

ПРЕДИСЛОВИЕ

Среди современных проблем биологии центральное место занимает проблема адекватного экологического прогноза. В приложении к экологии сообществ, в частности микробиологических, она может быть переформулирована как проблема строгого количественного предсказания (расчета) численностей видов, образующих сообщество, как функций, аргументами которых являются факторы, определяющие жизнедеятельность организмов. Среди таких факторов одно из первых мест занимает обеспеченность особей ресурсами среды. Критерием адекватности расчетных схем может служить умение управлять структурой сообщества или, другими словами, умение поддерживать необходимый состав сообщества, представленного группами организмов в необходимых пропорциях. Интерес к подобным прикладным задачам связан с тем, что параметры биологических процессов и урожай продуцируемых веществ сильно зависят от доли, которая в биомассе сообщества приходится на те или иные виды организмов. Особая ситуация в микробиологических биотехнологиях возникает из-за явления диссоциации микроорганизмов. При этом активность диссоциантов, их физиологические особенности, влияющие на продуцирование биологически активных веществ, различны, что приводит к необходимости контролировать состав возникающей поликультуры. В первой части книги рассмотрены генетические, физиолого-биохимические и морфологические особенности диссоциантов бактерий.

Для исследования возможностей описания микробиологических культур с точки зрения указанных проблем прогноза и управления в работе используется вариационная модель потребления и роста для экологических сообществ. Эта модель позволяет по известным потребностям физиологически различающихся групп организмов рассчитывать области лимитирования для любых сочетаний ресурсных факторов в среде и численности популяций сообщества на стационарной стадии роста как функции лимитирующих рост ресурсов. Подход, лежащий в основе вариационной модели, берет свое начало в классической статистической физике, в которой каноническое распределение (стационарное состояние идеального газа) получается решением задачи на максимум энтропии при условии, что задана средняя энергия газа. В рамках используемой в работе модели стационарное состояние сообщества микроорганизмов описывается решением задачи на условный экстремум функции обобщенной энтропии.

В отличие от широко применяемых в математической биологии методов моделирования, использующих аппарат теории дифференциальных уравнений (обыкновенных или

с частными производными) и позволяющих исследовать динамику процессов, протекающих в биологической системе, указанный подход дает лишь стационарное состояние, в которое система приходит с течением времени. В тоже время, используя вариационное моделирование, можно избежать ряда трудностей в изучении динамических моделей, связанных с их чрезвычайной громоздкостью, неопределенностью множества параметров, невозможностью применения традиционных методов сокращения числа переменных, обусловленной спецификой задач и т.п. Во второй части книги представлен обзор моделей, в основе которых лежат различные экстремальные принципы.

Третья часть монографии посвящена математическим аспектам вариационной модели потребления и роста. Предъявлены способы расчетов границ областей лимитирования и численностей организмов на стационарной стадии роста для частных случаев. Получено решение экстремальной задачи в зависимости от следующих факторов: соотношение между количеством групп микроорганизмов и числом потребляемых ими ресурсов, соотношение между величинами потребностей клеток, принадлежащих разным слагающим сообщество группам. Кроме того, изучен вопрос об ограничении запасами питательных веществ роста монокультур. Перечисленные результаты позволяют сделать более простым и доступным применение вариационной модели для изучения традиционных лабораторных объектов исследования.

В работе доказаны теоремы о свойствах экстремальной задачи и функционала обобщенной энтропии («теорема Гиббса» и «теорема Больцмана»), имеющие перспективу применения в различных областях естествознания.

Впервые проведен анализ чувствительности вариационной модели, что чрезвычайно важно для дальнейшего анализа соответствия теоретических и экспериментальных данных.

Изучены возможные пути регулирования состава сообщества, предоставляемые вариационной моделью.

Четвертая часть книги посвящена изучению стационарной стадии развития культур диссоциантов бактерий *P.aeruginosa*. Необходимо отметить, что в подавляющем большинстве случаев моделирование бактериальных сообществ ориентировано на методы проточного культивирования, а работы по моделированию стационарных состояний в условиях культивирования бактерий без возобновления запасов ресурсов практически отсутствуют. Кроме того, настоящее исследование ориентировано на изучение не изолированных культур, а сообщества физиологически различающихся групп организмов.

По результатам лабораторных экспериментов с монокультурами определили параметры модели, которые представляют собой потребности диссоциантов в углероде, азоте и фосфоре. Причем полученные количественные данные учитывают физиологических

особенностей бактерий, влияющих на соотношение оптической плотности культуры и количества клеток. Затем были рассчитаны границы областей лимитирования и относительные численности диссоциантов на стационарной стадии развития смешанных культур на основе данных о модельных параметрах-потребностях. Проведена проверка адекватности теоретических расчетов и результатов экспериментов. Существенно, что для опытного выявления факторов, ограничивающих рост сообщества, был применен специально разработанный метод добавок. Полученные результаты позволяют говорить, что вариационная модель достаточно хорошо предсказывает характер лимитирования и состав смешанных культур бактерий на стационарной стадии роста.

Предлагаемая вниманию читателей монография является результатом многолетних исследований, проведенных при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№96-04-48025а, 99-04-48338а, 02-04-48085а, 05-06-80062а, 05-04-49238а, 08-06-00073а, 08-04-00775а). Цикл печатных работ, выполненных в рамках этого направления, был отмечен на Конкурсе молодых ученых МГУ им. М.В. Ломоносова, а также Грантом Правительства Москвы молодым ученым города.

Авторы выражают глубокую признательность И.А.Ильиных за большой вклад в экспериментальную часть работы. Неоценимую помощь конструктивными обсуждениями, ценными советами, добрым отношением и поддержкой нам оказали В.Н.Максимов, Н.Г.Булгаков, Г.Ю.Ризниченко, Д.О.Логофет, Г.И.Эль-Регистан, В.Л.Алексеев, С.В.Мамихин, А.В.Соловьев.