

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.46+631.86

doi: 10.26907/2542-064X.2021.2.221-237

## ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА ИЗ КУРИНОГО ПОМЕТА НА МИКРООРГАНИЗМЫ И РАСТЕНИЯ

Г.Ш. Галиева<sup>1</sup>, П.А. Курынцева<sup>1</sup>, П.Ю. Галицкая<sup>1</sup>, М.Ш. Тагиров<sup>2</sup>,  
С.Ю. Селивановская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

<sup>2</sup>Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский  
научный центр РАН, г. Казань, 420059, Россия

### Аннотация

Анализ влияния биочаров, полученных из куриного помета при разных температурах, определил, что увеличение температуры пиролиза с 300 °С до 700 °С привело к увеличению удельной площади поверхности биочара в 15 раз и к снижению содержания азота в 1.4 раза. Внесение обоих видов биочара (В300 и В700) в почву в дозе 1% привело к значительному увеличению содержания  $P_{\text{подв}}$  в 9.5 и 11.5 раз соответственно, тогда как увеличение содержания  $N_{\text{общ}}$  и  $K_{\text{подв}}$  оказалось существенно меньшим (в среднем в 1.6 раз). Показано, что внесение биочара обоих типов не привело к изменению в почве количества грибов и бактерий, оцененных на основе анализа бактериальных 16S рРНК и грибных 18S рРНК генов, а также респираторной и метаболической активности сообществ, установленной с использованием системы Biolog EcoPlate. Анализ растений ячменя и пшеницы выявил, что, во-первых, ячмень оказался более отзывчивым на внесение биочара по сравнению с пшеницей, во-вторых, максимальный эффект на ячмень оказывал биочар, полученный при 700 °С, в-третьих, указанный биочар вызывал увеличение биомассы растений ячменя. Скорее всего, эффекты, производимые изученными биочарами (В300 и В700), отличаются в связи с неодинаковой площадью их поверхности: внесение в почву биочара с большей удельной площадью поверхности увеличивает влагоудерживающую способность почвы и, в свою очередь, благоприятно для растений.

**Ключевые слова:** биочар, зерновые культуры, почвенные микробные сообщества, респираторная активность, Biolog EcoPlate

### Введение

На сегодня одной из основных проблем сельского хозяйства является истощение почвенного плодородия и следующее за ним снижение урожайности сельскохозяйственных растений, которое возникает в результате нарушений в ходе агротехнических мероприятий, а также избыточного применения удобрений и средств защиты растений [1]. По этим причинам разработка эффективных нетрадиционных удобрений и биопрепаратов привлекает все большее внимание специалистов сельскохозяйственного профиля [2].

Одним из перспективных нетрадиционных удобрений является биочар, представляющий собой продукт пиролиза органического вещества, проводимого при температурах от 300 °С до 1000 °С в условиях отсутствия кислорода. Этот материал богат углеродом, характеризуется большой удельной площадью поверхности

и обладает высокоароматической структурой [3]. Сырьем для биочара могут служить различные органические отходы: растительный опад, жмых, древесина, осадки сточных вод, отходы животноводства и птицеводства и др. [4]. На его физико-химические характеристики влияют температура, длительность и скорость пиролиза, исходное сырье. В зависимости от технологических условий производства биочара существуют два вида пиролиза: «медленный» пиролиз – при низких скоростях нагревания сырья (5–10 °С/мин) и «быстрый» пиролиз – при быстрых скоростях нагревания (более 10 °С/мин). Использование технологии «медленного» пиролиза при относительно низких температурах процесса (350–500 °С) способствует увеличению выхода биочара с высоким содержанием углерода до 93%. При использовании технологии «быстрого» пиролиза (при высоких скоростях нагрева) образуется биотопливо, синтез-газ и биочар как побочный продукт [5]. Биочары, полученные из древесных отходов, имеют большую удельную поверхность и содержание углерода, но при этом более низкое содержание кислорода и минеральных компонентов по сравнению с биочарами, полученными из навозов [6]. Таким образом, навозы и птичьи пометы могут являться более перспективными субстратами для нетрадиционного удобрения в силу более высокого содержания в них азота.

При внесении в почву биочар служит источником питательных элементов для растений и микроорганизмов [7]. Согласно исследованиям Цзин Тянь и др. [8], добавление в почву биочара, полученного из сосновой древесины, в количестве 6 т/га увеличило содержание общего почвенного углерода до 50%. Пористая структура биочара способствует улучшению влагоудерживающих свойств, агрегатной устойчивости и аэрируемости почв, создавая благоприятные условия для развития полезных микроорганизмов [9]. Поскольку в основном биочары имеют значения pH в пределах 8–10, их внесение в почву повышает значения pH и тем самым нейтрализует кислые почвы [10]. Уменьшение кислотности почв возможно за счет: 1) щелочной природы биочаров; 2) увеличения катионообменной емкости в результате высвобождения таких катионов, как K, Ca, Na из биочаров; 3) наличия различных функциональных групп (–COO– и –O–); 4) образования различных карбонатов (Ca, K, Na и Si) во время пиролиза, которые реагируют с H<sup>+</sup> и мономерными формами Al в кислых почвах [11, 12].

Кроме того, биочар способствует секвестрации углерода в почве. Присутствие соединений углерода в стабильных формах растягивает период его разложения от нескольких сотен до тысячи лет, что сокращает выбросы CO<sub>2</sub> [13].

Внесение в почву биочара как субстрата, содержащего органические элементы, определяет состав и структуру микробных сообществ, вовлеченных во многие процессы, включая трансформацию почвенного органического вещества [3]. Установлено, что различные биочары, в основном полученные из растительных отходов, влияют на метаболическую активность, микробную биомассу, активность почвенных ферментов [14, 15]. Однако механизмы воздействия биочара на структуру микробного сообщества и характер его взаимодействия с почвенным органическим углеродом изучены недостаточно.

В настоящей работе проведена оценка влияния двух видов биочара из куриного помета (полученных в режиме «медленного» пиролиза при пиковых температурах 300 °С и 700 °С) на почвенные микроорганизмы и рост растений яровой пшеницы сорта «Йолдыз Элита» и ярового ячменя сорта «Раушан» в условиях лабораторного эксперимента.

## 1. Методика исследований

Исходным сырьем для получения биочаров послужил подстилочный куриный помет на одной из крупнейших птицефабрик в Республике Татарстан (производство мяса в живом весе составляет порядка 120 000 т/год), где в качестве подстилочного материала используются древесные опилки, а кормовая база кур состоит из кормов на основе зерновых культур (пшеницы, ячменя), рапсового жмыха, рапсового масла, а также других добавок и кормовых премиксов в зависимости от сезона года. Биочары были получены на полупромышленной пиролизной установке с вращающейся ретортой при температурах пиролиза 300 °С и 700 °С без доступа кислорода в течение 2 ч (образцы В300 и В700 соответственно).

Почва для эксперимента была отобрана в Республике Татарстан (55°51'21.7" N, 48°52'48.1" E). Отбор почвенных образцов осуществлен согласно ГОСТ-17.4.4.02-84 [16]. Содержание органического углерода в почве составляло 1.60–1.70%, общего азота – 0.14–0.15%, подвижного калия – 0.032–0.035% и подвижного фосфора – 0.0018–0.0025%.

Для проведения вегетационного эксперимента использовали пластиковые контейнеры, в которые было помещено по 10 кг почвы. В 6 контейнеров с почвой был внесен биочар В300 в дозе 1% (w/w), в другие 6 контейнеров – биочар В700 в дозе 1% (w/w), третья партия из 6 контейнеров не обрабатывалась биочаром и использовалась в качестве контроля (К). Далее каждая группа контейнеров была разделена на 2 части по 3 контейнера: в контейнеры первой группы высевали по 20 шт. семян яровой пшеницы сорта «Йолдыз Элита» (w), во вторую – по 20 шт. семян ячменя сорта «Раушан» (b). Таким образом, в эксперименте использовали 6 вариантов почвенных образцов: Kw, В300w, В700w, Kb, В300b, В700b. Вегетационный эксперимент проходил в лабораторных условиях: при постоянной температуре 23 ± 3 °С; освещенности 16:8, влажности почвы – 60% в течение 28 дней.

Отбор почвенных образцов из контейнеров проводили на 1-е, 7-е, 14-е и 28-е сутки эксперимента. Респираторную и метаболическую активность анализировали в образцах во все временные точки. Содержание биогенных элементов (углерод, азот, калий, фосфор), количество копий бактериальных и грибных генов определяли в начале и конце эксперимента (на 1-е и 28-е сутки). Содержание хлорофилла, биомассу, длину стебля и корня растений анализировали на 28-е сутки эксперимента.

Содержание общего углерода и общего азота в почвенных образцах и в образцах биочара измеряли с помощью метода сухого сжигания согласно DIN/ISO 13878 на анализаторе Vario MAX cube (Elementar, Германия) [17]. Подвижные формы фосфора и калия в почве и биочарах определяли методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на анализаторе ICPE 9000 (Shimadzu, Япония). Экстракцию подвижных форм соединений элементов осуществляли с использованием ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4.8 согласно ГОСТ Р ИСО 27085-2012 [18]. Площадь поверхности биочара определена при помощи классической модели Брунауэра – Эммета – Теллера (БЭТ) с использованием анализатора сорбции газов NOVA 1200e (Quantachrome, США). Для всех образцов выполнялась предподготовка в виде дегазации в течение 978 мин при температуре 105 °С, при этом контролировалась потеря массы, измерялась масса дегазированного образца [19].

Почвенную респираторную активность оценивали согласно ISO 14240-1 по объему выделившегося углекислого газа, улавливаемого щелочью при инкубировании в закрытых сосудах [20], а метаболическую активность почвенного микробного сообщества с использованием системы EcoPlate (Biolog, США) согласно методике производителя. В качестве показателя метаболической активности использовали интегральное значение средней окраски ячеек (fAWCD) [21].

Количество бактерий и грибов определяли на основании анализа 16S и 18S рРНК генов. Для этого из почвенных проб производили выделение ДНК с использованием набора Fast DNA Spin Kit For Soil (MP Bio, США) в соответствии с инструкцией производителя. Методом ПЦР в реальном времени устанавливали количества 16S рРНК бактериальных и 18S рРНК грибных копий генов с использованием 341f/534r и FQf/FQr праймеров соответственно [22–24]. Амплификацию проводили в трех повторностях в режиме: активация фермента ДНК-полимеразы осуществлена при 95 °С в течение 10 мин, затем 40 циклов по 15 с при 95 °С, 15 с при 58 °С и 30 с отжига при 72 °С для бактерий и в режиме: активация фермента осуществлена при 95 °С в течение 3 мин, затем 40 циклов по 30 с при 95 °С, 30 с при 55 °С, 30 с при 72 °С в термоциклере CFX 96 (Bio-Rad, США).

На 28-е сутки анализировали морфометрические показатели и биомассу исследуемых растений: среднюю длину стебля, среднюю длину корня, среднюю биомассу растений, а также содержание хлорофилла в листьях растений. Содержание хлорофилла в эпидерме листьев определяли с использованием портативного хлорофилломера Forge-A (Dualex, Франция) [25].

Каждый из вариантов обработки почвы был заложен в трех повторностях. Анализы всех показателей проводили не менее чем в трех повторностях. В таблицах и на рисунках представлены средние значения и стандартные отклонения. При попарном сравнении средних значимость их различий оценивали с использованием критерия Стьюдента ( $P = 0.05$ ). При проведении множественного парного сравнения использовали метод Тьюки [26].

## 2. Результаты и их обсуждение

Минеральные удобрения, вносимые в почву для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, традиционно содержат такие макроэлементы, как N, P, K [27]. Для того чтобы выявить потенциальные удобрительные свойства двух исследуемых видов биочаров, оценивали содержание общего углерода, основных для растений макроэлементов, а также удельную площадь поверхности (табл. 1).

Установлено, что по содержанию  $C_{\text{общ}}$ ,  $K_{\text{подв}}$  и  $P_{\text{подв}}$  полученные образцы биочара достоверно ( $P < 0.05$ ) не отличаются. Однако по содержанию  $N_{\text{общ}}$  наблюдались различия. Это может быть связано с тем, что пиролиз при более высоких температурах способствовал улетучиванию соединений азота, тогда как соединения калия и фосфора, а также углерод оставались в биочаре. Анализ поверхностных свойств биочара показал, что в результате увеличения температуры пиролиза с 300 °С до 700 °С удельная площадь его поверхности стала в 15 раз больше. В целом эти результаты сопоставимы с данными работы [28]. Как показано в [29, 30], состав биочара зависит от свойств исходного сырья. Так, биочар, полученный из отходов древесины, в основном состоит из углерода, а биочары, полученные из продуктов жизнедеятельности животных, могут содержать азот, калий

Табл. 1

Характеристики двух видов биочара из куриного помета, использованных в работе

Вид биочара	Содержание биогенных элементов, %				Удельная площадь поверхности, м <sup>2</sup> /г
	C <sub>орг</sub>	N <sub>общ</sub>	P <sub>подв</sub>	K <sub>подв</sub>	
V300	42.73 ± 1.15	4.48 ± 0.20	1.70 ± 0.12	4.30 ± 0.23	1.345 ± 0.03
V700	42.62 ± 1.18	3.30 ± 0.24	1.50 ± 0.16	4.50 ± 0.19	19.004 ± 0.13

и фосфор. На свойства биочара также влияют режимы пиролиза: пиковая температура и длительность данного процесса определяют пористость, биодоступность элементов, токсичность получаемого биочара и соотношение содержания летучих и нелетучих элементов в нем [31]. В. Сонг и др. [32] продемонстрировали, что при увеличении температуры пиролиза с 300 °С до 600 °С концентрация К, Са, Mg и Р в биочаре из птичьего помета возрастает на 30–34%, при этом часть минеральных соединений становится менее растворимой. Полученные результаты согласуются с данными литературы и в части анализа удельной площади поверхности. П. Парияр и др. [33] обнаружили, что увеличение температуры пиролиза с 350 °С до 650 °С привело к росту удельной площади поверхности биочара, получаемого из древесных опилок, в 127 раз, из куриного помета – в 14 раз, из отходов макулатуры – в 27 раз. Этот параметр является важным, поскольку внесение в почву биочара с большей удельной площадью поверхности улучшает влагоудерживающую способность почв: установлено увеличение значений влагоудерживающей способности в 1.5 раза для биочаров, полученных при 600 °С, относительно контрольных вариантов и отсутствие влияния на данный показатель биочара, полученного при 400 °С [34].

Далее образцы биочара вносили в дозе 1% (w/w) в обедненную почву, которую затем засеивали семенами пшеницы и ячменя. В динамике эксперимента оценивали содержание в данной почве макроэлементов, активность микроорганизмов, рост и развитие растений.

Результаты оценки содержания питательных элементов представлены на рис. 1. Оба образца биочара в дозе 1% (w/w) не повлияли на содержание почвенного C<sub>орг</sub> (рис. 1, а), однако привели к достоверному ( $P < 0.05$ ) повышению в почве содержания макроэлементов: N<sub>общ</sub> – в среднем на 30%, P<sub>подв</sub> – в среднем на 1300% (рис. 1, б и з). Существенное влияние биочара на содержание подвижного фосфора отмечено и в работе [35].

Не выявлено каких-либо различий в содержании макроэлементов между почвенными образцами, отобранными под растениями пшеницы и ячменя, а также между видами биочара с точки зрения их влияния на содержание N<sub>общ</sub> (за исключением вариантов V300 и V700 на 1-е сутки исследования) и K<sub>подв</sub> в почве. При анализе P<sub>подв</sub> обнаружено, что внесение биочара V300 приводило к достоверно более высокой концентрации в почве фосфора по сравнению с вариантом V700.

Микроорганизмы являются наиболее изменяющейся частью почвенной биоты из-за своего короткого жизненного цикла и высоких адаптивных способностей. Особенности их состава и активности позволяют судить о состоянии почвы, в том числе о результатах различных воздействий на нее [36]. Одним из комплексных

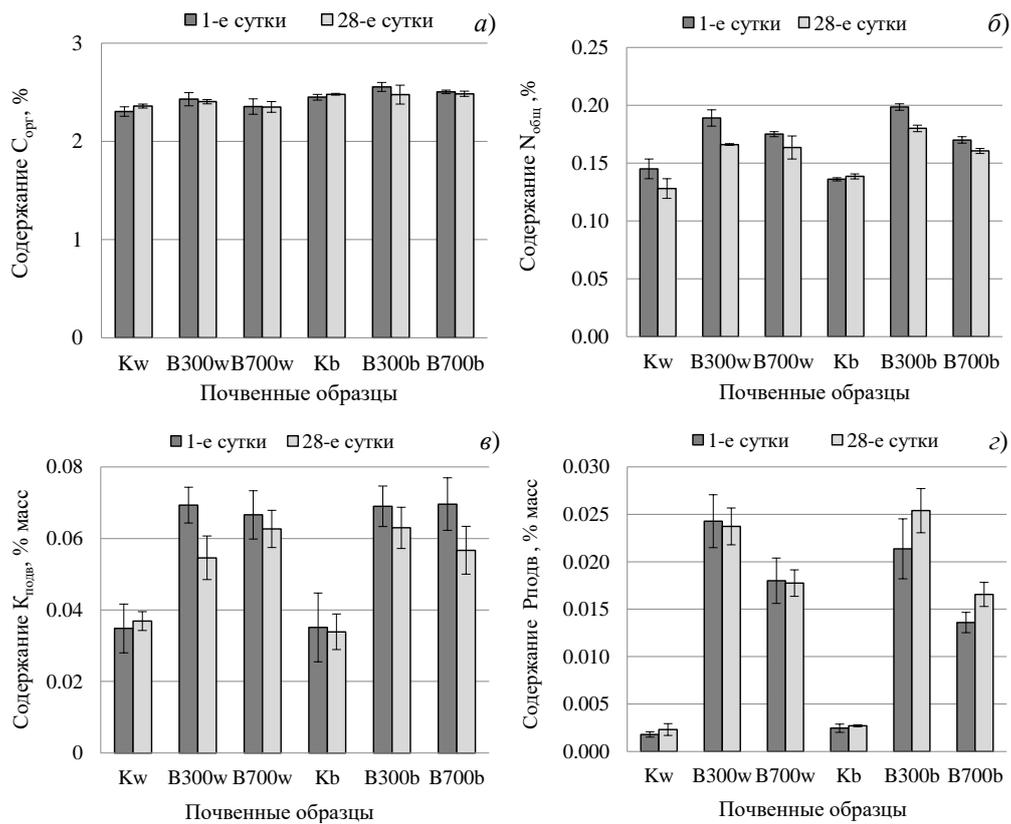


Рис. 1. Содержание органического углерода (а), общего азота (б), подвижного калия (в) и подвижного фосфора (г) в отобранных под растениями пшеницы и ячменя образцах почвы, обработанной различными видами биочара

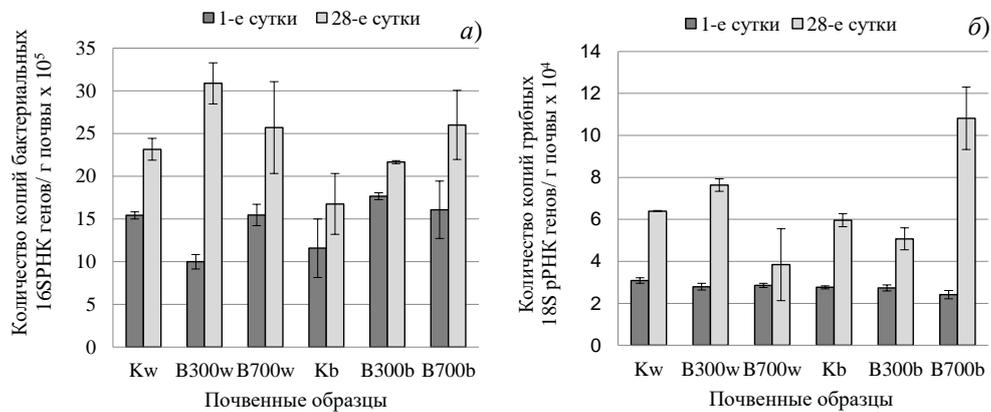


Рис. 2. Количество бактериальных 16S рРНК (а) и грибных 18S рРНК (б) копий генов в отобранных под растениями пшеницы и ячменя образцах почвы, обработанной различными видами биочара

показателей состояния почвенного микробного сообщества является количество обитающих в ней бактерий и микромицетов. Этот показатель определяли на основе количества копий бактериальных (рис. 2, а) и грибных (рис. 2, б) генов.

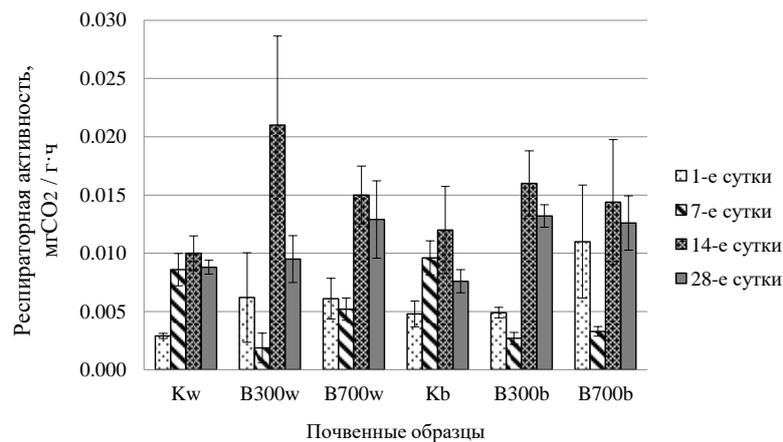


Рис. 3. Респираторная активность микробного сообщества в отобранных под растениями пшеницы и ячменя образцах почвы, обработанной различными видами биочара

Установлено, что в начале эксперимента количество копий бактериальных 16S рРНК генов в контрольных почвах под разными культурами (образцы Kw и Kb) было сопоставимым и составляло  $1.56 \cdot 10^6$  и  $1.16 \cdot 10^6$  копий генов/г почвы соответственно. Согласно известным данным [37], степень заселенности почв бактериями может изменяться в диапазоне  $10^6 - 10^9$  копий генов/г почвы и зависит от типа почв. Анализ количества бактерий непосредственно после внесения биочаров не выявил достоверных различий по сравнению с контрольными образцами. На 28-е сутки наблюдений зарегистрировано незначительное увеличение количества копий бактериальных 16S рРНК генов как в почвах с внесением биочаров, так и в контрольных образцах. Отсутствие изменений количества бактериальных копий генов при внесении биочара было отмечено и другими авторами [38].

Как и в случае бактерий, внесение биочаров не повлияло на количество грибов в почве. К концу эксперимента количество грибных копий 18S рРНК генов составило  $6.39 \cdot 10^4$  и  $5.96 \cdot 10^4$  в образцах Kw и Kb и  $7.63 \cdot 10^4$ ,  $3.84 \cdot 10^4$ ,  $5.07 \cdot 10^4$  и  $1.08 \cdot 10^5$  в образцах B300w, B700w, B300b и B700b соответственно. Выявленное количество грибных копий 18S рРНК генов является типичным для почв [37]. Как и у бактерий, на 28-е сутки наблюдался рост численности количества грибных копий генов для всех образцов. Вероятно, увеличение количества копий генов микроорганизмов в обоих случаях связано с интенсификацией растительно-микробных взаимодействий, в том числе со стимуляцией микроорганизмов за счет полива и аэрации почвы.

Анализ изменения функциональной активности почв при внесении биочаров основывался на двух параметрах: респираторной активности почв и степени потребления различных углеродных субстратов микроорганизмами (метаболической активности). Данные об изменении респираторной активности представлены на рис. 3.

Как видно из рисунка, значения респираторной активности в контрольных образцах в 1-е сутки эксперимента составили  $0.0029 - 0.0049 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$ . Полученные значения характеризуются как низкие по сравнению с известными данными [28], вероятно, они обусловлены низким уровнем содержания биогенных элементов в почве, использованной в эксперименте в качестве модельной. К концу

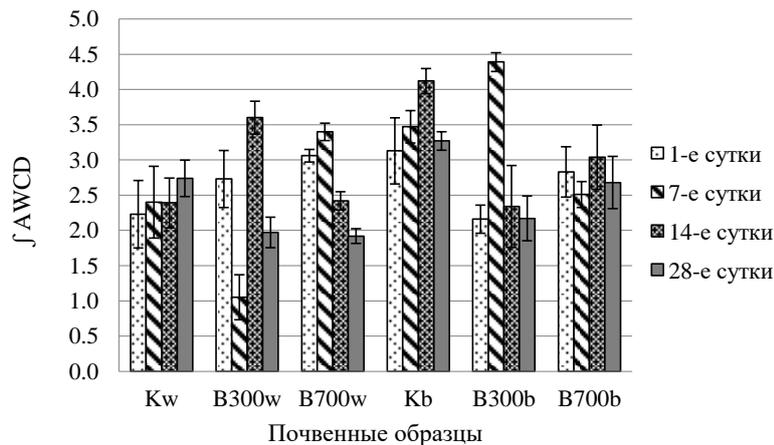


Рис. 4. Метаболическая активность микробного сообщества в отобранных под растениями пшеницы и ячменя образцах почвы, обработанной различными видами биочара

эксперимента (на 28-е сутки) в контрольных образцах наблюдали достоверное ( $P < 0.05$ ) увеличение уровня респираторной активности. Отметим, что оно происходило на фоне роста численности микроорганизмов (рис. 2) и, вероятно, связано с влиянием растений, режима полива и аэрации [39]. Внесение биочара привело к значительному превышению уровня респираторной активности относительно контроля, наиболее выраженным этот эффект был на 14-е сутки эксперимента. Аналогичное кратковременное повышение активности отмечалось и в работе [40]. В нашем случае оно может быть объяснено разложением доступных органических соединений. Следует, однако, подчеркнуть, что потеря углерода за счет такого процесса краткосрочная и крайне низкая (порядка 0.1% от содержащегося во вносимом биочаре углерода).

Еще одним показателем метаболической активности микроорганизмов является степень потребления ими различных углеродных субстратов. В настоящей работе этот параметр был оценен с помощью системы Biolog EcoPlate на основании значений интегральных показателей средней степени окрашенности ячеек (IAWCD). Данные представлены на рис. 4.

Установлено, что в контрольных образцах начиная с 7-х суток метаболическая активность микробного сообщества выше в почве под ячменем по сравнению с пшеницей: значения IAWCD для образца Kw изменялись от 2.23 до 2.74, для образца Kb – от 3.13 до 4.12. Значения анализируемого параметра в почвах с внесением биочаров варьировались, но в целом достоверно ( $P < 0.05$ ) не различались между собой.

В литературе имеются лишь отрывочные сведения о влиянии биочара на характер потребления углеродных субстратов микроорганизмами. Так, установлено, что биочар из кукурузных початков при внесении в почву в дозах до 1.5% не оказывал воздействия на метаболическую активность, оцененную с использованием системы Biolog EcoPlate [15]. Сведений же о влиянии биочара из куриного помета на данный параметр нами обнаружено не было. В целом необходимо отметить, что отсутствие эффектов биочаров на микробное сообщество может скорее рассматриваться как положительный факт, поскольку известно, что увеличение активности может быть результатом стресса сообщества [8].

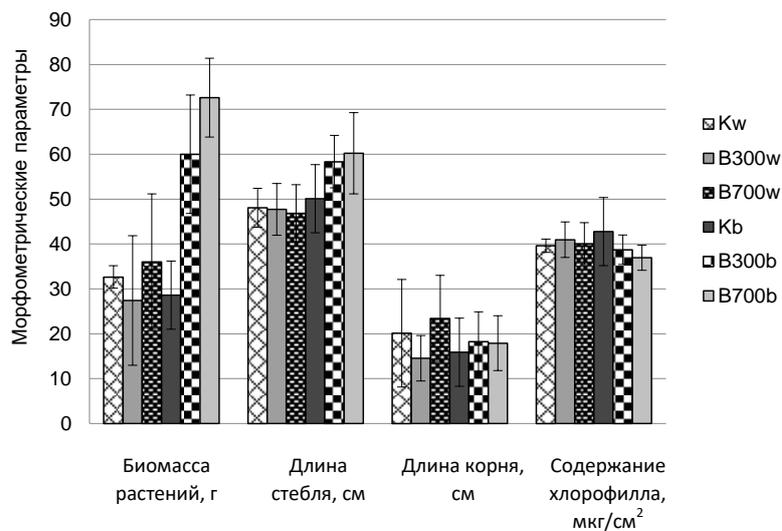


Рис. 5. Влияние внесения различных видов биочара в почву на характеристики растений пшеницы и ячменя

Табл. 2

Результаты статистической обработки морфометрических показателей растений методом Тьюки

	Kb	B300b	B700b	Kw	B300w	B700w
Kb						
B300b	a, c					
B700b	a, б, c	c				
Kw	c	c	a, c			
B300w		a, c	a, б, c			
B700w	a, c	c	a, б, c			

a – различия средних значений биомассы растений достоверны.

б – различия средних значений длины корня растений достоверны.

c – различия средних значений содержания хлорофилла растений достоверны.

Поскольку биочар является перспективным удобрением, вызывает интерес его влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Данные о биомассе, длине стебля и корня, а также о содержании хлорофилла в листьях пшеницы и ячменя представлены на рис. 5. Результаты статистической обработки данных приведены в табл. 2. В первую очередь необходимо отметить, что характеристики растений ячменя и пшеницы контрольных образцов не имели достоверных различий ни по одному из измеренных показателей. Внесение обоих видов биочаров в почву повлияло на растения ячменя, вызвав достоверное увеличение биомассы и содержания хлорофилла, причем биочар, полученный при 700 °С, продемонстрировал максимальный эффект. При анализе растений пшеницы достоверного увеличения указанных параметров выявлено не было. При сравнительном анализе эффектов от биочара, полученного при 300 °С, на растения ячменя и пшеницы, и биочара, полученного при 700 °С, достоверные различия между характеристиками растений были зафиксированы для показателей биомассы и длины корня (растения ячменя демонстрировали более высокие значения), что коррелирует с анализом, произведенным в отношении контрольных образцов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что ячмень оказался культурой, более отзывчивой по сравнению с пшеницей на обработку почвы биочаром, что, возможно, связано с различиями в потребностях растений. Неодинаковый отклик ячменя и пшеницы на агрохимические мероприятия отмечен и в литературе. Так, в работе сирийских авторов показано наступление спелости ячменя в более ранние сроки по сравнению с пшеницей и, соответственно, больший отклик ячменя на различные виды обработки почвы [41]. А при сравнении эффектов от биочаров разного качества (300 °С и 700 °С) выявлено, что, несмотря на достоверные различия между ними в содержании азота и площади поверхности, эффекты от их внесения достоверно не различались.

### Заключение

Охарактеризованы два типа нетрадиционного удобрения – биочары, полученные из куриного помета методом пиролиза при пиковых температурах 300 °С и 700 °С. Установлено, что первый тип биочара характеризовался более высоким содержанием азота, а второй тип биочара обладал большей удельной площадью поверхности. Указанные закономерности объясняются особенностями разложения органического вещества при пиролизе. Обработка почвы биочарами обоих типов привела к существенному увеличению содержания в ней фосфора, связанному с его исходным низким содержанием в почве, и к незначительному росту концентраций азота и калия. Результатом внесения биочаров явилось увеличение биомассы растений ячменя за счет образования дополнительных листьев и утолщения стебля, тогда как пшеница не продемонстрировала отзывчивости на внесение биочара. Максимальный эффект в отношении биомассы растений оказал биочар, полученный при 700 °С, что может быть обусловлено его большей водоудерживающей способностью, связанной с площадью поверхности. В отличие от растений, состав и функционирование микробных сообществ почв с внесенными биочарами достоверно не отличались от контрольных вариантов при выращивании как ячменя, так и пшеницы. Этот факт может рассматриваться как положительный, поскольку свидетельствует об отсутствии стресса микробного сообщества, вызываемого изменением условий обитания организмов.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-29-25054).

### Литература

1. Степанова Л.П., Цыганок Е.Н., Тихойкина И.М. Экологические проблемы земледелия // Вестн. аграрной науки. – 2012. – Т. 1, Вып. 12. – С. 11–18.
2. Wang H., Xu J., Liu X., Zhang D., Li L., Li W., Sheng L. Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China // Soil Tillage Res. – 2019. – V. 195, No 3. – Art. 104382, P. 1–9. – doi: 10.1016/j.still.2019.104382.
3. Song D., Xi X., Huang S., Liang G., Sun J., Zhou W., Wang X. Short-term responses of soil respiration and C-cycle enzyme activities to additions of biochar and urea in a calcareous soil // PLoS ONE. – 2016. – V. 11, No 9. – Art. e0161694, P. 1–18. – doi: 10.1371/journal.pone.0161694.

4. *Hassan M., Liu Y., Naidu R., Parikh S.J., Du J., Qi F., Willett I.R.* Influences of feedstock sources and pyrolysis temperature on the properties of biochar and functionality as adsorbents: A meta-analysis // *Sci. Total Environ.* – 2020. – V. 744. – Art. 140714, P. 1–15. – doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140714.
5. *Mohan D., Pittman C.U., Steele P.H.* Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review // *Energy Fuels.* – 2006. – V. 20, No 3. – P. 848–889. – doi: 10.1021/ef0502397.
6. *Weber K., Quicker P.* Properties of biochar // *Fuel.* – 2018. – V. 217. – P. 240–261. – doi: 10.1021/ef0502397.
7. *Akhtar S.S., Li G., Andersen M.N., Liu F.* Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation // *Agric. Water Manage.* – 2014. – V. 138. – P. 37–44. – doi: 10.1016/j.agwat.2014.02.016.
8. *Tian J., Wang J., Dippold M., Gao Y., Blagodatskaya E., Kuzyakov Y.* Biochar affects soil organic matter cycling and microbial functions but does not alter microbial community structure in a paddy soil // *Sci. Total Environ.* – 2016. – V. 556. – P. 89–97. – doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.010.
9. *Qambrani N.A., Rahman M.M., Won S., Shim S., Ra C.* Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review // *Renewable Sustainable Energy Rev.* – 2017. – V. 79. – P. 255–273. – doi: 10.1016/j.rser.2017.05.057.
10. *Lehmann J., Kuzyakov Y., Pan G., Ok Y.S.* Biochars and the plant-soil interface // *Plant Soil.* – 2015. – V. 395. – P. 1–5. – doi: 10.1007/s11104-015-2658-3.
11. *Yuan J.-H., Xu R.-K., Zhang H.* The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures // *Bioresour. Technol.* – 2011. – V. 102, No 3. – P. 3488–3497. – doi: 10.1016/j.biortech.2010.11.018.
12. *Dai Z., Zhang X., Tang C., Muhammad N., Wu J., Brookes P.C., Xu J.* Potential role of biochars in decreasing soil acidification – A critical review // *Sci. Total Environ.* – 2017. – V. 581–582. – P. 601–611. – doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.169.
13. *Haefele S.M., Konboon Y., Wongboon W., Amarante S., Maarifat A.A., Pfeiffer E.M., Knoblauch C.* Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems // *Field Crops Res.* – 2011. – V. 121, No 3. – P. 430–440. – doi: 10.1016/j.fcr.2011.01.014.
14. *Wardle D.A., Nilsson M.C., Zackrisson O.* Fire-derived charcoal causes loss of forest humus // *Science.* – 2008. – V. 320, No 5876. – P. 629. – doi: 10.1126/science.1154960.
15. *Jiang L., Han G., Lan Y., Liu S., Gao J., Yang X., Meng J., Chen W.* Corn cob biochar increases soil culturable bacterial abundance without enhancing their capacities in utilizing carbon sources in Biolog Eco-plates // *J. Integr. Agric.* – 2017. – V. 16, No 3. – P. 713–724. – doi: 10.1016/S2095-3119(16)61338-2.
16. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17-4-4-02-84>.
17. *Roth P.J., Lehtendorff E., Brodowski S., Bornemann L., Sanchez-García L., Gustafsson Ö., Amelung W.* Differentiation of charcoal, soot and diagenetic carbon in soil: Method comparison and perspectives // *Org. Geochem.* – 2012. – V. 46. – P. 66–75. – doi: 10.1016/j.orggeochem.2012.01.012.
18. ГОСТ Р ИСО 27085-2012 Корма для животных. Определения содержания кальция, натрия, фосфора, магния, калия, железа, цинка, меди, марганца, кобальта, молибдена, мышьяка, свинца и кадмия методом ИСП-АЭС (Переиздание), ГОСТ Р от 29 нояб. 2012 г. № ИСО 27085-2012. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200098799>.
19. *Lima I.M., Marshall W.E.* Pyrolytic products from poultry manure: United States Patent. – Patent No. US 7 794 601 B1. – Date of Patent: Sep. 14, 2010.

20. ISO 14240-1:1997. Soil quality – Determination of soil microbial biomass – Part 1: Substrate-induced respiration method. – URL: <https://www.iso.org/standard/21530.html>.
21. Rutgers M., Wouterse M., Drost S.M., Breure A.M., Mulder C., Stone D., Creamer R.E., Winding A., Bloem J. Monitoring soil bacteria with community-level physiological profiles using Biolog<sup>TM</sup> ECO-plates in the Netherlands and Europe // *Appl. Soil Ecol.* – 2016. – V. 97. – P. 23–35. – doi: 10.1016/j.apsoil.2015.06.007.
22. Smits T.H., Devenoges C., Szyński K., Maillard J., Holliger C. Development of a real-time PCR method for quantification of the three genera *Dehalobacter*, *Dehalococcoides*, and *Desulfitobacterium* in microbial communities // *J. Microbiol. Methods.* – 2004. – V. 57, No 3. – P. 369–378. – doi: 10.1016/j.mimet.2004.02.003.
23. Maza-Márquez P., Vilchez-Vargas R., González-Martínez A., González-López J., Rodelas B. Assessing the abundance of fungal populations in a full-scale membrane bioreactor (MBR) treating urban wastewater by using quantitative PCR (qPCR) // *J. Environ. Manage.* – 2018. – V. 223. – P. 1–8. – doi: 10.1016/j.jenvman.2018.05.093.
24. Park J.W., Krumins V., Kjellerup B.V., Fennell D.E., Rodenburg L.A., Sowers K.R., Kerkhof L.J., Häggblom M.M. The effect of co-substrate activation on indigenous and bioaugmented PCB dechlorinating bacterial communities in sediment microcosms // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2011. – V. 89, No 6. – P. 2005–2017. – doi: 10.1007/s00253-010-2958-8.
25. Cerovic Z.G., Masdoumier G., Ghazlen N.B., Latouche G. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids // *Physiol. Plant.* – 2012. – V. 146, No 3. – P. 251–260. – doi: 10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x.
26. Yandell B.S. *Practical Data Analysis for Designed Experiments.* – London: Chapman & Hall, 1997. – 440 p.
27. Кудин В.В., Трошин С.П. *Агрохимия.* – М.: Проспект, 2016. – 608 с.
28. Liang H., Chen L., Liu G., Zheng H. Surface morphology properties of biochars produced from different feedstocks // *Proc. 2016 Int. Conf. on Civil, Transportation and Environment – Atlantis Press, 2016.* – P. 1205–1208. – doi: 10.2991/iccte-16.2016.210.
29. Cely P., Gascó G., Paz-Ferreiro J., Méndez A. Agronomic properties of biochars from different manure wastes // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2015. – V. 111. – P. 173–182. – doi: 10.1016/j.jaap.2014.11.014.
30. Wang D., Jiang P., Zhang H., Yuan W. Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review // *Sci. Total Environ.* – 2020. – V. 723. – Art. 137775, P. 1–14. – doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137775.
31. Xu L., Yao Q., Zhang Y., Fu Y. Integrated production of aromatic amines and N-doped carbon from lignin via *ex situ* catalytic fast pyrolysis in the presence of ammonia over zeolites // *ACS Sustainable Chem. Eng.* – 2017. – V. 5, No 4. – P. 2960–2969. – doi: 10.1021/acssuschemeng.6b02542.
32. Song W., Guo M. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2012. – V. 94. – P. 138–145. – doi: 10.1016/j.jaap.2011.11.018.
33. Pariyar P., Kumari K., Jain M.K., Jadhao P.S. Evaluation of change in biochar properties derived from different feedstock and pyrolysis temperature for environmental and agricultural application // *Sci. Total Environ.* – 2020. – V. 713. – Art. 136433, P. 1–16. – doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136433.
34. Méndez A., Terradillos M., Gascó G. Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2013. – V. 102. – P. 124–130. – doi: 10.1016/j.jaap.2013.03.006.

35. *Biederman L.A., Harpole W.S.* Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis // *GCB Bioenergy*. – 2013. – V. 5, No 2. – P. 202–214. – doi: 10.1111/gcbb.12037.
36. *Селивановская С.Ю.* Активность и структура микробных сообществ при обработке почвы нетрадиционными мелиорантами // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естественные науки*. – 2009. – Т. 151, кн. 1. – С. 115–132.
37. *Железова А.Д., Кутювая О.В., Дмитренко В.Н., Тхакахова А.К., Хохлов С.Ф.* Оценка количества ДНК разных групп микроорганизмов в генетических горизонтах темносерой почвы // *Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева*. – 2015. – № 78. – С. 87–98. – doi: 10.19047/0136-1694-2015-78-87-98.
38. *Gao L., Wang R., Shen G., Zhang J., Meng G., Zhang J.* Effects of biochar on nutrients and the microbial community structure of tobacco-planting soils // *J. Soil Sci. Plant Nutr.* – 2017. – V. 17, No 4. – P. 884–896. – doi: 10.4067/S0718-95162017000400004.
39. *Ke G.-R., Lai C.-M., Liu Y.-Y., Yang S.-S.* Inoculation of food waste with the thermo-tolerant lipolytic actinomycete *Thermoactinomyces vulgaris* A31 and maturity evaluation of the compost // *Bioresour. Technol.* – 2010. – V. 101, No 19. – P. 7424–7431. – doi: 10.1016/j.biortech.2010.04.051.
40. *Jones D.L., Murphy D.V., Khalid M., Ahmad W., Edwards-Jones G., DeLuca T.H.* Short-term biochar-induced increase in soil CO<sub>2</sub> release is both biotically and abiotically mediated // *Soil Biol. Biochem.* – 2011. – V. 43, No 8. – P. 1723–1731. – doi: 10.1016/j.soilbio.2011.04.018.
41. *Wahbi A., Sinclair T.R.* Simulation analysis of relative yield advantage of barley and wheat in an eastern Mediterranean climate // *Field Crops Res.* – 2005. – V. 91, No 2–3. – P. 287–296. – doi: 10.1016/j.fcr.2004.07.020.

Поступила в редакцию  
23.10.2020

---

**Галиева Гульназ Шайхиуровна**, научный сотрудник НИЛ «Биоконтроль» Института экологии и природопользования

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [goolnaz@rambler.ru](mailto:goolnaz@rambler.ru)

**Курынцева Полина Александровна**, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры прикладной экологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [polinazwerewa@yandex.ru](mailto:polinazwerewa@yandex.ru)

**Галицкая Полина Юрьевна**, доктор биологических наук, профессор кафедры прикладной экологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [gpolina33@yandex.ru](mailto:gpolina33@yandex.ru)

**Тагиров Марсель Шарипзянович**, доктор сельскохозяйственных наук, директор

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН  
ул. Оренбургский тракт, д. 48, г. Казань, 420059, Россия  
E-mail: [tatniva@mail.ru](mailto:tatniva@mail.ru)

Селивановская Светлана Юрьевна, доктор биологических наук, директор Института экологии и природопользования

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: svetlana.selivanovskaya@kpfu.ru

ISSN 2542-064X (Print)  
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI  
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2021, vol. 163, no. 2, pp. 221–237

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2021.2.221-237

### Influence of Chicken Manure Biochar on Microorganisms and Plants

G.S. Galieva<sup>a\*</sup>, P.A. Kuryntseva<sup>a\*\*</sup>, P.Yu. Galitskaya<sup>a\*\*\*</sup>, M.Sh. Tagirov<sup>b\*\*\*\*</sup>,  
S.Yu. Selivanovskaya<sup>a\*\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia

<sup>b</sup>Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center,  
Russian Academy of Sciences, Kazan, 420059 Russia

E-mail: \*goolnaz@rambler.ru, \*\*polinazwerewa@yandex.ru, \*\*\*gpolina33@yandex.ru,  
\*\*\*\*tamiva@mail.ru, \*\*\*\*\*svetlana.selivanovskaya@kpfu.ru

Received October 23, 2020

#### Abstract

The effect of chicken manure biochar at different temperatures was analyzed. The biochar was introduced at a dose of 1% (w/w) into the soil used to grow wheat and barley plants under laboratory conditions.

It was revealed that an increase in the pyrolysis temperatures from 300 °C to 700 °C resulted in a 15 times larger specific surface area of the biochar samples (B300 and B700) and reduced the nitrogen content by 1.4 times. Following the addition of the biochar samples into the soil, the  $P_{\text{mobile}}$  level became significantly higher: by 9.5 and 11.5 times, for B300 and B700 respectively. The contents of  $N_{\text{total}}$  and  $K_{\text{mobile}}$  increased less significantly: by 1.6 times on average. At the same time, the abundance of fungal and bacterial communities remained unchanged based on the study of bacterial 16S and fungal 18S rRNA genes. Their respiration and metabolic activity rates, as determined by the Biolog EcoPlate method, did not statistically differ by the end of the experiment. The analysis of plant samples showed that barely was more sensitive to the biochar than wheat. B700 produced the maximum effect on barley and also stimulated its biomass growth. Apparently, the effects produced by the biochars under study diverge due to their different surface areas: the addition of the biochar with the larger specific surface area into the soil enhanced its water-retaining capacity and is, therefore, advantageous for plants.

**Keywords:** biochar, grain crops, microbial communities of soils, respiration activity, Biolog EcoPlate

**Acknowledgments.** The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-29-25054).

#### Figure Captions

Fig. 1. Organic carbon (a), total nitrogen (b), mobile potassium (c), and mobile phosphorus (d) contents in the soil samples taken from under the wheat and barley plants and treated with the studied biochar types.

Fig. 2. Number of bacterial 16S rRNA (a) and fungal 18S rRNA (b) gene copies in the soil samples taken from under the wheat and barley plants and treated with the studied biochar types.

Fig. 3. Respiration activity of the microbial community in the soil samples taken from under the wheat and barley plants and treated with the studied biochar types.

Fig. 4. Metabolic activity of the microbial community in the soil samples taken from under the wheat and barley plants and treated with the studied biochar types.

Fig. 5. Effect of the addition of the studied biochar types into the soil on the features of wheat and barley plants.

### References

1. Stepanova L.P., Tsyganok E.N., Tikhoikina I.M. Environmental problems of agriculture. *Vestn. Agrar. Nauki*, 2012, vol. 1, no. 12, pp. 11–18. (In Russian)
2. Wang H., Xu J., Liu X., Zhang D., Li L., Li W., Sheng L. Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China. *Soil Tillage Res.*, 2019, vol. 195, no. 3, art. 104382, pp. 1–9. doi: 10.1016/j.still.2019.104382.
3. Song D., Xi X., Huang S., Liang G., Sun J., Zhou W., Wang X. Short-term responses of soil respiration and C-cycle enzyme activities to additions of biochar and urea in a calcareous soil. *PLoS ONE*, 2016, vol. 11, no. 9, art. e0161694, pp. 1–18. doi: 10.1371/journal.pone.0161694.
4. Hassan M., Liu Y., Naidu R., Parikh S.J., Du J., Qi F., Willett I.R. Influences of feedstock sources and pyrolysis temperature on the properties of biochar and functionality as adsorbents: A meta-analysis. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 744, art. 140714, pp. 1–15. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140714.
5. Mohan D., Pittman C.U., Steele P.H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Energy Fuels*, 2006, vol. 20, no. 3, pp. 848–889. doi: 10.1021/ef0502397.
6. Weber K., Quicker P. Properties of biochar. *Fuel*, 2018, vol. 217, pp. 240–261. doi: 10.1021/ef0502397.
7. Akhtar S.S., Li G., Andersen M.N., Liu F. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agric. Water Manage.*, 2014, vol. 138, pp. 37–44. doi: 10.1016/j.agwat.2014.02.016.
8. Tian J., Wang J., Dippold M., Gao Y., Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. Biochar affects soil organic matter cycling and microbial functions but does not alter microbial community structure in a paddy soil. *Sci. Total Environ.*, 2016, vol. 556, pp. 89–97. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.010.
9. Qambrani N.A., Rahman M.M., Won S., Shim S., Ra C. Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2017, vol. 79, pp. 255–273. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.057.
10. Lehmann J., Kuzyakov Y., Pan G., Ok Y.S. Biochars and the plant-soil interface. *Plant Soil*, 2015, vol. 395, pp. 1–5. doi: 10.1007/s11104-015-2658-3.
11. Yuan J.-H., Xu R.-K., Zhang H. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresour. Technol.*, 2011, vol. 102, no. 3, pp. 3488–3497. doi: 10.1016/j.biortech.2010.11.018.
12. Dai Z., Zhang X., Tang C., Muhammad N., Wu J., Brookes P.C., Xu J. Potential role of biochars in decreasing soil acidification – A critical review. *Sci. Total Environ.*, 2017, vols. 581–582, pp. 601–611. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.169.
13. Haefele S.M., Konboon Y., Wongboon W., Amarante S., Maarifat A.A., Pfeiffer E.M., Knoblauch C. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Res.*, 2011, vol. 121, no. 3, pp. 430–440. doi: 10.1016/j.fcr.2011.01.014.
14. Wardle D.A., Nilsson M.C., Zackrisson O. Fire-derived charcoal causes loss of forest humus. *Science*, 2008, vol. 320, no. 5876, p. 629. doi: 10.1126/science.1154960.
15. Jiang L., Han G., Lan Y., Liu S., Gao J., Yang X., Meng J., Chen W. Corn cob biochar increases soil culturable bacterial abundance without enhancing their capacities in utilizing carbon sources in Biolog Eco-plates. *J. Integr. Agric.*, 2017, vol. 16, no. 3, pp. 713–724. doi: 10.1016/S2095-3119(16)61338-2.
16. State Standard 17.4.4.02-84. Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation of soil for chemical, bacteriological, and helminthological analysis. Moscow, 1984. 9 p. (In Russian)
17. Roth P.J., Lehnendorff E., Brodowski S., Bornemann L., Sanchez-García L., Gustafsson Ö., Amelung W. Differentiation of charcoal, soot and diagenetic carbon in soil: Method comparison and perspectives. *Org. Geochem.*, 2012, vol. 46, pp. 66–75. doi: 10.1016/j.orggeochem.2012.01.012.

18. State Standart R ISO 27085-2012. Animal feeding stuffs. Determination of calcium, sodium, phosphorus, magnesium, potassium, iron, zinc, copper, manganese, cobalt, molybdenum, arsenic, lead and cadmium by ICP-AES. Moscow, 2012. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200098799>. (In Russian)
19. Lima I.M., Marshall W.E. Pyrolytic products from poultry manure. Patent no. US 7 794 601 B1, 2010.
20. ISO 14240-1:1997. Soil quality – Determination of soil microbial biomass – Part 1: Substrate-induced respiration method. Available at: <https://www.iso.org/standard/21530.html>.
21. Rutgers M., Wouterse M., Drost S.M., Breure A.M., Mulder C., Stone D., Creamer R.E., Winding A., Bloem J. Monitoring soil bacteria with community-level physiological profiles using Biolog<sup>TM</sup> ECO-plates in the Netherlands and Europe. *Appl. Soil Ecol.*, 2016, vol. 97, pp. 23–35. doi: 10.1016/j.apsoil.2015.06.007.
22. Smits T.H., Devenoges C., Szynalski K., Maillard J., Holliger C. Development of a real-time PCR method for quantification of the three genera *Dehalobacter*, *Dehalococcoides*, and *Desulfitobacterium* in microbial communities. *J. Microbiol. Methods*, 2004, vol. 57, no 3, pp. 369–378. doi: 10.1016/j.mimet.2004.02.003.
23. Maza-Márquez P., Vilchez-Vargas R., González-Martínez A., González-López J., Rodelas B. Assessing the abundance of fungal populations in a full-scale membrane bioreactor (MBR) treating urban wastewater by using quantitative PCR (qPCR). *J. Environ. Manage.*, 2018, vol. 223, pp. 1–8. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.05.093.
24. Park J.W., Krumins V., Kjellerup B.V., Fennell D.E., Rodenburg L.A., Sowers K.R., Kerkhof L.J., Häggblom M.M. The effect of co-substrate activation on indigenous and bioaugmented PCB dechlorinating bacterial communities in sediment microcosms. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2011, vol. 89, no. 6, pp. 2005–2017. doi: 10.1007/s00253-010-2958-8.
25. Cerovic Z.G., Masdoumier G., Ghazlen N.B., Latouche G. A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiol. Plant.*, 2012, vol. 146, no. 3, pp. 251–260. doi: 10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x.
26. Yandell B.S. *Practical Data Analysis for Designed Experiments*. London, Chapman & Hall, 1997. 440 p.
27. Kidin V.V., Troshin S.P. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. Moscow, Prospekt, 2016. 608 p. (In Russian)
28. Liang H., Chen L., Liu G., Zheng H. Surface morphology properties of biochars produced from different feedstocks. *Proc. 2016 Int. Conf. on Civil, Transportation and Environment*. Atlantis Press, 2016, pp. 1205–1208. doi: 10.2991/iccte-16.2016.210.
29. Cely P., Gascó G., Paz-Ferreiro J., Méndez A. Agronomic properties of biochars from different manure wastes. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 2015, vol. 111, pp. 173–182. doi: 10.1016/j.jaap.2014.11.014.
30. Wang D., Jiang P., Zhang H., Yuan W. Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 723, art. 137775, pp. 1–14. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137775.
31. Xu L., Yao Q., Zhang Y., Fu Y. Integrated production of aromatic amines and N-doped carbon from lignin via *ex situ* catalytic fast pyrolysis in the presence of ammonia over zeolites. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 2017, vol. 5, no. 4, pp. 2960–2969. doi: 10.1021/acssuschemeng.6b02542.
32. Song W., Guo M. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 2012, vol. 94, pp. 138–145. doi: 10.1016/j.jaap.2011.11.018.
33. Pariyar P., Kumari K., Jain M.K., Jadhao P.S. Evaluation of change in biochar properties derived from different feedstock and pyrolysis temperature for environmental and agricultural application. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 713, art. 136433, pp. 1–16. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136433.
34. Méndez A., Terradillos M., Gascó G. Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 2013, vol. 102, pp. 124–130. doi: 10.1016/j.jaap.2013.03.006.
35. Biederman L.A., Harpole W.S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 2013, vol. 5, no. 2, pp. 202–214. doi: 10.1111/gcbb.12037.
36. Selivanovskaya S.Yu. Activity and structure of microbial communities of soils treated with unconventional amendments. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2009, vol. 151, no. 1, pp. 115–132. (In Russian)

37. Zhelezova A.D., Kutovaya O.V., Dmitrenko V.N., Thakahova A.K., Hohlov S.F. Estimation of DNA quantity in different groups of microorganisms within genetic horizons of the dark-gray soil. *Byull. Pochv. Inst. im. V. V. Dokuchaeva*, 2015, no. 78, pp. 87–98. doi: 10.19047/0136-1694-2015-78-87-98. (In Russian)
38. Gao L., Wang R., Shen G., Zhang J., Meng G., Zhang J. Effects of biochar on nutrients and the microbial community structure of tobacco-planting soils. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 884–896. doi: 10.4067/S0718-95162017000400004.
39. Ke G.-R., Lai C.-M., Liu Y.-Y., Yang S.-S. Inoculation of food waste with the thermo-tolerant lipolytic actinomycete *Thermoactinomyces vulgaris* A31 and maturity evaluation of the compost. *Bioresour. Technol.*, 2010, vol. 101, no. 19, pp. 7424–7431. doi: 10.1016/j.biortech.2010.04.051.
40. Jones D.L., Murphy D.V., Khalid M., Ahmad W., Edwards-Jones G., DeLuca T.H. Short-term biochar-induced increase in soil CO<sub>2</sub> release is both biotically and abiotically mediated. *Soil Biol. Biochem.*, 2011, vol. 43, no. 8, pp. 1723–1731. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.04.018.
41. Wahbi A., Sinclair T.R. Simulation analysis of relative yield advantage of barley and wheat in an eastern Mediterranean climate. *Field Crops Res.*, 2005, vol. 91, nos. 2–3, pp. 287–296. doi: 10.1016/j.fcr.2004.07.020.

**Для цитирования:** Галиева Г.Ш., Курынцева П.А., Галицкая П.Ю., Тагиров М.Ш., Селивановская С.Ю. Влияние биочара из куриного помета на микроорганизмы и растения // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2021. – Т. 163, кн. 2. – С. 221–237. – doi: 10.26907/2542-064X.2021.2.221-237.

**For citation:** Galieva G.S., Kuryntseva P.A., Galitskaya P.Yu., Tagirov M.Sh., Selivanovskaya S.Yu. Influence of chicken manure biochar on microorganisms and plants. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2021, vol. 163, no. 2, pp. 221–237. doi: 10.26907/2542-064X.2021.2.221-237. (In Russian)