

# БИОТЕХНОЛОГИЯ И МИКРОБИОЛОГИЯ

УДК 631.46; 631.417.2; 577.128

doi: 10.17223/19988591/30/2

К.А. Петроченко<sup>1</sup>, А.В. Куровский<sup>1,2</sup>, А.С. Бабенко<sup>1</sup>, Ю.Е. Якимов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

## Вермикомпост на основе листового опада – перспективное кальциевое удобрение

Установлено наличие специфических свойств вермикомпоста, полученного путём переработки листового опада культурой *Eisenia fetida*. В вермикомпосте, полученном из конского навоза, суммарное содержание катионов  $Ca^{2+}$  и  $K^+$  составило в среднем 130 мг-экв / кг сухого веса. Сумма растворимых форм кальция и калия в вермикомпостах на основе листового опада характеризовалась статистически значимым снижением содержания в ряду: тополиный опад–ивовый опад–березовый опад и составила 113, 106 и 93 мг-экв / кг соответственно. Содержание нитрат-иона в вермикомпосте на основе конского навоза, на основе тополиного, ивового и березового опада зафиксировано на уровне 87, 22, 18 и 14 мг-экв/кг соответственно. Кратность количественного отношения  $Ca^{2+}/K^+$  в вермикомпосте из конского навоза равнялась 3,5. В образцах вермикомпоста, полученного из березового, ивового и тополиного опада, этот показатель значимо возрастал и достигал значений 4,1; 4,7 и 5,7 соответственно. Выращивание изолированных ростков картофеля сорта Невский на вытяжках из вермикомпоста на основе тополиного опада приводило к статистически значимому увеличению веса образовавшихся корней по сравнению с ростками, выращиваемыми на вытяжках вермикомпоста, полученного из конского навоза.

**Ключевые слова:** вермикомпостирование; *Eisenia fetida*; *Populus nigra* L.; отношение  $Ca^{2+}/K^+$ ; *Solanum tuberosum* L.; корнеобразование.

### Введение

Вермикультивирование – выращивание дождевых червей на органических субстратах – широко распространено в различных странах как прогрессивная технология переработки органических остатков, получения высокоэффективного удобрения и кормового белка животного происхождения [1, 2]. Вермикомпост, полученный из различных бытовых и сельскохозяйственных отходов, служит хорошим удобрением и стимулятором роста

различных культур [3, 4]. В ряде случаев из копролитов дождевых червей выделяют специфические штаммы микроорганизмов, которые используют для высокоэффективной защитной бактеризации зерновых культур [5]. В настоящее время в России и за рубежом в качестве основного субстрата для вермикультуры чаще всего используется навоз разных видов сельскохозяйственных животных и птицы [6–8]. Компост на основе навоза, как правило, содержит достаточно большие количества неорганического азота и калия [9]. Использование вермикомпоста с высоким содержанием ионов  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{K}^+$  в качестве удобрения способствует усиленному вегетативному росту растений и повышению урожайности. Однако в практическом земледелии повышенный азотный фон пролонгирует фазу вегетативного роста и препятствует формированию и созреванию плодов, клубней, корнеплодов [10], что в условиях короткого вегетационного периода может привести к существенному снижению урожая. Переизбыток калия, увеличивая обводненность тканей [11], способствует более быстрому распространению возбудителей различных болезней. С другой стороны, хорошо известна важная роль кальция как элемента минерального питания, повышающего устойчивость растений к стрессам и болезням [12, 13]. В вермикомпостах, полученных на основе богатых азотсодержащей органикой субстратов, соотношение ионов кальция и калия, как правило, характеризуется преобладанием последнего [9], в то время как в большинстве естественных пищевых субстратов дождевых червей, в том числе в листовом опаде, наблюдается обратная картина [14–18]. В последние годы все большее внимание уделяется изучению процессов разложения листового опада как одного из важнейших звеньев биогеохимических циклов [19, 20]. Но эти же процессы можно реализовать и в искусственных условиях как одну из технологических задач вермикомпостирования, которая имеет, как минимум, два важных аспекта. Во-первых, часто практикующееся в настоящее время сжигание опавших листьев является нерациональным, вредным для окружающей среды мероприятием. В то же время листовая опад представляет собой почти бесплатный, легкодоступный субстрат для переработки. Во-вторых, вермикомпостирование листового опада позволяет получить образцы вермикомпоста, обогащенного кальциевыми соединениями. По нашему мнению, использование данного биотехнологического продукта в качестве органоминерального удобрения (в определенные периоды онтогенеза) будет оказывать положительное влияние на корнеобразование и формирование неспецифической устойчивости растительного организма.

Цель работы – исследование некоторых агрохимических свойств вермикомпоста, при производстве которого в качестве основного пищевого субстрата использовался листовая опад определенных видов древесных растений.

### Материалы и методики исследования

В экспериментах использовался компостный червь *Eisenia fetida* Savigny (Lumbricidae), наиболее технологичный и приспособленный для вермиком-

постирования вид. Вермиккультура *Eisenia fetida* поддерживается на кафедре защиты растений профессором А.С. Бабенко. Исходная популяция червей получена от Ю.Б. Морева (Институт биологии АН Киргизской ССР) в 1991 г.

Для вермикультивирования использовали пластиковые контейнеры объемом 250 мл, которые наполняли субстратом. Кроме субстрата, в каждый контейнер помещали по несколько неполовозрелых особей дождевых червей общим весом  $1,5 \pm 0,1$  г. В качестве субстрата вермикультивирования использовали смесь верхового торфа как поглотительного материала, конского навоза или одного из трех видов высушенного листового опада: березового (*Betula pendula* L.), тополиного (*Populus nigra* L.) и ивового (*Salix alba* L.). Выбор данных видов древесных растений обусловлен их массовым совместным произрастанием на открытой территории Сибирского Ботанического сада и на ООПТ «Университетская роща» (г. Томск). Все вышеуказанные виды произрастают в одинаковых почвенно-климатических условиях. Следовательно, все возможные различия в физико-химических свойствах листового опада для этих трёх видов можно рассматривать как генетически детерминированные [21].

Исходные субстраты взяты в соотношении 1:8 по воздушно-сухому весу: 4 г сухого пищевого компонента (навоз или один из трех видов опада) и 32 г торфа. Дистиллированная вода добавлялась в сухую смесь в количестве 120 мл. Таким образом, начальная рабочая влажность субстратов вермикомпостирования составила 77%. В дальнейшем влажность субстратов поддерживалась на уровне  $70 \pm 10\%$  путем регулярного добавления дистиллированной воды. Закрытые перфорированными крышками контейнеры находились в темной комнате при температуре  $+21 \pm 3^\circ\text{C}$ . Вермикомпостирование проводилось до завершения фазы прироста биомассы червей и проявления выраженной тенденции к снижению данного параметра. В наших экспериментах (с ограниченным объемом контейнеров и пищевых ресурсов) это происходило в среднем к 21-м суткам культивирования червей.

По завершении экспериментов отсеянный от червей вермикомпост высушивался в сушильном шкафу при температуре  $105^\circ\text{C}$ . Все эксперименты по культивированию червей *Eisenia fetida* на навозе и листовом опаде от разных видов древесных растений проводили в 5 повторностях.

Для приготовления экстрактов из полученных вермикомпостов брали пробы с воздушно-сухим весом 5 г и заливали 95 мл дистиллированной воды (разведение 1:20). Пробы с водой количественно переносили в сосуды из темного стекла объемом 100 мл, закрывали крышкой, перемешивали в течение 3 мин на магнитной мешалке и оставляли на сутки в помещении при комнатной температуре для окончательной экстракции. Экстракт фильтровали и производили измерения требуемых физико-химических параметров.

Концентрацию ионов калия и нитрат-ионов в экстрактах из вермикомпостов определяли посредством ионометрии. Измерения проводили на иономере ИПЛ-103 серии «Мультигест» (Россия). Электродная ячейка

включала в себя ионоселективный электрод «ЭЛИС»-121К или «ЭЛИС»-121NO<sub>3</sub> и электрод сравнения ЭВЛ-1 М3.1. Содержание ионов Ca<sup>2+</sup> в исследуемых экстрактах определяли комплексонометрическим методом.

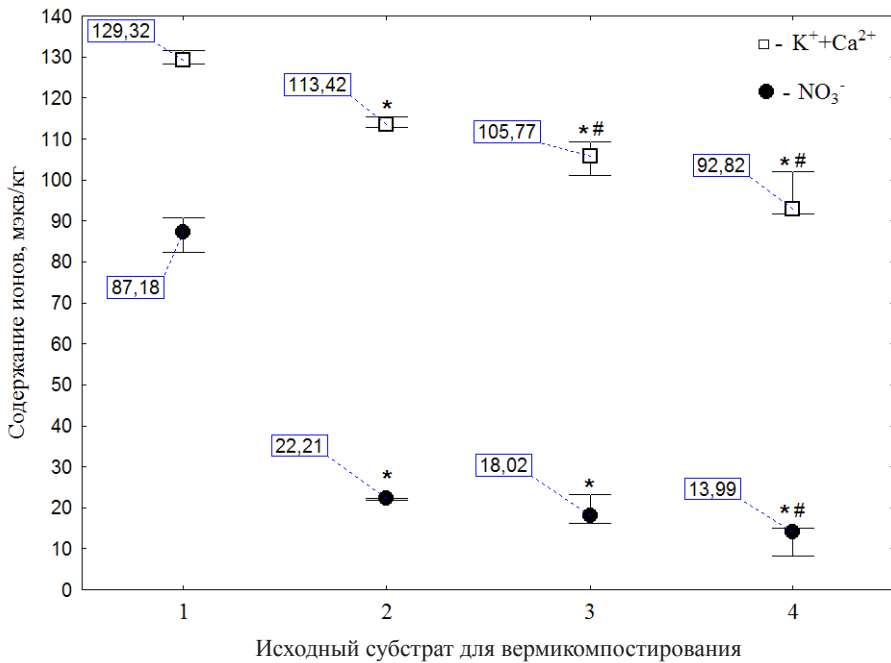
Физиологическое воздействие полученных образцов вермикомпоста изучалось на изолированных ростках картофеля (*Solanum tuberosum* L.) распространенного в России сорта Невский (Всеволожская селекционная станция). В чашки Петри на дно укладывали фильтровальную бумагу. В каждую чашку помещали по 3 ростка весом 0,5–1 г. Фильтровальная бумага на дне чашек смачивалась питательными растворами, в качестве которых служили водные вытяжки (1:20) из высушенных образцов вермикомпоста на основе навоза и тополиного опада. Экстракцию проводили способом, описанным выше. Чашки Петри с культивируемыми ростками картофеля помещались в малогабаритную фитокамеру со светопериодом день / ночь, равным 16:8. Продолжительность культивирования ростков определялась временем формирования развитой корневой системы и в среднем составляла 3–5 сут. Всего проведено 5 повторностей данного эксперимента. Отношение сырого веса образовавшихся за фиксированное время корней к общему сырому весу ростка, выраженное в процентах, служило главным исследуемым показателем воздействия питательных сред на изолированные ростки. В дальнейшем этот показатель мы называем «относительный вес корней».

Методы статистической обработки результатов выбирали исходя из малого объема выборок и невозможности, в силу данного обстоятельства, надежной оценки распределений. В качестве средних показателей использовали медианы, для оценки вариации вычисляли 25–75%-ные перцентили (1-й и 3-й квартили). Статистическую значимость отличий медиан исследуемых совокупностей рассчитывали, используя непараметрический критерий Вилкоксона–Манна–Уитни [22]. Вычисления производили в свободно распространяемом табличном процессоре Gnumeric, версия 1.10.16.

### Результаты исследования и обсуждение

Процессы онтогенетического изменения статуса минерального питания у высших растений – гликофитов – в настоящее время хорошо изучены [23, 24]. Одна из генеральных тенденций заключается в том, что листья (как древесных, так и травянистых растений) в ходе онтогенеза постепенно теряют калий (в результате оттока к более молодым органам и последующей реутилизации), но все больше и больше накапливают кальций. В стареющих и отмирающих листьях этот макроэлемент фиксируется в виде оксалатов и других слаборастворимых соединений, однако определенное количество кальция в тканях опада также присутствует и в форме иона наряду с ионами калия и нитрат-ионами.

На рис. 1 представлены данные о суммарном содержании катионов кальция и калия и содержании нитрат-иона в пробах вермикомпоста, полученного из различных исходных субстратов.



**Рис. 1.** Распределение суммы ионов кальция и калия, а также нитрат-ионов по образцам вермикомпоста, полученного из разных исходных субстратов.

Здесь и на рис. 2, 3: 1 – вермикомпост на основе конского навоза; 2, 3, 4 – на основе тополиного, березового и ивового опада соответственно;

\* – статистически значимые отличия от выборки № 1 ( $p < 0,005$ ); # – статистически значимые отличия от предыдущей (слева направо) выборки ( $p < 0,005$ ); маркеры средних точек обозначают медиану, планки погрешностей – первый и третий квартили.

[Fig. 1. Distribution of the amount of calcium and potassium ions, and nitrate ions according to vermicompost samples obtained from different initial substrates.

Note: 1 - horse manure-based vermicompost, 2-4 - poplar, birch or willow litter-based, respectively; \* - statistically significant differences from sample 1 ( $p < 0.005$ ); # - statistically significant differences from the previous (from left to right) sample ( $p < 0.005$ ); the markers of midpoints indicate the median, the error bars - the first and third quartiles.

On the ordinate axis - Ion content, meq/kg; On the abscissa axis - Initial substrate for vermicomposting]

Из графика видно, что вермикомпост, полученный из листового опада, статистически значимо уступает по суммарному содержанию двух главных макро-катионов в сухом веществе вермикомпосту на основе конского навоза. В то же время количественно эти различия нельзя назвать большими, так как суммарное содержание двух главных катионов в вермикомпосте из тополиного опада всего на 12% меньше, чем в вермикомпосте на основе навоза. Образцы вермикомпоста из листового опада от разных видов древесных растений также характеризуются значимыми различиями по исследуемому показателю: максимальные величины суммы катионов кальция и калия зафиксированы в образцах вермикомпоста из тополиного опада, минимальные – из березового (см. рис. 1).

По содержанию нитрат-иона различия между вермикомпостом на основе навоза и на основе опада выражены гораздо сильнее, чем по суммарному содержанию главных катионов.

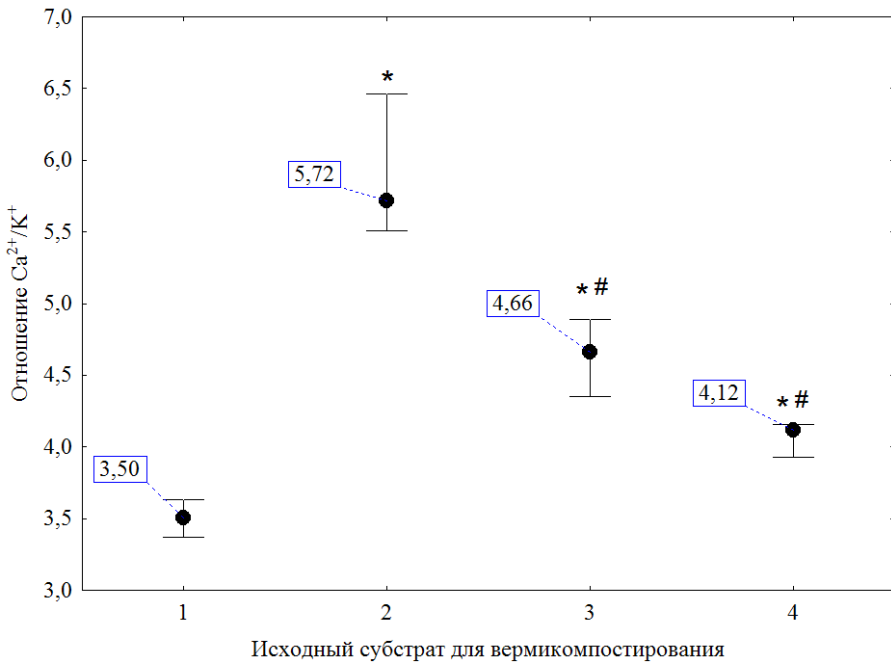
Как видно из рис. 1, содержание  $\text{NO}_3^-$  в сухой массе вермикомпоста, полученного на основе навоза, в 4–6 раз превышает значение этого же параметра в пробах вермикомпоста на основе листового опада. При этом различия между разными видами листового опада незначительны. Такая картина распределения нитрат-ионов по исследуемым образцам является вполне ожидаемой: практически любой листовой опад относится к категории субстратов, обеднённых азотом [25].

Другим важным свойством вермикомпоста как органоминерального удобрения является количественное отношение «содержание кальция / содержание калия». Результаты расчетов данного коэффициента представлены на рис. 2. Известно, что этот маркерный химический признак может быть детерминирован генетически и экологически [26, 27]. Отношение  $\text{Ca}^{2+} / \text{K}^+$  является максимальным в пробах вермикомпоста, полученных из смеси торфа и тополиного опада. Минимальными значениями данного показателя характеризовались пробы вермикомпоста, полученные на основе навоза (см. рис. 2).

Таким образом, исследуя свойства вермикомпоста, полученного из разных исходных субстратов, мы обнаружили два наиболее альтернативных (по совокупности исследуемых параметров) варианта: «традиционный» вермикомпост на основе навоза и вермикомпост на основе тополиного опада. Именно эти два варианта протестированы на растительных объектах в ходе гидропонных экспериментов по выращиванию ростков картофеля сорта Невский на средах с добавлением водных вытяжек из полученных образцов вермикомпоста. Результаты данных экспериментов представлены на рис. 3. Для ростков картофеля сорта Невский экспозиция на вермикомпосте, полученном на основе тополиного опада, приводила к статистически значимому, почти двукратному увеличению относительного веса корней по отношению к варианту с вермикомпостом, произведенным на основе навоза. На основании полученных данных можно сделать заключение о благоприятном влиянии вытяжек из вермикомпоста на основе тополиного опада на устойчивость и выживаемость ростков картофеля сорта Невский, используемых в целях размножения ценного семенного материала. Почему в данном случае акцент делается на такие понятия, как «выживаемость» и «повышение устойчивости»? Ответ заключается в самом способе размножения картофеля посредством изолированных ростков. Данный метод разрабатывался (и продолжает совершенствоваться в настоящее время) как недорогая и быстрая альтернатива меристемным культурам и системам типа «картофельное дерево».

Одним из наиболее уязвимых аспектов росткового размножения является непосредственный контакт ростков с питательным раствором. Изолированный росток не имеет полноценных морфофизиологических приспособлений

для оптимального поглощения нутриентов, рецепторных и транспортных систем для изменения проницаемости мембран в случаях резких колебаний ионной силы, рН окружающего раствора либо появления в нём токсичных веществ.

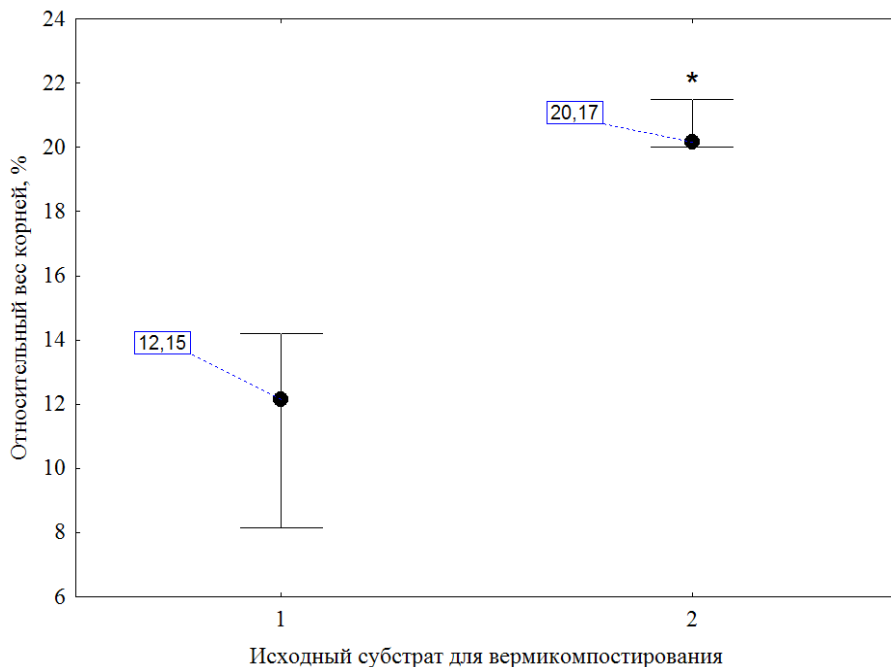


**Рис. 2.** Отношение содержания  $Ca^{2+}$ /содержание  $K^{+}$  в образцах вермикомпоста, полученного из разных исходных субстратов [Fig. 2. Ratio of " $Ca^{2+}$  content/  $K^{+}$  content" in vermicompost samples obtained from different initial substrates. On the ordinate axis -  $Ca^{2+}/K^{+}$  ratio; On the abscissa axis - Initial substrate for vermicomposting]

Следовательно, первичную стадию проращивания изолированных ростков (до образования полноценной системы корней) на любом субстрате можно рассматривать как стрессовое состояние [28]. И здесь на первый план выходят антистрессовые свойства кальция как макроэлемента минерального питания. Механизмы протекторных свойств  $Ca^{2+}$  многообразны, но изучены далеко не полно. Некоторые авторы делают акцент на универсальном каскаде адаптационных реакций, запускаемом ионами кальция, выполняющими роль вторичных мессенджеров в клетках [12, 13]. Однако полученные нами результаты, очевидно, связаны с другим не менее известным эффектом  $Ca^{2+}$  – стимуляцией процессов корнеобразования [29].

В целом, проведенные исследования позволили рассмотреть актуальные проблемы оптимизации кальциевого питания растений с еще одной – биотехнологической – точки зрения. Кальций является одним из самых про-

блемных элементов минерального питания растений ввиду очень слабой степени реутилизации и медленным, затрудненным возвращением из опада в корнеобитаемые горизонты [30, 31].



**Рис. 3.** Относительный вес корней у изолированных ростков картофеля сорта Невский, проращиваемых на вытяжках из вермикомпоста, полученного из конского навоза и тополинного опада

[Fig. 3. Relative root weight of isolated potato variety “Nevsky” sprouts germinated on vermicompost extracts obtained from horse manure and poplar litter. On the ordinate axis - Relative root weight, %; On the abscissa axis - Initial substrate for vermicomposting]

Решить данную проблему помогают дождевые черви, которые имеют уникальные анатомо-физиологические особенности, связанные с извлечением из субстрата кальция и дальнейшим его метаболизмом. Речь идет о так называемых кальциевых железах [32]. Несмотря на то, что степень развития кальциевых желёз у *Eisenia fetida* относительно невелика (по сравнению с почвенными видами червей), высокая технологичность (плодовитость, экологическая пластичность, простота в содержании) этого компостного вида с успехом позволяет использовать его при переработке листового опада [33]. В перспективе это может повысить эффективность и вариативность использования вермикомпоста в качестве удобрения в растениеводстве.



## Выводы

Проведенное сравнительное исследование свойств вермикомпостов, полученных путём переработки разных пищевых субстратов вермикультурой *Eisenia fetida* (Savigny), позволило установить следующее.

1. В вермикомпосте, полученном из конского навоза, суммарное содержание катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{K}^+$  составило в среднем 130 мг-экв/кг сухого веса. Сумма растворимых форм кальция и калия в вермикомпостах на основе листового опада характеризовалась статистически значимым снижением содержания в ряду: тополиный опад–ивовый опад–березовый опад и составила 113, 106 и 93 мг-экв/кг соответственно.

2. Содержание нитрат-иона в вермикомпосте на основе конского навоза, на основе тополиного, ивового и березового опада зафиксировано на уровне 87, 22, 18 и 14 мг-экв/кг соответственно.

3. Кратность количественного отношения  $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$  в вермикомпосте из конского навоза равнялась 3,5. В образцах вермикомпоста, полученного из березового, ивового и тополиного опада, этот показатель статистически значимо возрастал и достигал значений 4,1; 4,7 и 5,7 соответственно.

4. Выращивание изолированных ростков картофеля сорта Невский на вытяжках из вермикомпоста на основе тополиного опада приводило к статистически значимому увеличению относительного веса образовавшихся корней (20,17% от общего веса ростков) по сравнению с ростками, выращиваемыми на вытяжках вермикомпоста, полученного из конского навоза (12,15%).

## Литература

1. Edwards C.A., Burrows I., Fletcher K.E., Jones B.A. The use of earthworms for composting farm wastes // Composting Agricultural and Other Wastes / Ed. by J.K.R. Gasser. London ; New York : Elsevier, 1985. P. 229–241.
2. Hartenstein R., Bisesi M.S. Use of earthworm biotechnology for the management of effluents from intensively housed livestock // Outlook on Agriculture. 1989. Vol. 18. P. 3–7.
3. Arancon N., Edwards C., Babenko A., Cannon J., Galvis P., Metzger J. Influences of vermicompost produced by earthworms and micro-organisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse // Applied Soil Ecology. 2008. Vol. 39. P. 91–99.
4. Atiyeh R.M., Subler S., Edwards C.A., Bachman G., Metzger J.D., Shuster W. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil // Pedobiologia. 2000. Vol. 44. P. 579–590.
5. Терещенко Н.Н., Кравец А.В., Акимова Е.Е., Минаева О.М., Зотикова А.П. Эффективность применения микроорганизмов, изолированных из копролитов дождевых червей, для увеличения урожайности зерновых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2013. № 5. С. 10–17.
6. Морев Ю.Б. Искусственное разведение дождевых червей. Фрунзе : Илим, 1990. 63 с.
7. Городний Н.М., Мельник И.А., Повхан М.Ф. Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве. Киев : Урожай, 1990. С. 111–164.

8. Chan P.L.S., Griffiths D.A. The vermicomposting of pre-treated pig manure // *Biological Wastes*. 1988. Vol. 24. P. 57–69.
9. Atiyeh R.M., Edwards C.A., Subler S., Metzger J.D. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth // *Bioresource Technology*. 2001. P. 11–20.
10. Койка С.А., Скорилов В.Т. Нитраты и нитриты в продукции растениеводства // *Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Агрономия и животноводство*. 2008. № 3. С. 58–63.
11. Hsiao T.C., Lauchli A. Role of potassium in plant-water relations // *Advances in Plant Nutrition*. / eds. by B. Tinker and A. Lauchli. N.Y. : Praeger Scientific, 1986. Vol. 2. P. 281–312.
12. Bressan Ray A., Hasegawa Paul M., Pardo José M. Plants use calcium to resolve salt stress // *Trends in Plant Science*. 1998. Vol. 3. P. 411–412.
13. Poovaiah B.W., Reddy A.S.N. Calcium and Signal Transduction in Plants // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 1993. Vol. 12. P. 185–185.
14. Sariyildiz T., Anderson J.M. Variation in the chemical composition of green leaves and leaf litters from three deciduous tree species growing on different soil types // *Forest Ecology and Management*. 2005. P. 303–319.
15. Lemma B., Nilsson I., Kleja D.B., Olsson M., Knicker H. Decomposition and substrate quality of leaf litters and fine roots from three exotic plantations and a native forest in the southwestern highlands of Ethiopia // *Soil Biology & Biochemistry*. 2007. P. 2317–2328.
16. Carnol M., Bazgir M. Nutrient return to the forest floor through litter and throughfall under 7 forest species after conversion from Norway spruce // *Forest Ecology and Management*. 2013. P. 66–75.
17. Ma Y., Filley T.R., Szlavecz K., McCormick M.K. Controls on wood and leaf litter incorporation into soil fractions in forests at different successional stages // *Soil Biology & Biochemistry*. 2014. Vol. 69. P. 212–222.
18. Cizungu L., Staelens J., Huygens D., Walangululu J., Muhindo D., Cleemput O.V., Boeckx P. Litterfall and leaf litter decomposition in a central African tropical mountain forest and *Eucalyptus* plantation // *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 326. P. 109–116.
19. Li T., Ye Y. Dynamics of decomposition and nutrient release of leaf litter in *Kandelia obovata* mangrove forests with different ages in Jiulongjiang Estuary, China // *Ecological Engineering*. 2014. Vol. 73. P. 454–460.
20. Cuchietta A., Marcotti E., Gurvich D.E., Cingolani A.M., PérezHarguindeguy N. Leaf litter mixtures and neighbor effects: Low-nitrogen and high-lignin species increase decomposition rate of high-nitrogen and low-lignin neighbours // *Applied Soil Ecology*. 2014. Vol. 82. P. 44–51.
21. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. М. : Агропромиздат, 1991. 415 с.
22. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Л. : Медицина, 1973. 141 с.
23. Осмоловская Н.Г., Кучаева Л.Н., Новак В.А. Роль органических кислот при формировании ионного состава листьев гликофитов в онтогенезе // *Физиология растений*. 2007. Т. 54, № 3. С. 381–388.
24. Осмоловская Н.Г. Особенности ионного гомеостатирования у гликофитных растений // *Вестник СПбГУ*. 1998. Сер. 3, вып. 2, № 10. С. 78–84.
25. Petrochenko K., Kurovskiy A., Babenko A. Ionic homeostasis and some other features of *Eisenia fetida* (*Oligocheta*) cultivated on substrates of various characters and of different chemical composition // *Advances in Earthworm Taxonomy VI (Annelida: Oligochaeta)*. Kasperek Verlag, Heidelberg: Printed in Germany, 2014. P. 171–176.
26. Лархер В. Экология растений. М. : Мир, 1978. 384 с.

27. Куровский А.В. Эколого-физиологические аспекты кальциефильности травянистых растений // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 329. С. 237–240.
28. Якимов Ю.Е., Елисеева М.А., Куровский А.В. Эффективность размножения семенного картофеля частями клубня // Сборник трудов региональной научно-практической конференции «Современные проблемы и достижения аграрной науки в животноводстве, растениеводстве и экономике», Томск, 2010. Вып. 12. С. 92–96.
29. Schiefelbein J.W., Shipley A., Rowse P. Calcium influx at the tip of growing root-hair cells of *Arabidopsis thaliana* // Planta. 1992. P. 455–459.
30. Ponge J.F., Patzel N., Delhaye L., Devigne E., Levieux C., Beros P., Wittebroodt R. Interactions between earthworms, litter and trees in an old-growth beech forest // Biology and Fertility of Soils. 1999. P. 360–370.
31. Reich P.B., Oleksyn J., Modrzyński J., Mrozinski P., Hobbie S.E., Eissenstat D.M., Choler P., Chadwick O.A., Hale C.M., Tjoelker M.G. Linking litter calcium, earth-worms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. // Ecology. 2005. Letters 8. P. 811–818.
32. Canti M.G., Pearce T.G. Morphology and dynamics of calcium carbonate granules produced by different earthworm species // Pedobiologia. 2002. P. 511–521.
33. Петроченко К.А., Куровский А.В., Бабенко А.С. Некоторые физико-химические аспекты переработки листового опада дождевыми червями *Eisenia fetida* в лабораторных условиях // Биогеоценология и ландшафтная экология: итоги и перспективы : материалы IV Международной конференции, посвященной памяти Ю.А. Львова. Томск, 2012. С. 401–404.

**Авторский коллектив:**

**Петроченко Ксения Александровна** – аспирант кафедры защиты растений Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия).

E-mail: [charlie9008@yandex.ru](mailto:charlie9008@yandex.ru)

**Куровский Александр Васильевич** – канд. биол. наук, доцент кафедры экологической и сельскохозяйственной биотехнологии Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета; доцент кафедры иностранных языков Физико-технического института Томского политехнического университета (г. Томск, Россия).

E-mail: [a.kurovskii@yandex.ru](mailto:a.kurovskii@yandex.ru)

**Бабенко Андрей Сергеевич** – д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой защиты растений Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия).

E-mail: [andrey.babenko.56@mail.ru](mailto:andrey.babenko.56@mail.ru)

**Якимов Юрий Евгеньевич** – ст. преподаватель кафедры экологической и сельскохозяйственной биотехнологии Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия).

E-mail: [yak4103@yandex.ru](mailto:yak4103@yandex.ru)

Поступила в редакцию 01.02.2015 г.; повторно 23.04.2015 г.; принята 19.05.2015 г.

Petrochenko KA, Kurovsky AV, Babenko AS, Yakimov YuE. Leaf litter-based vermicompost as promising calcium fertilizer. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2015;2(30):20-34. doi: 10.17223/19988591/30/2 In Russian, English summary

**Ksenia A. Petrochenko<sup>1</sup>, Aleksander V. Kurovsky<sup>1,2</sup>,  
Andrey S. Babenko<sup>1</sup>, Yury E. Yakimov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

## Leaf Litter-Based Vermicompost As Promising Calcium Fertilizer

Nowadays a lot of attention is paid to studying the processes of leaf litter decomposition, which is one of the most important stages of biogeochemical cycles. Under simulated conditions these processes can be realised as one of the technological tasks of vermicomposting. Leaf litter is a substrate available for vermicultures, and it is rich in calcium. Vermicomposting of leaf litter makes it possible to get vermicompost samples enriched in calcium combination. This research aimed at studying the agrochemical properties of vermicompost made from leaf litter of particular species of woody plants.

To form the substrate for the vermiculture *Eisenia fetida* Savigny (*Lumbricidae*) we used the mixture of terrestrial peat with horse manure or the mixture of terrestrial peat with one of three kinds of leaf litter: birch (*Betula pendula* L.), poplar (*Populus nigra* L.) and willow (*Salix alba* L.). These species of woody plants grew within the same area, under similar soil and climate conditions. We carried out vermicomposting in plastic 250-millilitre containers up to the end of the phase of biomass growth. In water extracts from the obtained vermicomposts we measured the concentration of  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $NO_3^-$ . The total capacity of  $Ca^{2+}$  and  $K^+$  in the horse manure vermicompost was, on average, 130 milliequivalents/kg in dry weight. The sum of soluble forms of calcium and potassium in the vermicompost from leaf litter was characterised by a statistically significant decrease in the range: poplar litter - willow litter - birch litter, and was 113, 106 and 93 milliequivalents/kg correspondingly. We registered the nitrate-ion concentration in the vermicompost from horse manure, from poplar, willow and birch litter at the level of 87, 22, 18 and 14 milliequivalents/kg, correspondingly. The ratio  $Ca^{2+}/K^+$  in the vermicompost from poplar litter was 3.5. In the samples of vermicompost made from poplar, willow and birch litter this index was significantly higher; it was 4.1, 4.7 and 5.7 correspondingly. In accordance with their chemical properties, the two most different variants are the horse manure and poplar litter vermicompost. We tested these two variants on plant objects in hydroponic experiments on studying the speed of root-formation in isolated potato sprouts (the variety Nevsky, Russia). Growing isolated potato sprouts of the variety Nevsky on the extract of the vermicompost from poplar litter resulted in a statistically significant increase in the weight of formed roots (20.17% of the total weight of sprouts) in comparison with the sprouts raised on the extract of the vermicompost from horse manure (12.15%). The obtained effect is discussed from the point of view of the stimulating impact of large amount of  $Ca^{2+}$  on the root-formation processes of plants.

*The article contains 3 Figures, 33 References.*

**Key words:** vermicomposting; *Eisenia fetida*; *Populus nigra* L.;  $Ca^{2+}/K^+$  ratio; *Solanum tuberosum* L.; root formation.

### References

1. Edwards CA, Burrows I, Fletcher KE, Jones, BA. The use of earthworms for composting farm wastes. In: Composting Agricultural and Other Wastes. Gasser JKR, editor. London and New York: Elsevier; 1985. pp. 229-241.
2. Hartenstein R, Bisesi MS. Use of earthworm biotechnology for the management of effluents from intensively housed livestock. *Outlook on Agriculture*. 1989;18:3-7.
3. Arancon N, Edwards C, Babenko A, Cannon J, Galvis P, Metzger J. Influences of vermicompost produced by earthworms and micro-organisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied Soil Ecology*. 2008;39:91-99. doi: [10.1016/j.apsoil.2007.11.010](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.11.010)
4. Atiyeh RM, Subler S, Edwards CA, Bachman G, Metzger JD, Shuster W. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedo biologia*. 2000;44:579-590.
5. Tereshchenko NN, Kravets AV, Akimova EE, Minaeva OM, Zotikova AP. Effectiveness of applying microorganisms isolated from earthworm coprolites in increasing yielding capacity of grain crops. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2013;5:10-17. In Russian, English summary
6. Morev YuB. Iskustvennoe razvedenie dozhdevykh chervev [Artificial breeding of earthworms]. Frunze: Ilim Publ.; 1990. 63 p. In Russian
7. Gorodniy NM, Mel'nik IA, Povkhan MF. Biokonversiya organicheskikh otkhodov v biodinamicheskom khozyaystve [Bioconversion of organic waste in biodynamic farming]. Kiev: Harvest Publ.; 1990. 256 p. In Russian
8. Chan PLS, Griffiths DA. The vermicomposting of pre-treated pig manure. *Biological Wastes*. 1988;24(1):57-69.
9. Atiyeh RM, Edwards CA, Subler S, Metzger JD. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*. 2001;78:11-20.
10. Kojka SA, Skorikov VT. Nitrates and nitrites in production vegetative. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i Zhivotnovodstvo*. 2008;3:58-63. In Russian
11. Hsiao TC, Lauchli A. Role of potassium in plant-water relations. In: *Advances in Plant Nutrition*. Tinker B, Lauchli A, editors. Vol. 2. New York: Praeger Scientific; 1986. pp. 281-312.
12. Bressan Ray A, Hasegawa Paul M, Pardo José M. Plants use calcium to resolve salt stress. *Trends in Plant Science*. 1998;3(11):411-412. doi: [10.1016/S1360-1385\(98\)01331-4](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(98)01331-4)
13. Poovaiah BW, Reddy ASN. Calcium and Signal Transduction in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 1993;12:185-185.
14. Sariyildiz T, Anderson JM. Variation in the chemical composition of green leaves and leaf litters from three deciduous tree species growing on different soil types. *Forest Ecology and Management*. 2005;210:303-319. doi: [10.1016/j.foreco.2005.02.043](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.043)
15. Lemma B, Nilsson I, Kleja DB, Olsson M, Knicker H. Decomposition and substrate quality of leaf litters and fine roots from three exotic plantations and a native forest in the southwestern highlands of Ethiopia. *Soil Biology & Biochemistry*. 2007;39(9):2317-2328. doi: [10.1016/j.soilbio.2007.03.032](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.03.032)
16. Carnol M, Bazgir M. Nutrient return to the forest floor through litter and throughfall under 7 forest species after conversion from Norway spruce. *Forest Ecology and Management*. 2013;309:66-75. doi: [10.1016/j.foreco.2013.06.042](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.042)
17. Ma Y, Filley TR, Szlavecz K, McCormick MK. Controls on wood and leaf litter incorporation into soil fractions in forests at different successional stages. *Soil Biology & Biochemistry*. 2014;69:212-222. doi: [10.1016/j.soilbio.2013.10.043](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.10.043)
18. Cizungu L, Staelens J, Huygens D, Walangululu J, Muhindo D, Cleemput OV, Boeckx P. Litterfall and leaf litter decomposition in a central African tropical mountain forest and

- Eucalyptus* plantation. *Forest Ecology and Management*. 2014;326:109-116. doi: [10.1016/j.foreco.2014.04.015](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.015)
19. Li T, Ye Y. Dynamics of decomposition and nutrient release of leaf litter in *Kandelia obovata* mangrove forests with different ages in Jiulongjiang Estuary, China. *Ecological Engineering*. 2014;73:454-460.
  20. Cuchietta A, Marcotti E, Gurvich DE, Cingolani AM, PérezHarguindeguy N. Leaf litter mixtures and neighbor effects: Low-nitrogen and high-lignin species increase decomposition rate of high-nitrogen and low-lignin neighbours. *Applied Soil Ecology*. 2014;82:44-51. doi: [10.1016/j.apsoil.2014.05.004](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.004) 0929-1393
  21. Klimashevskiy EL. Geneticheskiy aspekt mineral'nogo pitaniya rasteniy [Genetic aspect of mineral nutrition of plants]. Moscow: Agropromizdat Publ.; 1991. 415 p. In Russian
  22. Gubler EV, Genkin AA. Primenenie neparametricheskikh kriteriev statistiki v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh [The use of nonparametric statistics in biomedical research]. Leningrad: Medicine Publ.; 1973. 141 p. In Russian
  23. Osmolovskaya NG, Kuchaeva LN, Novak VA. Role of organic acids in the formation of the ionic composition in developing glycophyte leaves. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2007;54(3):336-342
  24. Osmolovskaya NG. The peculiarities of ionic homeostasis in plants - glycophytes. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 3. Biology*. 1998;10:78-84. In Russian
  25. Petrochenko K, Kurovskiy A, Babenko A. Ionic homeostasis and some other features of *Eisenia fetida* (*Oligochaeta*) cultivated on substrates of various characters and of different chemical composition. In: *Advances in Earthworm Taxonomy VI (Annelida: Oligochaeta)*. Tomáš Pavlíček, Patricia Cardet, Maria Teresa Almeida, Cláudia Pascoal and Fernanda Cássio, editors. Proc. of the 6th International Oligochaeta Taxonomy Meeting (6th IOTM), Palmeira de Faro, April 22-25, 2013. Germany, Heidelberg: Kasperek Verlag; 2014. pp. 171-176.
  26. Larher W. Plant ecology. Viktorov DP, translated from German; Rabotnov TA, editor. New York: Wiley; 1978. 384 p. In Russian Moscow: Mir Publ.; 1978. 384 p.
  27. Kurovskiy AV. Ecological-physiological aspects of calcium requirement of herbs. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*. 2009;329:237-240. In Russian
  28. Yakimov YuE, Eliseeva MA, Kurovskiy AV. Effektivnost' razmnozheniya semennogo kartofelya chastyami klubnya [The effectiveness of reproduction of seed potatoes by small tuber pieces]. In: *Sbornik trudov regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennyye problemy i dostizheniya agrarnoy nauki v zhivotnovodstve, rastenievodstve i ekonomike»* [Modern challenges and achievements of agricultural science in animal husbandry, horticulture and economy. Proc. of the Sci. Conf.]. Vol. 12. Tomsk: Tomsk Publ.; 2010. pp. 92-96. In Russian
  29. Schiefelbein JW, Shipley A, Rowse P. Calcium influx at the tip of growing root-hair cells of *Arabidopsis thaliana*. *Planta*. 1992;187(4):455-459. doi: [10.1007/BF00199963](https://doi.org/10.1007/BF00199963)
  30. Ponge JF, Patzel N, Delhay L, Devigne E, Levieux C, Beros P, Wittebroodt R. Interactions between earthworms, litter and trees in an old-growth beech forest. *Biology and Fertility of Soils*. 1999;29:360-370.
  31. Reich PB, Oleksyn J, Modrzynski J, Mrozinski P, Hobbie SE, Eissenstat DM, Cho-Rover J, Chadwick OA, Hale CM, Tjoelker MG. Linking litter calcium, earth-worms and soil properties: a common garden test with 14 tree species. *Ecology Letters*. 2005;8(8):811-818. doi: [10.1111/j.1461-0248.2005.00779.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00779.x)
  32. Canti MG, Pearce TG. Morphology and dynamics of calcium carbonate granules produced by different earthworm species. *Pedobiologia*. 2003;47:511-521. doi: [10.1078/0031-4056-00221](https://doi.org/10.1078/0031-4056-00221)
  33. Petrochenko KA, Kurovskiy AV, Babenko AS. Nekotorye fiziko-khimicheskie aspekty pererabotki listovogo opada dozhdevymi chervyami *Eisenia fetida* v laboratornykh

usloviyakh [Some physical and chemical aspects of leaf litter processing by earthworms *Eisenia fetida* under artificial conditions]. Biogeotsenologiya i landshaftnaya ekologiya: itogi i perspektivy: materialy IV Mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati YuA L'vova [Biogeocenology and landscape ecology: Results and Prospects. Proc. of the IV Int. Sci. Conf.]. Tomsk: Tomsk Publ.; 2012. pp. 401-404.

*Received 1 February 2015;*

*Revised 23 April 2015;*

*Accepted 19 May 2015*

**Author info:**

**Petrochenko Kseniya A**, Postgraduate student, Department of Plant Protection, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: [charlie9008@yandex.ru](mailto:charlie9008@yandex.ru)

**Kurovsky Alexander V**, Cand. Sci. (Biol.), Ass. Professor, Department of Ecological and Agricultural Biotechnology, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk 634050, Russian Federation; Department of Foreign Languages, Physical-Technical Institute, Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Prospekt, Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: [a.kurovskii@yandex.ru](mailto:a.kurovskii@yandex.ru)

**Babenko Andrey S**, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Department of Plant Protection, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: [andrey.babenko.56@mail.ru](mailto:andrey.babenko.56@mail.ru)

**Yakimov Yury E**, Senior Lecturer, Department of Ecological and Agricultural Biotechnology, Institute of Biology, Tomsk State University, 36 Lenin Prospekt, Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: [yak4103@yandex.ru](mailto:yak4103@yandex.ru)