

УДК 631.45:631.45

**К МЕТОДУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРА ЗДОРОВЬЯ ПОЧВЫ
TO A METHOD OF SOIL HEALTH PARAMETER DETERMINATION**

А.М. Семенов, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Воробьевы горы, д. 1, стр. 12, ГСП-1, Москва, Россия, 119991, тел.: (495) 939-42-23, e-mail: amsemenov@list.ru

А.Х.К. Ван Бругген, Институт потенциальных патогенов и кафедра фитопатологии Университета штата Флорида, 110680, Гейнсвилл, Флорида, 32611-0680, США, тел.: 135237668194, e-mail: ahcvanbruggen@ufl.edu

A.M. Semenov, Moscow State University, Vorob'evy Gory, 1, bl. 12, GSP-1, Moscow, Russia, 119899, tel.: (495) 939-42-23, e-mail: amsemenov@list.ru

A.H.C. Van Bruggen, Emerging Pathogens Institute and Plant Pathology Department, IFAS, University of Florida, PO Box 110680, Gainesville, FL 32611-0680, USA, tel.: 135237668194, e-mail: ahcvanbruggen@ufl.edu

В сообщении дается краткая предыстория проблемы здоровья почвы и определения понятия здоровье почвы. Обсуждаются фундаментальные основы предлагаемого приема определения параметра здоровья почвы. Дается описание способа определения параметра здоровья почвы, компостов и других твердых субстратов.

Ключевые слова: здоровье почвы, микробные популяции, волнообразная динамика, экологические концепции, количественный метод.

In the message the brief background of a problem of soil health and definition of concept of soil health is given. Fundamental bases of suggested approach of soil health parameter quantification are discussed. The description of a way of determination of soil health parameter, composts and other solid substrates is given.

Keywords: health of soil, microbial populations, wave-like dynamics, ecological concepts, a quantitative method.

Почва, как любая сложная система, имеет множество свойств. Ранее для описания и характеристики свойств почвы основное внимание уделялось ее плодородию и качеству, основанных на физических и химических свойствах. Однако почва — это минерально-органическая, микробно-растительная система, созданная и поддерживаемая главным образом микроорганизмами. В этой системе протекают основные физико-химические и биологические процессы — циклы элементов и циклы микроорганизмов. Эта система обладает значительными буферными способностями в отношении разнообразных нарушающих воздействий. Она способна обеспечивать питательными веществами растения и другую, обитающую в ней биоту и является источником и стоком биоразнообразия. Стало вполне очевидным, что при характеристике почвы необходимо равноправно учитывать биологическую составляющую почвы, и в этой связи становится правомерной такая биолого-экологическая характеристика почвы, как ее здоровье (ЗП).

Идея введения в научно-практический обиход такого представления, как здоровье почвы, возникла в конце 80-х — начале 90-х гг. XX в. Для термина ЗП различные авторы дают разные определения, которые хотя и могут расходиться в деталях, но, по сути, достаточно близки друг к другу. Большинство этих определений можно найти в недавней публикации Соколова с соавт. [6]. Сам Соколов дает следующее определение: «здоровье почвы есть функция ее экологической устойчивости, включающей: а) оптимально сбалансированное и адаптированное (к экоресурсам) биоразнообразие педоценоза; б) самоочищение почвы от загрязняющих веществ посредством сорбции и (или) биотрансформации; в) супрессию аборигенными почвенными микроорганизмами вредной биоты (фитопатогенной и санитарно-показательной)». Безусловно, что определения ЗП будут множиться и уточняться, однако ясно, что ЗП заняло свой статус в многочисленных свойствах почвы. Проблема остается лишь в том, какими количественными характеристиками и какими методическими приемами можно оценить ЗП [9]. Важно помнить и то, что нельзя смешивать представление о здоровье почвы с ее потребительскими качествами.

Цель настоящего сообщения — описание и обсуждение разработанного и запатентованного способа количественного определения параметра ЗП. Настоящее краткое сообщение не ставит своей целью всестороннее и историческое рассмотрение проблемы.

Сначала необходимо упомянуть некоторые фундаментальные законы экологии вообще и экологии микроорганизмов в частности, которые лежат в основе метода определения ЗП. Все популяции, в т.ч. микробные, подчиняются законам экспоненциального роста, самоограничения роста, т.е. лимитирования и (или) ингибирования роста и волнообразного или осциллирующего развития во времени (и, по-видимому, в пространстве) популяций [2, 3, 7]. Флуктуирующий характер развития природных популяций микроорганизмов заметили давно, еще с 1920-х гг. Из числа российских ученых, которые занимались этой проблемой, несомненно, следует упомянуть Н.Я. Худякова, Т.В. Аристовскую и Д.Г. Звягинцева. Ограниченность методических возможностей, доступных в тот временной период для исследования этого явления и анализа результатов, не позволила понять причины, движущие силы и механизмы такой формы развития микробных сообществ (МС). Возникло

множество гипотез, всячески объясняющих, но не раскрывающих сути явления. Как следствие — игнорирование этого явления при проведении исследований и интерпретации результатов и отсутствие даже попыток использования этого явления в практических целях.

Столкнувшись с флуктуирующей динамикой численности бактерий вдоль корней пшеницы, авторы настоящего сообщения всесторонне изучили это явление в ризосфере и в неризосферной почве, как для сапротрофных, так и фито- и энтеропатогенных микроорганизмов, в микроскопных экспериментах с природными популяциями и с чистыми культурами, традиционными микробиологическими и молекулярно-биологическими методами, а также на математических моделях [8, 9, 10]. Авторами был сделан вывод не только о всеобщности и повсеместности этого явления, но удалось понять причины, движущие силы и механизмы настоящего феномена [1, 10]. Была сформулирована новая экологическая концепция «о нарушающих воздействиях и волнообразном развитии микробных популяций (МП) и МС [1, 2, 3, 10]. Ключевые положения этой концепции: 1) МП и МС существуют и развиваются в природе волнообразно; волнообразное развитие МП и МС, как всеобщее явление, протекает и во времени, и в пространстве; 2) причина волнообразного развития МП и МС — взаимодействие потребителя и субстрата, вследствие чего возникает чередование фаз роста и отмирания компонентов МП и МС (механизм волнообразности существования и развития МП и МС); 3) движущие силы волнообразного развития МП и МС — постоянно возникающие нарушающие воздействия (НВ) внутренней и внешней природы; 4) сильные внешние НВ упорядочивают постоянно возникающие спонтанные колебания МП и МС, упорядочивая те «импульсы» питательных веществ, которые образуются при НВ; 5) НВ являются любыми воздействиями, приводящие или к «внесению» в микробную систему питательных веществ, или удаляющие соответствующие лимитирующие и (или) ингибирующие факторы, например, высушивание-увлажнение, замораживание-оттаивание, механические воздействия, просто внесение субстратов и т.д.; 6) круговорот микроорганизмов в природе («микробный цикл») самих по себе, а тем более одновременно с субстратами является наиболее всеобщим и постоянным НВ в природе.

Следствием такого всестороннего познания феномена стала мысль о его практическом использовании, а одним из практических направлений — разработка метода сравнительного определения волнообразной реакции численности и активности МП и МС разных почв на различные НВ, которая в дальнейшем привела к способу определения параметра здоровья почвы. Для разработки такого метода предстояло решить ряд методических и методологических проблем, среди которых были содержание и количество возможных количественных параметров, методы определения волнообразной динамики, длительность и частота определения избранных параметров.

Экспериментальное определение ежедневной динамики численности бактерий в почве или других природных субстратах методами посева суспензий на среды или прямым учетом численности клеток (всех или активных) под микроскопом, которыми мы пользовались в своих экспериментальных исследованиях, является очень трудоемким процессом. Метод предполагает отбор образцов, перевод в водную суспензию и т.д., что само

по себе является НВ для исследуемой системы. В этом отношении определение динамики выделения CO_2 из почвы или других субстратов является более быстрым, менее деструктивным и поддающимся большей автоматизации методом.

Скорость эмиссии CO_2 и других газов почвой — показатель напряженности биологических процессов, суммируя активность бактерий, грибов, а также зоо- и фитокомпонентов. Реакция микроорганизмов на внесение в систему «микроорганизм — среда» субстрата повсеместна. Как следствие, показатель интенсивности дыхания (ИД) почвы в виде скорости выделения CO_2 и, в частности, субстрат индуцированное дыхание (СИД) широко применяется в почвенной микробиологии. Отметим, что внесение субстрата для регистрации СИД — один из самых мощных НВ.

С точки зрения динамики, а тем более кинетики дыхательной активности определение СИД представлялось логичным осуществлять только и именно в условиях, не лимитированных какими-то факторами, кроме субстрата. В таких условиях в течение некоторого времени имеет место максимальный и прямо пропорциональный добавленному субстрату отклик ИД на внесенный субстрат. Долгое время сравнение биологической активности различных почв (фактически активности МС таких почв) пытались провести именно по результатам определения угла наклона СИД во времени и именно в «нелимитированной» области при графическом отображении такой зависимости. Однако такая правильная с точки зрения кинетики химических и биохимических реакций логика долгое время ограничивала видение других законов, а именно то, что биологические популяции существуют и развиваются в природе волнообразно [1, 2, 3, 8, 10].

При исследовании волнообразной, осциллирующей динамики, когда получается довольно длинный ряд данных, необходим нетрадиционный взгляд на эти результаты и применение других методов анализа, в т.ч. статистических. Мы пришли к мысли о необходимости использования гармонического или Фурье анализа таких результатов. Как известно, гармонический анализ позволяет выявить в длинном ряду данных наличие закономерных, достоверных осцилляций с определением параметров таких осцилляций и тем самым отделить случайные, недостоверные отклонения от закономерной, значимой колебательной динамики. Благодаря использованию этого метода мы убедились в научной достоверности и биологической значимости колебательной динамики существования и развития МП в почве [8, 10].

Литература

- Семенов А.М. Осцилляции микробных сообществ в почвах // Труды Всероссийской конференции. К 100-летию со дня рождения академика Е.Н. Мишустина. 22.02.2001. М. МАКС Пресс. 2001. — С. 57—72.
- Семенов А.М. Законы микробной экологии. Практическая значимость теоретических исследований // Материалы Всерос. симп. с междунар. участием. «Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов». К 125- и к 120-летию со дня рожд. акад. В.Н. Шапошникова и проф. Е.Е. Успенского соответственно. М. МГУ им. М.В. Ломоносова. Биол. факультет 24—27.12.2009 г. МАКС Пресс. 2009. — С. 165.
- Семенов А.М. Концепции микробной экологии о пространственно-временной динамике микробных популяций в почве // Тез. доклада в матер. Всерос. научн. конф. «Биосферные функции почвенного покрова», посвящ. 40-летн. юбилею Института физ-хим. и биол. проблем почвоведения РАН. 8—12.11.2010 г. Пушкино. SYNCHROBOOK. 2010. — С. 278—279.
- Семенов А.М., Ван Бругген А.Х.К., Бубнов И.А., Семенова Е.В. Способ определения параметра здоровья у образцов почвы, компостов и других твердых субстратов. Заявка на патент № 2009130742/12(042941). Приоритет от 12.08.2009 г. Положительное решение от 18.08.2010 г.
- Семенов А.М., Ван Бругген А.Х.К., Бубнов И.А., Семенова Е.В. Система для количественного определения эмиссии газов из образцов почвы, компостов и других твердых субстратов. Патент на полезную модель № 90212. Зарегистрирован 27.12.2009. Заявка 2009130743 от 12.08.2009.
- Соколов М.С., Дородных Ю.Л., Марченко А.И. Здоровая почва как необходимое условие жизни человека // Почвоведение. 2010. № 7. — С. 858—866.
- Турчин П.В. Есть ли общие законы в популяционной экологии? // Ж. общ. биол. — 2002. — Т. 63, — С. 3—14.
- Semenov A. M., Van Bruggen A. H. C., Zelenev V. V. Moving waves of bacterial populations and total organic carbon along roots of wheat // Microb. Ecol. 1999. V. 37. P. 116-128.
- Van Bruggen A. H. C., Semenov A. M. In search of Biological Indicators for Soil Health and Disease suppression // Appl. Soil Ecol. — 2000. — V. 15. — P. 13—24.
- Van Bruggen A. H. C., Semenov A. M., Van Diepeningen A. D., de Vos O. J., Blok W. J. Relation between Soil Health, Wave-like Fluctuations in Microbial Populations, and Soil-borne Plant Disease Management // Europ. J Plant Pathol. — 2006. — V. 15. — P. 105—122.

В предлагаемом способе определения параметра здоровья у образцов почвы, компостов и других твердых субстратов осуществляется НВ на исследуемый и контрольный образец, который считают здоровым. При этом выбирают физическое, или химическое, или биологическое НВ. Производится измерение и сравнение ответной реакции образцов на НВ не реже чем ежедневно и не менее чем в течение 10 сут. В качестве ответной реакции используют скорость (V) выделения CO_2 образцами в условиях их термостатирования и поддержания сравнительной влажности. На основании полученных результатов строят графические зависимости V от времени (T), прошедшего с момента НВ на образцы. В случае адекватного НВ динамика выделения CO_2 из почв будет иметь волнообразный вид. На графике(ах) зависимости V от T выбирают один из первых, но наибольших пиков для контрольной и исследуемой почв и сравнивают ширину (L) максимальных по амплитуде пиков на их полувысоте. Сравнение параметров именно максимальных по амплитуде пиков обусловлено тем, что это позволяет учесть наиболее активные, наибольшие по численности и, следовательно, наиболее значимые микробные популяции в исследуемых образцах почвы.

Предложенный параметр для количественного определения ЗП включает как характеристику амплитуды (высота) волны, так и продолжительность (фактически период) самых высоких пиков. Для вычисления параметра ЗП предлагается использовать ширину (L) самого высокого пика эмиссии CO_2 на его полувысоте у исследуемой ($L_{\text{ин}}$) и контрольной почвы ($L_{\text{кн}}$) или здоровой после одинакового НВ. Параметр ЗП рассчитывается по формуле $ZP = |(L_{\text{ин}} - L_{\text{кн}}) / L_{\text{кп}}|$. При этом этот параметр рассчитывают по абсолютной величине. Использование именно модуля вышеуказанной дроби, а не просто модуля разницы между шириной вышеуказанных пиков на их полувысоте дает возможность устранить размерность у параметра ЗП и позволяет корректно сравнивать состояние ЗП у исследуемого и контрольного образцов. Считается, что исследуемая почва тем более здорова, чем результат этого уравнения ближе к нулю. Если результат этого уравнения равен нулю, то исследуемая почва абсолютно здорова [4].

Представляется, что широкое внедрение уже разработанного метода количественного определения параметра ЗП, а тем более при расширении таких параметров и при использовании автоматического компьютеризированного прибора определения ЗП [5], наряду с созданием базы данных здоровья различных почв явится весомым вкладом в формирующееся в настоящее время новое направление биотехнологии — экологической биотехнологии. ■