

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ЗЕЛЕННОГО КОРМА

О. Р. ИЛЬЯСОВ, доктор биологических наук, профессор,
О. П. НЕВЕРОВА, кандидат биологических наук, доцент,
О. В. ГОРЕЛИК, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
И. М. ДОННИК, доктор биологических наук, профессор, академик РАН, ректор,
П. В. ШАРАВЬЕВ, старший преподаватель,
Уральский государственный аграрный университет
(620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, д. 42)

Ключевые слова: животноводство, сточные воды, гидропон, зеленый корм, выращивание.

В России выращиванию растений в искусственных условиях без почвы (гидропоника) уделяется большое внимание. В практике и научных исследованиях для выращивания зеленого корма в условиях гидропоники и в России, и за рубежом используют преимущественно искусственные питательные растворы с оптимальным содержанием биогенов. Реже используются очень разбавленные навозосодержащие сточные воды, по химическому составу приближенные к искусственным питательным растворам. При выращивании зеленого корма в условиях гидропоники как на искусственном растворе, так и на навозосодержащих сточных водах важнейшим фактором получения высокого содержания витаминов в корме служит свет. При выращивании зеленого корма на искусственных питательных растворах основная роль света сводится к получению более высокого содержания витаминов в растении. При выращивании зеленого корма на животноводческих стоках, когда ставится задача их максимального испарения, роль света в значительной мере возрастает. Данные химического состава испытуемых растворов показывают, что навозосодержащие сточные воды после гидросмывной системы навозоудаления, прошедшие биологическую подготовку, значительно концентрированное искусственного питательного раствора. По зольности – почти в 4 раза, по калию – в 8 раз. Зольность навозосодержащих сточных вод определяется преимущественно калием, а искусственного питательного раствора – в значительной степени кальцием и магнием. Содержание азота аммонийного в субстрате из навозосодержащих сточных вод в 10 раз больше, чем в искусственном питательном растворе, и составляет 380 мг/л. До биологической подготовки концентрация $N(NH_4^+)$ составляла более 800 мг/л. Нитратный азот в сточных водах определяется на уровне нескольких миллиграммов или следов.

THE USE OF WASTEWATER FROM LIVESTOCK FARMS FOR GROWING GREEN FODDER

O. R. ILYASOV, doctor of biological sciences, professor,
O. P. NEVEROVA, candidate of biological sciences, associate professor,
O. V. GORELIK, doctor of agricultural sciences, professor,
I. M. DONNIK, doctor of biological sciences, professor, academician of RAS, rector,
P. V. SHARAVYEV, senior lecturer, Ural State Agrarian University
(42 K. Liebknechta Str., 620075, Ekaterinburg)

Keywords: animal, sewage, hydropon, green fodder cultivation.

In Russia much attention is paid to cultivation of plants in artificial conditions without soil (hydroponics). In practice and scientific research for cultivation of green forage in the conditions of hydroponics, in Russia and abroad scientists use mainly artificial nutrient solutions with the optimum maintenance of biogens. Very diluted wastewater with manure, which in chemical composition is brought closer to artificial nutrient solutions, is used less often. Upon cultivation of green forage using hydroponics both on artificial solution, and on wastewater containing manure, the most important factor of obtaining high content of vitamins B by stem is light. Upon cultivation of green forage on artificial nutrient solutions the main role of light comes down to obtaining higher content of vitamins B for the plant. Upon cultivation of green forage on livestock drains when the task of their maximum evaporation is set, the significance of light considerably increases. Data of chemical composition of examined solutions show that the wastewater with manure after hydroflushing system of manure removal are considerably stronger than artificial nutrient solution. The ash-content is higher almost by 4 times, the potassium level – by 8 times. The ash-content of wastewater is defined mainly by potassium, and artificial nutrient solution – substantially by calcium and magnesium. Content of ammonia nitrogen substrate from the waste water containing manure is 10 times higher than in artificial nutrient solution, which makes for 380 mg/l. Before biological preparation concentration of $N(NH_4^+)$ it was more than 800 mg/l. Nitrate nitrogen in sewage is defined at the level of several milligrams or traces.

Положительная рецензия представлена В. Ф. Гридиным, доктором сельскохозяйственных наук, профессором, главным научным сотрудником Уральского научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Одним из способов утилизации сточных вод животноводческих хозяйств может стать их использование в качестве питательного субстрата при выращивании зеленых витаминных кормов гидропонным способом.

В России выращиванию растений в искусственных условиях без почвы (гидропоника) уделяется большое внимание. Понятие «беспочвенная культура» охватывает все методы выращивания растений с помощью питательных растворов без почвы: гравийная, гравийно-торфяная, торфяная, воздушная, водная и др.

В настоящее время наибольшее распространение получила гравийная культура (минеральная культура, гидрокультура). При этом методе для выращивания растений приспособляют водонепроницаемые стеллажи, заполненные гравием. Питательный раствор определенного состава подают один или несколько раз в сутки (несколько ниже поверхности наполнителя), после чего он стекает в сточный бак. В качестве твердой среды для выращивания может быть использован песок, галька, вермикулит, каменугольный шлак, керамзит и т. п. [1, 2, 3].

При воздушном методе корни растений размещаются в воздухе над резервуаром, периодически опрыскиваются питательным раствором через распылитель.

При водном – основная масса корней размещается в резервуаре, заполненном питательным раствором. При этом необходима дополнительная подача воздуха в питательный раствор для его перемешивания и насыщения кислородом. Водная культура как в классическом виде, так и в виде различных модификаций находит все более широкое применение в нашей стране и за рубежом. В последнее время в нашей стране особенно большой интерес представляют работы Н. П. Загорулько по выращиванию овощных, ягодных и цветочных культур с периодической подачей питательного раствора корням растений [4].

В практике и научных исследованиях для выращивания зеленого корма в условиях гидропоники и в России [5–10], и за рубежом [11–15] используют преимущественно искусственные питательные растворы с оптимальным содержанием биогенов. Реже используются очень разбавленные навозосодержащие сточные воды, по химическому составу приближенные к искусственным питательным растворам [16–18]. Соотношение основных элементов питания в искусственных питательных растворах обычно составляет 1:0,3:1,4 (N:P:K).

Азот в них находится в двух формах: нитратной и аммонийной. Общее содержание азота составляет 200 мг/л; из них на долю аммонийного азота приходится не более 30 %. Считается, что вследствие быстрого усвоения аммонийного азота накопление его в растениях особенно опасно [19–21]. Токсическое

действие на растения азота аммония при высоком содержании его в питательном растворе принято объяснять физиологической кислотностью аммонийных солей или токсичностью самого иона аммония. Физиологическая кислотность этой соли обусловлена тем, что при аммонийном питании ион аммония подавляет поступление зольных элементов в растение. В результате в растении накапливаются анионы минеральных кислот, нейтрализация которых не происходит из-за незначительного поступления в растение зольных элементов [22]. Токсичность самого иона аммония объясняется большим накоплением его в растении в несвязанном в органические соединения состоянии [22, 23].

Для выращивания зеленого корма обычно используются зерновые культуры, имеющие большой запас сахаров [24]. Они способны ассимилировать значительные количества аммиака, особенно в начальный период роста. У проростков, формирующихся за счет запасов семени, в первые дни появления листьев интенсивность дыхания превосходит фотосинтез, т. е. сахара, образующиеся при гидролизе крахмала как основного запасного вещества зерновки, окисляются до органических кислот, которые и обезвреживают поступающий в растения аммиак, образуя амиды и аминокислоты [25].

Вся постановка получения зеленого корма зимой рассчитана на использование растениями питательных веществ семени (выращивание растений в течение 8–12 суток [2, 7]).

При выращивании растений в условиях гидропоники и использовании в качестве питательного субстрата стоков с высоким содержанием биогенов важным фактором, определяющим интенсивность транспирации воды стоков растениями и урожай зеленого корма, является концентрация раствора, подаваемого на орошение. С повышением концентрации питательных веществ в растворе интенсивность транспирации снижается [2, 8, 9, 10]. С повышением концентрации биогенов в питательном растворе до 3 ммоль/л отношение свободной воды к связанной уменьшается и это, как следствие, приводит к снижению скорости активного поглощения воды корнями. При этом угнетаются ростовые процессы и снижается продуктивность растений. Однако с дальнейшим увеличением концентрации закономерность возростания осмотического давления клеточного сока листьев от концентрации раствора нарушается. Это объясняется тем, что растения активно поглощают питательные вещества из разбавленных растворов, а из сильно концентрированных растворов они поглощают больше воды, чем солей. Что же касается урожайности, то с повышением концентрации питательных веществ в растворе выше оптимальной она снижается. Снижается также интенсивность синте-

за каротина. Транспирацию воды растениями можно дополнительно увеличить, если создать дефицит насыщения водяным паром окружающей среды. При температуре воздуха, оптимальной для выращивания растений, максимальное действие ветра на устойчивую транспирацию достигается при его скоростях около 1 м/с. Дальнейшее усиление ветра не повышает скорости транспирации [25].

Важным фактором интенсификации процесса выращивания зеленого корма на стоках в условиях гидропоникума служит усиление снабжения растений кислородом, что интенсифицирует окислительные процессы в растении и тем самым способствует резкому увеличению содержания в них редуцирующих веществ [25]. При создании режима с периодическим затоплением корней растений питательным субстратом (суборошение) создаются благоприятные условия снабжения корней растений кислородом, что позволяет ускорить процесс окисления сахаров до органических кислот, которые будут обезвреживать поступающий в растения аммиак.

Для нормального роста растений достаточно периодического затопления корней растений стоками, так как процесс поглощения ионов из наружного раствора живыми растительными тканями протекает с такой большой скоростью, что даже мгновенное погружение растительных объектов в растворы электролитов приводит к поглощению их значительной части. Примерно на 15-й минуте заканчивается процесс основного поглощения, а в дальнейшем идет равномерное медленное поглощение [25]. В условиях гидропонного выращивания зеленого корма закладка семян зерновых культур, как правило, составляет 3–5 кг/м² лотка. При этом образуется мощная плотная корневая система с большой площадью поглощения (всасывания), способствующая значительному изъятию биогенов из стоков корнями растений. При благоприятных условиях растения на физиологические процессы в единицу времени утилизируют такой объем воды, на простое физическое испарение которого потребуются значительные затраты энергии извне [25].

При выращивании зеленого корма в условиях гидропоникума как на искусственном растворе, так и на навозосодержащих сточных водах важнейшим фактором получения высокого содержания витаминов в корме служит свет.

При выращивании зеленого корма на искусственных питательных растворах основная роль света сводится к получению более высокого содержания витаминов в растении. При выращивании зеленого корма на животноводческих стоках, когда ставится задача их максимального испарения, роль света в значительной мере возрастает. Известно, что скорость транспирации находится примерно в линей-

ной зависимости от величины напряженности света и дефицита насыщения. Свет — это ведущий фактор внешней среды, определяющий скорость транспирации, так как он не только увеличивает проницаемость протоплазмы для воды, но и обуславливает активное открывание устьиц.

Представленный обзор по гидропонике свидетельствует, что в России и за рубежом этот метод достаточно хорошо изучен и широко используется на практике при получении зеленого витаминного корма.

Принципиальное отличие использования этого метода для целей утилизации высококонцентрированных навозосодержащих сточных вод заключается в следующем:

1. На растения требуется подавать питательные субстраты (сточные воды) с максимально допустимыми концентрациями загрязняющих веществ, а не оптимального состава.

2. Питательный субстрат (сточные воды) не должен сильно снижать биометрические характеристики зеленого корма (вес, высота, транспирирующая способность), а также его питательную и витаминную ценность.

Исследования в данном направлении предусматривали следующие этапы: а) выбор гидропонной культуры; б) изучение и подбор качественного состава питательного субстрата, приготавливаемого из навозосодержащих сточных вод; в) изучение и разработка технологического регламента орошения и освещения зеленого корма.

Набор культур, используемых для выращивания гидропонного корма, разнообразен: рожь, овес, ячмень, кукуруза, пшеница и др.

Однако на практике целесообразней использовать семена не пищевых, а фуражных культур. Для снижения затрат на подготовку стоков используемые в гидропонике культуры должны выдерживать максимальные концентрации загрязняющих веществ в питательном субстрате, в т. ч. и биогенов. По этой причине наши исследования выполнялись с двумя питательными субстратами в параллели: искусственным питательным раствором Чеснокова и Базыриной (базовый) и навозосодержащими сточными водами с разной степенью разбавленности технической водой и технологией их подготовки для использования (альтернативный). В своей работе мы ориентировались на злаковые растения фуражных культур с высоким водопотреблением, и позволяющие за короткий период выращивания утилизировать значительное количество сточных вод и получить хороший урожай зеленого корма.

Наши попытки использовать для этих целей семена сорных злаков, в частности, овсюга, не привели к успеху из-за их непредсказуемой всхожести. Если

Таблица 1
Химический состав питательных субстратов
Table 1
Chemical composition of nutritious substrata

Питательный субстрат <i>Nutritious substratum</i>	pH	Показатели, мг/л <i>Indicators, mg/l</i>							
		Сухой остаток <i>Dry matter</i>	Зольность <i>Ash content</i>	N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
Искусственный раствор <i>Artificial solution</i>	5,9	1230	660	36	110	38	160	Отсутствует <i>Not detected</i>	Следы <i>Traces</i>
Сточные воды <i>Wastewater</i>	8,1	5370	2330	380	4	26	1120	2180	570

всхожесть фуражных культур была в пределах 80 %, а отставание по появлению проростков среди замоченных для проращивания зерен – 1–2 суток, то первоначальная всхожесть овсяного – не выше 50 %. Оставшаяся часть жизнеспособных семян проросла на 8–12 сутки. Недружные всходы овсяного резко снижали производительность растительных ванн гидропонной установки как по количеству утилизированных за сутки сточных вод, так и снижению концентрации солей. Урожай биомассы, снимаемый с площади теплицы, был в два раза ниже, чем при выращивании зеленого корма из культурных злаковых растений.

Дальнейшие исследования были выполнены со злаковыми культурами (ячмень «Луч», овес «Урал», райграс «Прикарпатский») на искусственном питательном растворе Чеснокова и Базыриной и на биологически подготовленных навозосодержащих сточных водах. Химический состав питательных субстратов приведен в табл. 1.

Данные химического состава испытуемых растворов показывают, что навозосодержащие сточные воды после гидросмывной системы навозоудаления, прошедшие биологическую подготовку, значительно концентрированное искусственного питательного раствора. По зольности – почти в 4 раза, по калию – в 8 раз. Зольность навозосодержащих сточных вод определяется преимущественно калием, а искусственного питательного раствора – в значительной степени кальцием и магнием.

Содержание азота аммонийного в субстрате из навозосодержащих сточных вод в 10 раз больше, чем в искусственном питательном растворе, и составляет 380 мг/л. До биологической подготовки концентрация N(NH₄⁺) составляла более 800 мг/л. Нитратный азот в сточных водах определяется на уровне нескольких миллиграммов или следов.

Концентрация фосфора в сточных водах несколько ниже его содержания в искусственном питательном растворе, где он необходим для усвоения растением нитратного азота. Более высокая концентрация фосфора в питательном растворе при аммонийном источнике азота (как в случае навозосодержащих сточных вод) замедляет переработку аммиака растением, что отрицательно сказывается на его росте [24].

Содержание бикарбонат-ионов и хлор-ионов в сточных водах, используемых в качестве питательного субстрата, значительно выше, чем в искусственном растворе. Это объясняется тем, что бикарбонат-ионы являются анионами аммония и калия, а хлор-анионы – кальция, магния, натрия, которых в сточных водах достаточно много [25]. В искусственный питательный раствор Чеснокова и Базыриной не входят соли в форме бикарбонатов и хлоридов (кроме хлорного железа, включаемого в качестве микроэлемента).

Выполненные исследования позволили оценить по биометрическим показателям, биохимическому составу (в т. ч. и аминокислотному) и водопотреблению достоинства и недостатки используемых для утилизации навозосодержащих сточных вод животноводческих хозяйств, злаковых культур.

Литература

1. Feedlots point category. Washington : U.S. EPA, 1974. 310 p.
2. Feedlots point category : effluent guidelines and standards // Federal register. 1974. Vol. 39. № 32. P. 5701–5710.
3. Water quality management and nonpoint sources of pollution // Federal register. 1976. № 672. P. 1–5.
4. Gires F. EPA proposes regulations for feeder operation // Feedstuffs. 1975. Vol. 47. № 48. P. 6.
5. Асонов А. М., Ильясов О. Р. Водные ресурсы и проблема поверхностного стока // Транспорт Урала. 2004. № 2. С. 20–30.
6. Неверова О. П., Ильясов О. Р., Зуева Г. В., Шаравьев П. В. Современные методы утилизации навозосодержащих и сточных вод. // Аграрный вестник Урала. 2015. № 1. С. 86–90.
7. Ильясов О. Р. Биозащита водоисточников на сельскохозяйственных водосборах от загрязнения стоками птицеводческих предприятий : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2004.

8. Судаков В. Г., Ильясов О. Р. Очистка пометсодержащих стоков птицеводческих комплексов // Зоотехния. 2005. № 6. С. 27–30.
9. Судаков В. Г., Ильясов О. Р. Поверхностные стоки птицеводческих предприятий // Ветеринария. 2004. № 10. С. 39–42.
10. Булатов Р. В. Стратегия охраны подземных вод : дис. ... д-ра с.-х. наук. Свердловск, 1989.
11. Ездакова Л. А. Геохимическая экология растений р. Зарафшан в связи с различным содержанием лития : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Л., 1973. 48 с.
12. Барбер С. А. Поступление питательных веществ из почвы в корни растений // Физиология и биохимия культурных растений. 1978. № 3. С. 209–217.
13. Петрунина Н. С., Ермаков В. В., Дегтярева О. В. Геохимическая экология растений в условиях полиметаллических биогеохимических провинций // Труды биогеохимической лаборатории РАН. 1999. Т. 23. С. 226–253.
14. Вахмистров Д. Б. Современные представления о механизмах поглощения корнями растений // Агрохимия. 1966. № 11. С. 130–146.
15. Ратнер Е. И. Питание растений и жизнедеятельность их корневых систем. М., 1958. 86 с.
16. Pig muck gens the treatment // Farmer Weekly. 1975. № 14.
17. Pollution – a problem that affects everyone // Farmer Weekly. 1977. Vol. 36. № 14.
18. Ambergtr A. Belastung und Entlastung der Oberfluchenfewater durch Landwirtschaft // Landwirtschaftliche Forschung. 1972. № 25. P. 13–24.
19. Blendi von H. Unweltschnik und Flussigmist – welch vorschriften bringh dil VDI- Richtinie // Landtechnik. 1976. № 31. P. 2.
20. Descamps J. Le point sur le reglamentation applicable aux batiments d'elevage // Entreprises agricole. 1977. № 88. P. 11–14.
21. Steffen G. Beteriebwirtschaftliche Auswirkung der Umweltschutzes bei Geflugel und Schweinen // Deutsche Geflugelwirtschaft und Schwieneproduktion. 1975. Vol. 27. № 36. P. 898–902.
22. Berglund S. Intensive animal production and interaction with human society in Sweeden // Livestock Production Science. 1974. Vol. 1. № 2. P. 207–215.
23. Joil P. Wastes around the world // Environment. 1977. Vol. 19. № 7. P. 32–37.
24. Ceha M. Zoohigichicze zalozca fagczrej utylizacji odchodow rwiezlcyh // Pizeglad Hodowlahy. 1976. Vol. 44. № 6. P. 13–15.
25. Гришаев М. Д. Ветеринарно-санитарные мероприятия при использовании стоков животноводческих ферм // Комплексное использование водных ресурсов : экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. М., 1975. Сер. 4, Вып. 9. С. 30–39.

References

1. Feedlots point category. Washington : U.S. EPA, 1974. 310 p.
2. Feedlots point category: effluent quidelines and standards // Federal register. 1974. Vol. 39. № 32. P. 5701–5710.
3. Water quality management and nonpoint sources of pollution // Federal register. 1976. № 672. P. 1–5.
4. Gires F. EPA proposes regulations for feeder operation // Feedstuffs. 1975. Vol. 47. № 48. P. 6.
5. Asonov A. M., Ilyasov O. R. Water resources and problem of a superficial drain // Transport of the Urals. 2004. № 2. P. 20–30.
6. Neverova O. P., Ilyasov O. R., Zueva G. V., Sharavyev P. V. Modern methods of utilization of waste water containing manure // Agrarian Bulletin of the Urals. 2015. № 1. P. 86–90.
7. Ilyasov O. R. Biological protection of water sources in agricultural reservoirs from pollution by drains of the poultry-farming entities : abstract of dis. dr. of biol. sciences. Ekaterinburg, 2004.
8. Sudakov V. G., Ilyasov O. R. Cleaning of poultry litter drains in poultry-farming complexes // Animal husbandry. 2005. № 6. P. 27–30.
9. Sudakov V. G., Ilyasov O. R. Superficial drains of the poultry-farming entities // Veterinary science. 2004. № 10. P. 39–42.
10. Bulatov P. B. Strategy of protection of underground waters : dis. ... dr. of agr. sciences. Sverdlovsk, 1989.
11. Ezdakova L. A. Geochemical plant ecology of river Zarafshan in connection with various content of lithium : abstract of dis ... dr. of biol. sciences. L., 1973. 48 p.
12. Barber S. A. Intake of nutrients from the soil in roots of plants // Physiology and biochemistry of cultural plants. 1978. № 3. P. 209–217.
13. Petrunina N. S., Ermakov V. V., Degtyarev O. V. Geochemical plant ecology in the conditions of polymetallic biogeochemical provinces // Works of biogeochemical laboratory RAS. 1999. Vol. 23. P. 226–253.

14. Vakhmistrov D. B. Modern ideas of absorption mechanisms roots of plants // Agrochemistry. 1966. № 11. P. 130–146.
15. Ratner E. I. Food of plants and activity of their root systems // XVI Timiryazevsky readings : proc. of sc. and pract. symp. M., 1958. 86 p.
16. Pig muck gens the treatment // Farmer Weekly. 1975. № 14.
17. Pollution – a problem that affects everyone // Farmer Weekly. 1977. Vol. 36. № 14.
18. Ambergtr A. Belastung und Entlastung der Oberfluchenfewasser durch Landwirtschaft // Landwirtschaftliche Forschung. 1972. № 25. P. 13–24.
19. Blendi von H. Unweltschnik und Flussigmist – welch vorschriften bringh dil VDI-Richtinie // Landtechnik. 1976. № 31. P. 2.
20. Descamps J. Le point sur le reglamentation appliable aux batiments d'elevage // Entreprises agricole. 1977. № 88. P. 11–14.
21. Steffen G. Beteriebwirtschaftliche Auswikung der Umweltschutzes bei Geflugel und Schweinen // Deutsche Geflugelwirtschaft und Schwieneproduktion. 1975. Vol. 27. № 36. P. 898–902.
22. Berglund S. Intensive animal production and interaction with human society in Sweeden // Livestock Production Science. 1974. Vol. 1. № 2. P. 207–215.
23. Joil P. Wastes around the world // Environment. 1977. Vol. 19. № 7. P. 32–37.
24. Ceha M. Zoohigichicze zalozcia fagczrej utylizacji odchodow rwiezlcyh // Pizeglad Hodowlahy. 1976. Vol. 44. № 6. P. 13–15.
25. Grishayev M. D. Veterinary and sanitary actions when using drains of livestock farms // Complex use of water resources : express information of CBSTI of Minvodkhoz of the USSR. M., 1975. Ser. 4. Issue 9. P. 30–39.