах это связано с продукцией клетками азотобактера ауксинов. Ранее было показана способность накопления этих фитогормонов данным штаммом бактерий [13]. Отмечено, что разведенная суспензия бактерий *A. vinelandii* более эффективно влияет на рост огурцов на начальных стадиях их развития по сравнению с *B. subtilis*. Так, нативная суспензия азотобактера, разведенная раствором Кнопа в 100 раз, стимулировала рост корней и ростков как в присутствии инфузорий, так и без них (табл. 4).

Численность азотобактера при наличии монокультуры в среде Кнопа при выращивании огурцов возрастала от $2,3 \cdot 10^6$ до $2,2 \cdot 10^7$ КОЕ/мл. В то же время при высоком его начальном количестве ($1,7 \cdot 10^7$ КОЕ/мл) этот показатель оставался почти на том же уровне. При наличии инфузорий содержание *A. vinelandii* уменьшалось в 3,3 и 2,2 раза, а количество бактерий увеличивалось в 2,8 и 1,4 раза, соответственно. Полученные результаты позволяют предположить, что *C. steinii* предпочитают поедать из совместной культуры клетки азотобактера, что в очередной раз подтверждает селективность в их питании (табл. 4).

Таким образом, наши исследования показали, что бактерии *B. subtilis* ИМВ В-7023 продуцируют индол-3-уксусную кислоту и аминокислоты, которые выделялись в жидкую среду Кнопа. Обработка семян огурцов суспензией, содержащей 10^7 КОЕ/мл как бактерий, так и *A. vinelandii* ИМВ В-7076, приводила к уменьшению длины корней растений. Снижение бактериальной нагрузки бактерий до 10^6 КОЕ/мл сопровождалось уменьшением количества индол-3-уксусной кислоты в среде и способствовало увеличению длины корней, ростков и общей массы растений. Изучено влияние инфузорий *Colpoda steinii* на эти процессы. При культивировании *B. subtilis* совместно с инфузориями снижалось количество свободной формы этого ауксина в среде в 5,5 раз, а связанной – до следовых количеств. При этом содержание гистидина, фенилаланина, тирозина, метионина и лизина существенно уменьшалось.

Авторы благодарны Л.В. Войтенко за предоставленную помощь в проведении анализа индол-3-уксусной кислоты.

В.В. Чоботарьова, З.Т. Бега, І.К. Курдиш

¹ Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, Київ

ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНА АКТИВНІСТЬ БАКТЕРІЙ ПРИ ПРОРОСТАННІ НАСІННЯ ОГІРКІВ ТА ВПЛИВ ІНФУЗОРІЙ *COLPODA STEINII* НА ЦЕЙ ПРОЦЕС

Резюме

Показано, що бактерії *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023 продукують індол-3-оцтову кислоту і амінокислоти в рідкому середовищі Кнопа. Обробка насіння огірків суспензією, що містить 10^7 КОЕ/мл як бактерій, так і *Azotobacter vinelandii* ИМВ В-7076, приводила до зменшення довжини коріння рослин. Зниження бактеріального навантаження бактерій до 10^6 КОЕ/мл супроводжувалося зменшенням кількості індол-3-оцтової кислоти в середовищі і сприяло збільшенню довжини коренів, ростків і загальної маси рослин. При культивуванні *Bacillus subtilis* ИМВ В-7023 спільно з інфузоріями *Colpoda steinii* знижувалась кількість вільної форми цього ауксину в середовищі в 5,5 разів, а зв'язаної – до слідових значень. При цьому вміст гістидину, фенілаланіну, тирозину, метіоніну і лізину істотно зменшувався.

Ключові слова: бактерії, інфузорії *Colpoda steinii*, насіння, індол-3-оцтова кислота (ІОК).

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ACTIVITY OF BACTERIA DURING GERMINATION OF CUCUMBER SEEDS AND IMPACT CILIATES *COLPODA STEINII* THIS PROCESS

S u m m a r y

It is shown that the bacteria *Bacillus subtilis* B-7023 IMV produce indole-3-acetic acid and amino acids in the liquid medium Knoop. Processing cucumber seed suspension containing 10^7 cfu / ml as bacilli, and *Azotobacter vinelandii* IMV V-7076, resulted in a decrease in the length of the roots of plants. Reduction of bacterial load bacilli to 10^6 cfu / ml followed by reduction of indole-3-acetic acid in the medium, and to an increase in the length of roots, shoots and total plant mass. During the cultivation of *Bacillus subtilis* IMV V-7023 with ciliates *Colpoda steinii* reduced the amount of free forms of auxin in the medium to 5.5 times, and the related - to trace amounts. The content of histidine, phenylalanine, tyrosine, methionine and lysine significantly reduced.

Key words: bacteria, ciliates *Colpoda steinii*, seeds, indole-3-acetic acid (IAA).

1. Гельцер Ю.Г. Простейшие (*Protozoa*) как компонент почвенной биоты (Систематика, экология). – М. : Из-во Моск. ун-та., 1993. – 174 с.
2. Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Короткий довідник по фізіології рослин. – К.: Наук. думка, 1973. – 590 с.
3. Дерфлинг К. Гормоны растений. – М.: Мир, 1985. – 304 с.
4. Кудоярова Г.Р., Курдиш И.К., Мелентьев А.И. Образование фитогормонов почвенными и ризосферными бактериями как фактор стимуляции роста растений // Известия Уфимского науч.центр РАН. – 2011., №3. – С. 5–16.
5. Курдиш И.К. Интродукція мікроорганізмів у агроєкосистеми. – К.: Наук. думка, 2010. – 254 с.
6. Лакін Г.Ф. Биометрия. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
7. Методические рекомендации по определению фитогормонов. – Киев: Ин-т ботаники АН УССР, 1988. – 78с.
8. Патент 72856 України. Штам бактерій *Azotobacter vinelandii* для одержання бактеріального добрива для рослинництва / Курдиш І.К., Бега З.Т. Опубл. 15.04.2005. Бюл. №4
9. Патент України 54923 А. Штам бактерій *Bacillus subtilis* для одержання бактеріального добрива для рослинництва / Курдиш І.К., Бега З.Т. Опубл. 17.03.2003. Бюл. №3
10. Погорелова В.В., Бега З.Т., Курдиш И.К. Взаимоотношение бактерий рода *Bacillus* с инфузориями *Colpoda steinii* и их влияние на прорастание семян растений // Мікробіол. журн. – 2012. – 74, №2. – С. 48–54.
11. Погорелова В.В., Бега З.Т., Курдиш И.К. Взаимоотношение инфузорий с азотобактером и их влияние на растения // Мікробіол. журн. – 2012. – 74, №5. – С. 48–54.
12. Сухарева Н.Н. Простейшие – новые объекты биотехнологии. – Л.: Наука, 1989. – 148 с.
13. Церковняк Л.С., Остапчук А.Н., Кузьмин В.Е., Курдиш И.К. Образование биологически активных соединений индольной природы бактериями рода *Azotobacter* // Укр. біохім. журн. – 2009. – 81, №3. – С. 122–128.
14. Mikhailouskaya N. The effect of flax seed inoculation by *Azospirillum brasilense* on flax yield and its quality // Plant. Soil and Environ. – 2006. – 52, № 9. – P. 402–406.

Отримано 19.01.2014