

**РАЗЛОЖЕНИЕ РИСОВОЙ СОЛОМЫ МОКРИЦАМИ (ISOPODA, ONISCIDEA)
И ДВУПАРНОНОГИМИ МНОГОНОЖКАМИ (MYRIAPODA, DIPLOPODA)
В ПОЧВАХ КАЛМЫКИИ В ЛАБОРАТОРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ¹**

© 2020 г. Ю.М. Лебедев, К.Б. Гонгальский, А.Ю. Горбунова, А.С. Зайцев

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский просп., д. 33. E-mail: gongalsky@gmail.com*

Поступила в редакцию 17.09.2019. После доработки 20.12.2019. Принята к публикации 20.12.2019

Пожнивные остатки риса являются одним из наиболее трудноразлагаемых отходов сельского хозяйства в аридных условиях. Был проведен лабораторный эксперимент по разложению рисовой соломы мокрицами и двупарноногими многоножками, обитающими в сухих степях Калмыкии в России. По пять особей двух видов мокриц (*Armadillidium vulgare* и *Protracheoniscus kryszanovskii*) или двух видов многоножек (*Brachydesmus assimilis* и *Cylindroiulus* sp.) были помещены в микрокосмы с почвой и 2.5 г рисовой соломы. Масса соломы достоверно снизилась для всех видов в среднем приблизительно на 50% за 4 месяца эксперимента. Содержание органического вещества в почве до и после эксперимента достоверно не изменилось, что позволяет предположить, что отобранные виды мокриц и многоножек могут поедать и, таким образом, утилизировать рисовую солому по меньшей мере в экспериментальных условиях.

Ключевые слова: биоразложение, Isopoda, Diplopoda, переработка пожнивных остатков, трудноразлагаемое органическое вещество.

DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10111

Более чем десятипроцентный рост посевных площадей под рис при резком росте урожайности в 2006-2014 годах увеличил валовый сбор этой культуры в России до более чем 1 млн. тонн в год (Российский ..., 2017). Это достигается в том числе и постоянным увеличением доз внесения удобрений, пестицидов и гербицидов, которые приводят к практически полному уничтожению сообществ животных не только на самих рисовых чеках, но и в их окрестностях. Помимо выделения значительных объемов парниковых газов рисоводство приводит к образованию большой массы пожнивных остатков и в первую очередь соломы: до 1 кг на 1 кг произведенного риса (Российский ..., 2017). Особенностью этого сельскохозяйственного отхода является высокое содержание кремния и низкое соотношение содержания азота к углероду, в результате чего рисовая солома малопригодна на корм скоту и с трудом разлагается микроорганизмами, особенно в условиях умеренного и засушливого климата. Таким образом, проблема утилизации отходов рисоводства – одна из наиболее актуальных в современном сельском хозяйстве не только в России, но и во всем мире (Tang et al., 2016). В настоящее время значительная часть соломы сжигается, что приводит к масштабным выбросам парниковых газов, сажи и других вредных продуктов горения в атмосферу, а также потерям микроэлементов в почве. Все это создает неприемлемый уровень риска как для климата, так и для функциональной устойчивости ландшафтов в районах рисоводства (Горбунов, Расулов, 2013).

Одним из возможных путей решения данной проблемы могла бы стать разработка биотехнологий с вовлечением естественной почвенной фауны, населяющей окрестности рисовых чеков. Убедительно показана перспективность применения для этих целей дождевых червей и энхитреид (Zaitsev et al., 2018;

¹ Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда № 16-14-00096 «Роль беспозвоночных животных в сокращении выбросов парниковых газов и повышении климатической и экологической безопасности производства риса в России» и Российского фонда фундаментальных исследований № 18-29-25067 «Переработка сельскохозяйственных отходов в продукты с высокой добавочной стоимостью с использованием почвенных животных».

John et al., 2019). Вместе с тем климатические условия основных районов рисосеяния в России в силу невысокой влажности не оптимальны для активной переработки рисовой соломы вышеупомянутыми таксонами. Например, выращивание риса в Калмыкии сопряжено с недостатком воды и слабой засоленностью почв (Кулакова и др., 2017), что позволяет выращивать эту культуру только при условии переброски значительных объемов воды из Волги. Более того, район характеризуется невысокой плотностью почвенной биоты и специфическим составом: среди сапрофагов в естественных степных и полупустынных экосистемах нет червей, которые функционально замещаются насекомыми, ракообразными (мокрицами) и многоножками (Миноранский, 1984).

Таким образом, представляется целесообразным рассмотреть и другие группы почвенной мезофауны, являющиеся активными детритофагами, например, изопод и многоножек (David, 2014). Несмотря на относительно скромный собственный прямой вклад этих групп в процессы мобилизации и иммобилизации углерода, азота и других биогенных элементов, они играют важную роль в регуляции активности, продукции и биомассы микробиального звена детритных пищевых сетей (David, 2014), которые на 95% ответственны за эмиссию парниковых газов с рисовых чеков. Кроме того, эти почвенные животные потенциально играют важную роль в подготовке разложения рисовой соломы микроорганизмами, а также реинтеграции в почву накопленного в соломе углерода и других биогенных элементов. В результате этого возможно не только решить проблему утилизации трудноразлагаемых пожнивных остатков рисоводства биологическими методами, но и повысить здоровье и естественное плодородие почв рисовых чеков. Целью настоящего исследования стало тестирование в условиях лабораторного эксперимента потенциала различных видов мокриц и многоножек, обитающих на территории республики Калмыкия, перерабатывать рисовую солому.

Материал и методы

Был проведен эксперимент по разложению рисовой соломы мокрицами и двупарноногими многоножками. Особи двух видов мокриц (*Armadillidium vulgare* Latreille, 1804 и *Protracheoniscus kryszanovskii* Vorutsky, 1957) и двух видов многоножек (*Brachydesmus assimilis* Lohmander, 1936 и *Cylindroiulus* sp.) были отловлены во время экспедиции в Октябрьский район Республики Калмыкия 27-30 апреля 2017 г. и привезены в живом виде в Лабораторию изучения экологических функций почв Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова в Москву. Определение мокриц до вида провел К.Б. Гонгальский, диплопод – Д.И. Коробушкин. Популяции беспозвоночных, в дальнейшем использованные для эксперимента, поддерживали в культуре в контейнерах с влажным песком и растительным опадом, собранным в естественных условиях, при естественном режиме освещения.

В эксперименте каждый микрокосм размером 10.5x8.5x8.5 см и объемом 0.76 л помещали 100 г бурой солонцеватой почвы из окрестностей п. Большой Царын Октябрьского района Республики Калмыкия. Почва была просеяна через сито 2 мм и увлажнена до 25% от полной влагоудерживающей способности, определенной в соответствии с процедурой, описанной А.С. Зайцевым с соавторами (Zaitsev et al., 2018). Солома от риса сорта «Богатырь», применявшаяся в качестве стандартной в серии ранее успешно проведенных экспериментов (John et al., 2019; Zaitsev et al., 2018), была отобрана на полях Краснодарского края, высушена при комнатной температуре и предварительно измельчена на фрагменты длиной 2-3 см. По 2.5 г рисовой соломы были помещены на поверхность почвы в воздушно-сухом виде в каждый микрокосм, что соответствует уровню производства соломы на 1 м² в условиях Калмыкии (Дедова, Шабанов, 2011). Для эксперимента в каждый микрокосм были помещены по пять особей одного из тестируемых видов в двух повторностях. Перед этим все животные были индивидуально взвешены на весах *Sartorius* CP224S с точностью до 0.0001 г. В ходе эксперимента погибших животных заменяли на живых. Эксперимент с диплоподами был менее продолжительным, чем с мокрицами, за счет более низкой выживаемости диплопод в культуре. В качестве контрольного варианта использовали микрокосмы с соломой, но без животных. Микрокосмы увлажняли очищенной водой по мере необходимости, но не реже одного раза в семь дней для поддержания изначально заданного уровня влажности.

Эксперимент продолжался 123 суток с промежуточными замерами потери массы соломы на 40 и 82 сутки. Для этого солому вынимали из микрокосмов, очищали от почвы, сушили при температуре 50°C в течение 5 ч. и взвешивали. После измерений солома опять увлажнялась и помещалась обратно

в микрокосмы.

Для оценки эффективности потребления соломы, а не ее измельчения и реинтеграции в виде углерода в почву, содержание органического вещества в почве измеряли до и после эксперимента путем прокаливания проб почвы при температуре 450°C в течение 5 часов (Методы ..., 2003).

Статистическая обработка данных. Для массы соломы в каждый день измерений и массы животных рассчитаны средние значения и стандартные ошибки в двукратной повторности. При этом индивидуальная масса животных в пределах одного микрокосма усреднялась. Для сравнения средних значений во времени использован непараметрический дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis ANOVA). Для определения скорости убывания массы соломы использован однофакторный регрессионный анализ. Все статистические вычисления проведены с использованием программного пакета STATISTICA 13.3 RUS (Tibco Inc.).

Результаты и обсуждение

Масса соломы достоверно (Kruskal-Wallis ANOVA, $df=3$, $p=0.0011$) убывала со временем для всех четырех видов тестируемых членистоногих (рис.). Достоверного различия в скорости потери массы соломы между разными видами не обнаружено (Kruskal-Wallis ANOVA, $df=3$, $p=0.45$). В среднем количество соломы сократилось приблизительно на 50% за 4 месяца. Скорость убывания массы в контроле была ниже, чем для всех исследуемых видов, кроме *B. assimilis* (рис.).

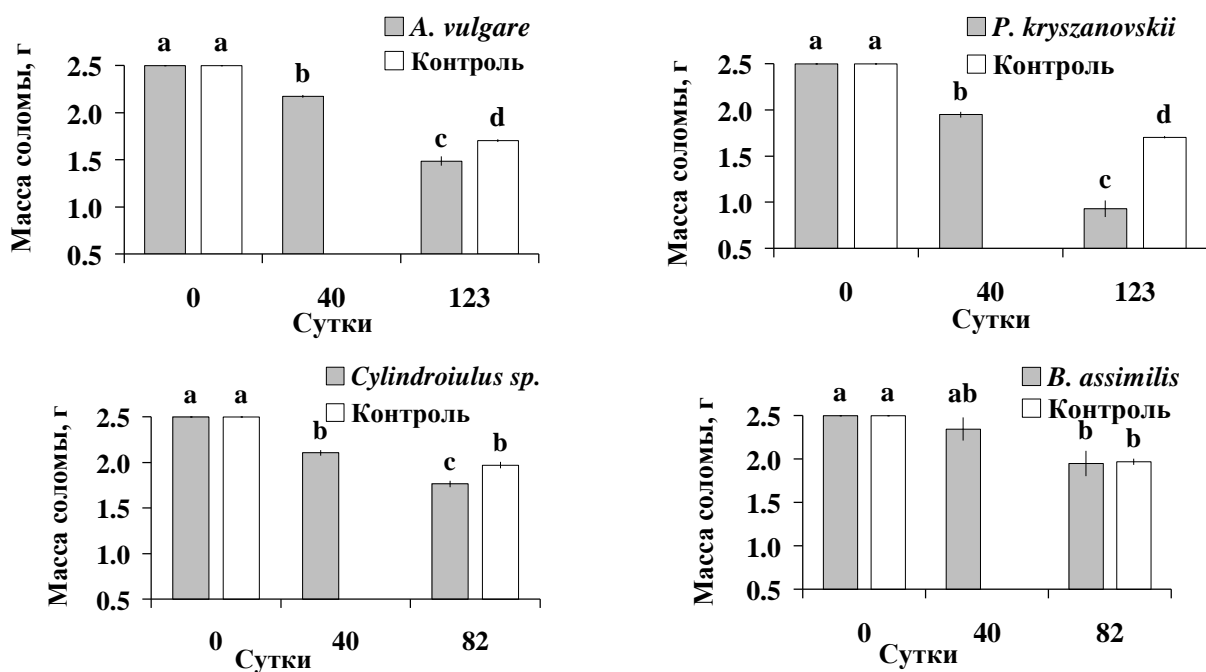


Рис. Сокращение массы рисовой соломы в лабораторном эксперименте с мокрицами *Armadillidium vulgare* и *Protracheoniscus kryszanovskii* и двупарноногими многоножками *Brachydesmus assimilis* и *Cylindroiulus sp.* и в контроле. Параметры графиков регрессии представлены в таблице.

Особи разных видов отличались по средней массе. Наиболее крупными были *B. assimilis* – 0.121 ± 0.013 г; средняя масса *P. kryszanovskii* составила 0.076 ± 0.003 г, *A. vulgare* – 0.046 ± 0.005 г, *Cylindroiulus sp.* – 0.014 ± 0.001 г. Таким образом, за 123 суток *A. vulgare* переработали 21.96 г соломы на 1 г массы собственного тела, *P. kryszanovskii* – 20.77 г. За 82 суток *B. assimilis* разложили 4.54 г соломы на 1 г массы собственного тела, *Cylindroiulus sp.* – 51.21 г.

Содержание органического вещества в почве до и после эксперимента достоверно (Kruskal-Wallis ANOVA, $df=1$, $p=0.121$) не изменилось во всех вариантах. До эксперимента оно составляло $7.79 \pm 0.17\%$ во всех вариантах. После эксперимента оно было на уровне $6.10 \pm 0.03\%$ для варианта с *A. vulgare*, $5.99 \pm 0.03\%$ – с *P. kryszanovskii*, $6.70 \pm 0.04\%$ – с *B. assimilis*, $6.63 \pm 0.05\%$ – с *Cylindroiulus sp.* и $6.56 \pm 0.05\%$ – в контроле.

Таблица. Результаты регрессионного анализа процесса разложения соломы разными видами почвенных членистоногих и в контроле без животных.

Вариант	R ²	p	Уравнение регрессии
<i>Armadillidium vulgare</i>	0.9953	0.000008	$y = -0.0059x^2 - 0.3082x + 2.8141$
<i>Protracheoniscus kryszanovskii</i>	0.9919	0.000024	$y = 0.0136x^2 - 0.5912x + 3.0776$
<i>Brachydesmus assimilis</i>	0.7662	0.022339	$y = -0.1225x^2 + 0.2146x + 2.4079$
<i>Cylindroiulus</i> sp.	0.9889	0.000046	$y = 0.0258x^2 - 0.4703x + 2.9446$
Контроль	0.9958	0.000007	$y = -0.00002x^2 - 0.2647x + 2.7648$

Наши результаты позволяют предположить, что отобранные для эксперимента массовые виды мокриц и многоножек из естественных местообитаний Калмыкии могут питаться рисовой соломой. Это подтверждается тем фактом, что содержание органического вещества в почве до и после эксперимента не изменилось. В целом интенсивность потребления растительного опада зависит от его питательных свойств. Наиболее привлекательным субстратом является богатый азотом опад (David, 2014; Patoine et al., 2017) с соотношением C/N около 8-15 (Enríquez et al., 1993), в то время как в рисовой соломе, использованной нами, эта величина значительно выше – около 75 (Zaitsev et al., 2018). Возможно, с этим связан и низкий уровень выживаемости протестированных видов, особенно многоножек, которые не могут долго питаться столь бедными в пищевом отношении органическими остатками.

Различия в средней индивидуальной массе животных привели к различиям в скорости потребления соломы. При этом *P. kryszanovskii* – эндемик Калмыкии, встречающийся в слабо засоленных почвах, в том числе в выбросах водной растительности по берегам водоемов (Боруцкий, 1957; Gongalsky, Turbanov, 2018), что может представлять определенный приоритет для его использования при переработке соломы благодаря его засухо- и солеустойчивости. Второй вид мокриц (*A. vulgare*) – синантропный космополитный вид, достаточно неразборчивый к типу пищи, в связи с чем его рассматривают в качестве удобного объекта для культивирования (Dangerfield, 1989; Morcquard et al., 1989).

Таким образом, для дальнейших исследований в условиях калмыцких почв протестированные виды можно ранжировать по убыванию уровня перспективности и эффективности для переработки рисовой соломы следующим образом: *P. kryszanovskii*, *B. assimilis*, *Cylindroiulus* sp., *A. vulgare*. При этом целесообразно проведение дальнейших манипулятивных экспериментов с изменением соотношения азота и углерода в предлагаемом членистоногим пищевом субстрате, а также отработка разведения этих видов в культуру и в перспективе – для промышленного разведения.

Благодарности. Авторы признательны Э.Б. Дедовой, С.Н. Чимитову и Е.В. Попикову за возможность проведения работ на рисовых полях Октябрьского района Калмыкии и за помощь в сборе материала. Авторы признательны Д.И. Коробушкину за определение видов многоножек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Боруцкий Е.В. 1957. Наземные Isopoda юго-востока Европейской части СССР // Зоологический журнал. Т. 36. С. 467-478.
- Горбунов Г.И., Расулов О.В. 2013. Проблемы рациональной утилизации рисовой соломы // Вестник МГСУ. Т. 7. С. 106-113.
- Дедова Э.Б., Шабанов Р.М. 2011. Возделывание риса при орошении дождеванием в условиях пустынной зоны Калмыкии // Плодородие. № 6. С. 32-33.
- Кулакова Н.Ю., Абатуров Б.Д., Нухимовская Ю.Д. 2017. Элементы круговорота С и N в природных и антропогенных экосистемах полупустыни Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. Т. 23. № 1. С. 17-25. [Kulakova N.Yu., Abaturov B.D., Nukhimovskaya Yu.D. 2017. Components of C and N cycles in natural and anthropogenic ecosystems of semideserts of the northern Caspian area // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 1. P. 11-18.]
- Методы исследования структуры, функционирования и разнообразия детритных пищевых сетей. 2003. Методическое руководство // Ред. А.Д. Покаржевский, К.Б. Гонгальский, А.С. Зайцев. М.: ИПЭЭ РАН. 100 с.
- Миноранский В.А. 1984. Распределение почвенно-подстилочных беспозвоночных в рисовых системах // Животный мир Калмыкии и сопредельных районов / Ред. В.И. Голиков и др. Элиста: Калмыцкий

- университет. С. 72-85.
- Российский статистический ежегодник – 2016. 2017. М.: Росс-Стат. 725 с.
- Dangerfield J.M.* 1989. Competition and the effects of density on terrestrial isopods // *Monitore Zoologico Italiano*. Vol. 4. P. 411-423.
- David J.F.* 2014. The role of litter-feeding macroarthropods in decomposition processes: A reappraisal of common views // *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 76. P. 109-118.
- Enríquez S., Duarte C.M., Sand-Jensen K.A.J.* 1993. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content // *Oecologia*. Vol. 94. P. 457-471.
- Gongalsky K.B., Turbanov I.S.* 2018. Description of a new species of genus *Protracheoniscus* Verhoeff 1917 and redescription of *Protracheoniscus kryszanovskii* Borutzky 1957 (Isopoda, Oniscidea, Agnaridae) from the southeast of European Russia // *ZooKeys*. Vol. 801. P. 189-205.
- John K., Degtyarev M., Gorbunova A., Korobushkin D., Knöss H., Wolters V., Zaitsev A.S.* 2019. Enchytraeids simultaneously stimulate rice straw degradation and mitigate CO₂ release in a paddy soil // *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 131. P. 191-194.
- Morcquard J.P., Juchault P., Souty-Grosset C.* 1989. The role of environmental factors (temperature and photoperiod) in the reproduction of the terrestrial isopod *Armadillidium vulgare* (Latreille, 1804) // *Monitore Zoologico Italiano*. Vol. 4. P. 455-475.
- Patoine G., Thakur M.P., Friese J., Nock C., Honig L., Haase J., Scherer-Lorenzen M., Eisenhauer N.* 2017. Plant litter functional diversity effects on litter mass loss depend on the macro-detritivore community // *Pedobiologia*. Vol. 65. P. 29-42.
- Tang S., Cheng W., Hu R., Guigue J., Kimani S.M., Tawaraya K., Xu X.* 2016. Simulating the effects of soil temperature and moisture in the off-rice season on rice straw decomposition and subsequent CH₄ production during the growth season in a paddy soil // *Biology and Fertility of Soils*. Vol. 52. P. 739-748.
- Zaitsev A.S., Gorbunova A.Yu., Korobushkin D.I., Degtyarev M.I., Zhadova A.N., Kostina N.V., Gongalsky K.B.* 2018. Earthworms *Eisenia fetida* modulate greenhouse gases release and carbon stabilization after rice straw amendment to paddy soil // *European Journal of Soil Biology*. Vol. 89. P. 39-44.