

Член-корреспондент АН СССР Г. К. СКРЯБИН, Л. А. ГОЛОВЛЕВА,
Т. Ф. СОЛОВЬЕВА

СООКИСЛЕНИЕ ФЕНОКСИАЛКАНОВЫХ КИСЛОТ МИКРОБНЫМИ КУЛЬТУРАМИ

Накопление в биосфере устойчивых к разложению гербицидов выдвигает как одну из глобальных задач разработку способов их деградации. Наиболее перспективные пути решения этой проблемы связаны с использованием энзиматической активности микроорганизмов. В связи с этим ведется интенсивное исследование взаимодействия пестицидов различного строения и почвенных микроорганизмов. До последнего времени внимание исследователей было сконцентрировано главным образом на процессах полного разложения гербицидов микробными ассоциациями почвы и индивидуальными культурами микроорганизмов (¹⁻³). Детально изучались метаболические пути деградации молекулы пестицидов отдельными микробными штаммами, использующими эти соединения в качестве источников питания. Изучение действия микроорганизмов на необычные для живой клетки соединения, в течение ряда лет проводимое в нашей лаборатории, показало, что среди представителей почвенной микрофлоры весьма редки штаммы, способные полностью разлагать такие соединения как алициклические и ароматические углеводороды и гетероциклы ряда пиридила. В то же время было установлено, что значительная часть видов, по крайней мере в некоторых таксономических группах, способна осуществлять частичное превращение этих соединений, результатом которых является накопление циклических кислот и (или) фенолов, которые данной культурой далее не метаболизируются (⁴⁻⁵). Эти превращения осуществляются микробными клетками только путем соокисления, т. е. сопряжено с окислением какого-либо другого субстрата. Приведенные данные указывают на то, что соокисление, нашедшее в настоящее время широкое применение в технической микробиологии как метод получения многих ценных веществ, например, органических кислот, представляет собой одно из важнейших проявлений жизнедеятельности микроорганизмов в естественной среде их обитания — в почве, воде, илах и т. п. В связи с этим нами было изучено действие микроорганизмов в соокислительных условиях на гербициды 2,4-дихлорфеноксиуксусную (2,4-Д) и 2-метил-4-хлорфеноксиуксусную (2-М-4-Х) кислоты.

Исследовалось влияние гербицидов (феноксиалкановых кислот и ордрама) на микрофлору почв рисовых полей, а также способность микроорганизмов, выделенных из этих почв, и коллекционных микроорганизмов трансформировать и деградировать 2,4-Д и 2-М-4-Х. Анализ почвенной микрофлоры до и после внесения гербицидов показал, что в процессе адаптации к токсикантам меняется как количественный, так и видовой состав микроорганизмов. После внесения ордрама резко уменьшалась численность бактерий и грибов, но спустя 1,0—1,5 мес. она снова возрастала, внесение на фоне ордрама феноксиалкановых кислот существенно не сказывалось на количественном составе микроорганизмов. В процессе изучения динамики микрофлоры нами было выделено около 200 культур, большая часть которых была изучена на способность атаковать феноксиалкановые кислоты.

Вторая группа изученных микроорганизмов — культуры из лабораторной коллекции микрoформ: *Arthrobacter*, *Nocardia*, *Brevibacterium*. Изуче-

ние токсичности 2,4-Д и 2-М-4-Х показало, что музейные культуры выдерживают в 2—4 раза меньшие концентрации гербицидов, чем штаммы, выделенные из почвы (соответственно 0,4 и 1,0—2,0%). Ни один из проверенных штаммов, как музейных, так и выделенных из обработанных почв, не использовал феноксиалкановые кислоты в качестве источника углерода. При инкубации отмытых клеток с гербицидами в буферном растворе не было обнаружено никаких продуктов трансформации. Эти данные свидетельствуют о том, что лишь ничтожная часть микроорганизмов почвы способна превращать феноксиалкановые кислоты в обычных условиях.

Иная картина наблюдалась при внесении феноксиалкановых кислот в культуры, развивающиеся за счет других источников углерода *n*-гексадекана, глюкозы и органических кислот, т. е. в соокислительных условиях. В этих условиях значительная часть испытанных культур превращала исходные феноксиалкановые кислоты в частично окисленные производные, не разрушая ароматического ядра. Около 60% культур из числа микроорганизмов, выделенных из почв, обработанных гербицидами, осуществляли трансформацию 2,4-Д и 2-М-4-Х. Заслуживает внимания тот факт, что трансформирующей активностью обладали не только штаммы, выделенные из обработанной гербицидами почвы, но и коллекционные организмы (табл. 1). Анализ продуктов трансформации (хроматографическое поведение, спектральные свойства) позволяет предположить, что различные микроорганизмы осуществляют целый ряд энзима-

Таблица 1
Трансформация феноксиалкановых кислот коллекционными культурами микоформ

Организмы	Изучено штаммов	Соокисление	
		2,4-Д	2-М-4-Х
<i>Nocardia</i>	15	10	10
<i>Mycobacterium</i>	2	2	2
<i>Arthrobacter</i>	7	5	5
<i>Cellulomonas</i>	1	—	—
<i>Corynebacterium</i>	1	—	—
<i>Brevibacterium</i>	2	2	2

Таблица 2

Трансформация 2,4-Д и 2-М-4-Х в соокислительных условиях

№ штамма	Вид	Ростовой субстрат	Продукты трансформации 2-М-4-Х			Продукты трансформации 2,4-Д		
			глюкозоподобная кислота	фенолы	окисленные кислоты	глюкозоподобная кислота	фенолы	окисленные кислоты
64	<i>Arthrobacter oxydans</i>	Глюкоза	+	+	—	+	+	—
		Пропионат	++	++	++	++	++	—
139	<i>Arthrobacter oxydans</i>	Глюкоза	+	+	—	+	+	—
		Пропионат	+	+	++	+	+	+
164	<i>Arthrobacter globiformis</i>	Глюкоза	+	+	—	+	+	++
		Пропионат	+	+	++	+	+	++
1A	<i>Nocardia species</i>	Глюкоза	—	—	++	—	—	++
		Пропионат	—	—	++	—	—	++
		Гексадекан	—	—	++	—	—	++
77A	<i>Nocardia rubropertincta</i>	Глюкоза	—	—	++	—	—	++
		Пропионат	—	—	++	—	—	++
		Гексадекан	—	—	++	—	—	++
242	<i>Brevibacterium lineus</i>	Пропионат	+	+	+	+	+	—
		Глюкоза	+	+	+	+	+	—
19	<i>Nocardia globerulea</i>	Глюкоза	—	—	+	—	—	+
		Пропионат	—	—	++	—	—	++
		Гексадекан	—	—	++	—	—	++
13	<i>Nocardia globerulea</i>	Глюкоза	—	—	+	—	—	+
		Пропионат	—	—	++	—	—	++
		Гексадекан	—	—	+	—	—	+

тических реакций — окислительное отщепление алифатического двууглеродного фрагмента с образованием глиоксиловой кислоты, введение гидроксила в ядро и окисление метила до карбоксила (табл. 2). Наиболее активными трансформаторами были представители родов *Arthrobacter*, *Brevibacterium* и *Nocardia* независимо от того были ли выделены эти культуры из почв, обработанных гербицидами, или взяты из коллекции культур. Большое значение на процесс трансформации феноксиалкановых кислот оказывал характер ростового субстрата. Оптимальным ростовым субстратом для трансформации феноксиалкановых кислот являлись органические кислоты (табл. 2).

Таким образом, метод соокисления позволяет значительно расширить возможности использования микроорганизмов для трансформации и деградации токсических субстратов. По нашим данным, соокислительные условия на несколько порядков повышают эффективность микроорганизмов в процессах превращения неприродных соединений.

Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
Академии наук СССР
Пущино-на-Оке

Поступило
2 XI 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. J. Audus, Plant and Soil, v. 2 (1), 31 (1949). ² M. Alexander, Soil Biology, 1970, p. 209. ³ P. C. Kearney, D. D. Kaufman, Degradation of Herbicides, N. Y., 1969. ⁴ Г. К. Скрябин, Л. А. Головлева, Изв. АН СССР, сер. биол., № 2 (1972). ⁵ Г. К. Скрябин, Е. Л. Головлева, Журн. Всесоюз. хим. общ., т. 7, 488 (1972).