

**Серия публикаций EcoSanRes**

**Отчет 2004 - 2**

**Руководство по утилизации урины и фекалий в производстве сельскохозяйственных культур.**

Хакан Джонсон (Håkan Jönsson), Анна Ричерт Штинтзинг (Anna Richert Stintzing), Бьёрн Виннерас (Björn Vinnerås), Ева Саломон (Eva Salomon)

Хакан Джонсон  
Шведский Университет Сельскохозяйственных Наук– SLU

Анна Ричерт Штинтзинг  
VERNA Ecology, Inc

Бьёрн Виннерас  
Шведский Университет Сельскохозяйственных Наук– SLU

Ева Саломон  
Шведский Институт Сельскохозяйственной и Экологической Инженеринга (JTI)

**СТОКГОЛЬМСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

## Программа EcoSanRes

Стокгольмский Институт Окружающей Среды  
Лилла Нигатан (Lilla Nygatan) 1  
п/я 2142  
SE-103 14 Стокгольм, Швеция  
Тел.: +46 8 412 1400  
Факс: +46 8 723 0348  
[postmaster@sei.se](mailto:postmaster@sei.se)  
[www.sei.se](http://www.sei.se)  
Данная публикация доступна на сайте  
[www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org)

Контакты - Стокгольмский институт окружающей среды (SEI)  
Директор отдела по связям SEI: Арно Роземарин (Arno Rosemarin)  
Менеджер редакционного отдела: Эрик Уиллис (Erik Willis)  
Вёрстка: Лизетта Триподи (Lisetta Tripodi)  
Ответственный за веб-сайт: Говард Кембридж (Howard Cambridge)

*Авторское право 2004г.  
Программа EcoSanRes  
и Стокгольмский институт окружающей среды*

*Данная публикация может быть переиздана полностью или частично в любой форме для образовательных и некоммерческих целей без получения специального разрешения от владельца(ев) авторского права, если получено авторское подтверждение. Нельзя использовать данную публикацию для продажи или для других коммерческих целей без письменного разрешения владельца(ев) авторского права.*

ISBN 91 88714 94 2

# Содержание

Предисловие

Краткое содержание руководства

Условия необходимые для роста и развития растений

Макронутриенты

Микронутриенты

Урожайность и утилизация ресурсов

Нутриенты в экскрементах

Массовый баланс нутриентов

Содержание макронутриентов в экскрементах

Содержание тяжелых металлов и загрязняющих веществ в экскрементах

Состав и пригодность нутриентов, содержащихся в моче, для растений

Состав и пригодность нутриентов, содержащихся в фекалиях, для растений

Гигиеническая обработка мочи и фекалий – воздействие на нутриенты растений

Первичная и вторичная обработки

Первичная обработка

Моча

Фекалии – высушивание с использованием добавок

Вторичная обработка

Моча

Фекалии

Фекалии - сжигание

Фекалии – компостирование

Фекалии – хранение

Фекалии – распад

Фекалии – химическое обеззараживание

Рекомендации по утилизации мочи и фекалий в процессе выращивания культур

Моча

Общие понятия

Удобрительный эффект мочи

Разбавление

Время применения

Хранение в почве

Техника применения

Дозировка применения

Опыт

Фекалии

Общие понятия

Удобрительный эффект

Время применения

Техника применения

Доза применения

Опыт

Заключительные рекомендации

Экскременты, общие рекомендации

Моча

Фекалии

## Пробелы в знаниях

### Адаптация данного руководства к местным условиям

## Литература

## Рисунки и таблицы

- Рисунок 1. Факторы, ограничивающие рост и развитие растений
- Рисунок 2. Влияние увеличения дозы применения усваиваемого N
- Рисунок 3. Размер корней овощных культур
- Рисунок 4. Внесение урины легко производится с помощью обычной лейки. Овощи удобряются уриной
- Рисунок 5. Ягоды и розы, удобренные (уриной) мочой
- Рисунок 6. Внесение урины перед посевом ячменя
- Рисунок 7. Полевые испытания с использованием урины как удобрения для лука-порей
- Рисунок 8. Шпинат не удобренный и удобренный
- Рисунок 9. Дерево манго, удобряемое фекалиями при посадке и дозами урины регулярно в течение растительного сезона
- Рисунок 10. Лук не удобренный и выращенный на смеси 50% бедной песчаной почвы и 50% компоста Фосса альтерна (Fossa alterna)
- Рисунок 11. Фруктовые деревья, растущие в ямах Арбор Лу в Малави. Арбор Лу показан на заднем плане
- Таблица 1. Предлагаемые новые шведские стандарты по массе экскрементов и нутриентов
- Таблица 2. снабжение продовольствием (прямой эквивалент урожая) в различных странах в 2000 году
- Таблица 3. Рассчитанное количество выделенных нутриентов, (кг/чел., год) в различных странах
- Таблица 4. Концентрация тяжелых металлов (меди, цинка, хрома, никеля, свинца и калия) в моче, фекалиях, в смеси урина+фекалии и в отдельно взятых отходах из кухонь в сравнении с навозом
- Таблица 5. Анализ компостированного гумуса из Фосса альтерна и гумуса Скилу (Skyloo) в сравнении с гумусом из различных почв
- Таблица 6. Количество N, P и K (кг/га), выносимое на метрическую тонну съедобной фракции для различных культур
- Таблица 7. Результаты полевых испытаний с использованием человеческой урины как удобрения для лука-порей
- Таблица 8. Средние урожаи (граммы влажный вес) в испытаниях с уриной как удобрения для овощей в Зимбабве
- Таблица 9. Средние урожаи (граммы влажный вес) в сравнительных испытаниях на растениях, растущих только на поверхностных почвах, по сравнению с теми, которые выращены на смеси состоящей из 50% поверхностной почвы и 50% из компоста Фосса альтерна

## Предисловие

Рекомендации данного руководства основаны на современных знаниях по утилизации урины и фекалий в процессе выращивания культур как в малых, так и в крупных объемах. До сих пор, использование урины и фекалий в мире ограничено. Таким образом, настоящие рекомендации основаны не только на нашем собственном опыте и опыте других людей, документированном в научных журналах, но также и на большей части данных по похожим видам удобрений, например компосту и остаточному илу от биологического разложения твердых отходов. Опыт, полученный из многих релевантных и претенциозных экспериментов по всему миру, хотя и неопубликованных и непроверенных, также дал информацию для данных рекомендаций.

Мы хотим отметить успешно проведенные многочисленные эксперименты Питером Морганом (Peter Morgan), Аквамор (Aquamor), Зимбабве. Мы благодарны Питеру не только за то, что он поделился результатами этих экспериментов, но также и за помощь в оформлении текста, за доводы, убедившие нас, и за предоставление некоторых сделанных им фотографий. В дополнение к этому, мы весьма благодарны ему за плодотворные дискуссии (в основном по электронной почте), в которых он поделился своими личными взглядами, сформировавшимися в ходе его исследований по разработке экологической санитарной системы.

Мы также выражаем глубокую благодарность всем остальным экспертам, членам нашей информационной группы: Джордж Анна Кларк (George Anna Clark) (Мексика), Сидики Габриэль Дембеле (Sidiki Gabriel Dembele) (Мали), Ян Олоф Дрангерт (Jan Olof Drangert) (Швеция), Гундер Эдстрём (Gunder Edström) и Алмаз Терере (Almaz Terefe) (Эфиопия), Бекитемба Гумбо (Bekithemba Gumbo) (Зимбабве/Южная Африка), Ли Гуоксue (Li Guoxue) (Китай), Эдвард Гужа (Edward Guzha) (Зимбабве), Ватана Пинсем (Watana Pinsem) (Тайланд), Каролина Шённинг (Caroline Schönning) (Швеция) и Лиао Зонгвен (Liao Zongwen) (Китай).

Мари МакАфи (Mary McAfee) в течение короткого времени всесторонне проверила версию данного руководства на английском языке, за что мы выражаем ей глубокую благодарность.

Рекомендации данного руководства были разработаны и профинансированы EcoSanRes, международной программой развития и охраны окружающей среды по экологической санитарной системе, финансируемой Sida, Шведским международным агентством по сотрудничеству и развитию.

## Краткое содержание руководства

Рекомендации по сельскохозяйственному использованию экскрементов основано на знании о нутриентах содержащихся в них, количества экскрементов, состава и пригодности удобрения для растений и обработки экскрементов, которая влияет на их качество. Взаимосвязи и данные, которые могут составить основу для адаптации данного руководства к местным условиям, приводятся в тексте. Моча (урина) и фекалии полностью являются высококачественными удобрениями с низким уровнем загрязниоорганизмией таких как тяжелые металлы. Моча богата азотом, тогда как фекалии богаты фосфором кальцием и органическим веществом. Количество нутриентов зависит от их количества в потребленной пище. В тексте предоставлены уравнения для вычисления азота и фосфора, содержащихся в экскрементах. Уравнения основаны на легкодоступной статистике по обеспечению пищевым белком.

Экскременты следует содержать и обрабатывать согласно гигиеническому руководству (Шённинг и Штенштрём, 2004 г.) прежде, чем использовать их на полях. Специальные рекомендации по использованию мочи и фекалий в культивации должны основываться на местных рекомендациях по применению сельхоз удобрений. Дозы применения коммерческих минеральных азотных удобрений (мочевины или аммония), если это приемлемо могут служить основой для рекомендаций по использованию мочи. Перед использованием таких рекомендаций для мочи, концентрация азота (N) в ней в идеале должна быть проанализирована. В противном случае она может быть рассчитана как 3-7 г N на литр. Если никаких местных рекомендаций не получено, надежным правилом является применять мочу выделяемую одним человеком в день (24 часа) на одном квадратном метре земли в период сезона развития растений. Если моча собирается полностью, то площадь для внесения азота (N) при разумных дозах, составит 300-400 м<sup>2</sup> в год на человека. Для большинства культур, максимальная доза внесения, до наступления риска токсического эффекта, по крайней мере, в четыре раза больше этой дозы. Моча также содержит большое количество фосфора, и ее достаточно для удобрения 600 м<sup>2</sup> под с/х культуры на человека в период развития растений, если доза выбрана так, чтобы возместить выносимый из почвы фосфор, как это было описано выше для фекалий.

Урина может вноситься в чистом или разбавленном виде. Однако ее применение должно всегда основываться на рассчитанной дозе внесения нутриентов и любая потенциальная потребность в дополнительном поливе должна осуществляться простой водой, а не разбавленной мочой. Для избегания неприятного запаха, потери аммония и ожогов листьев, моча должна вноситься вблизи поверхности почвы и как можно быстрее перемешиваться.

Урина является быстродействующим удобрением, нутриенты которой усваиваются наилучшим образом если она вносится непосредственно перед посадкой и в течение двух третей периода между посадкой и уборкой урожая. Наибольший эффект удобрения достигается если урина и фекалии используются в сочетании друг с другом но не обязательно в один и тот же год и на одной и той же площади. Количество урины необходимое для применения может вноситься в одной большой дозе или в нескольких меньших дозах, и в большинстве случаев общее количество внесенной урины равно той же самой общей дозе внесения.

Для фекалий, доза внесения может основываться на местных рекомендациях по использованию фосфорных удобрений. Это дает низкую дозу применения, и улучшения, полученные благодаря применению органических веществ, трудно переоценить. Однако фекалии часто применяются в гораздо больших дозах, при которых структура и водоудерживающее свойство почвы также визуально улучшаются как результат увеличения количества их органического материала. Как и органический материал, так и зола часто добавляются в фекалии и они улучшают буферное свойство и рН почвы, что особенно важно для почв с низким уровнем рН. Таким образом, в зависимости от применяемой стратегии, фекалий от одного человека достаточно для удобрения 1,5- 300 м<sup>2</sup>, в зависимости от содержания в них органического материала или фосфора. Фекалии должны вноситься и перемешиваться с почвой до начала культивации (с/х работ). Местное применение, в ямах или

бороздах вблизи планируемых посадок растений - один из способов экономии этого ценного материала.

Данное руководство было разработано в рамках EcoSanRes, международной сети по экологической экспертизе санитарно-канализационных систем, учрежденной Sida, Шведской Международной Кооперацией Развития.

## Условия необходимые для роста и развития растений

Условия необходимые для роста и развития растений включают свет, воду, строение корней и нутриенты. Факторы, ограничивающие рост и развитие растений могут быть проиллюстрированы (Рисунок 1). Когда снабжение наиболее сдерживающего фактора увеличивается, тогда другие факторы роста становятся лимитирующими факторами. Если сдерживающими факторами, кроме нутриентов, являются другие факторы роста, например вода, свет, уровень pH, засоленность, освещенность или температура, тогда большее внесение питательных веществ не будет увеличивать урожайность.

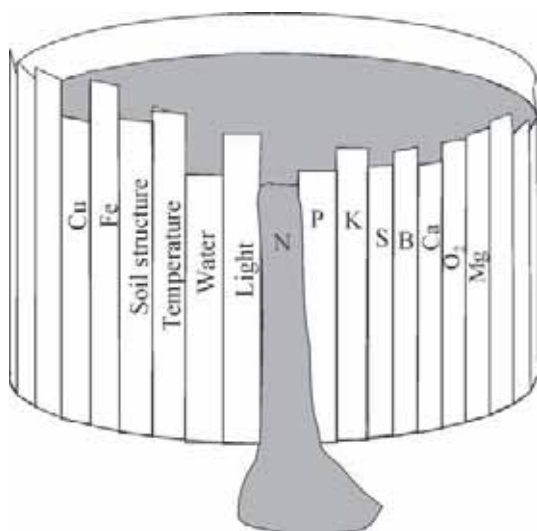


Рисунок 1. Факторы, ограничивающие рост и развития растения, можно представить в виде боковых планок бадьи (емкости) и уровень урожайности предположить как наивысший уровень, которого достигает жидкость прежде, чем вылиться через край. Если наиболее лимитирующий фактор улучшен, например, путем добавки азота, тогда другой фактор будет ограничивать урожайность на более высоком уровне.

(Soil structure – Структура почвы, Temperature - Температура, Water - Вода, Light – Свет)

### МАКРОНУТРИЕНТЫ

Элементы жизненно важные для роста и развития растений называются нутриентами. Элементы, используемые в наибольших количествах, являются не минеральными элементами, такими как углерод, водород и кислород. Эти элементы в основном усваиваются как двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ) из воздуха и корнями из воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Увеличение обеспеченности светом, углекислым газом, водой и минеральными нутриентами при их дефиците, увеличивает скорость роста и урожайность культур.

Нутриенты могут быть разделены на две категории: макроэлементы и микроэлементы. Потребность в макроэлементах примерно в 100 раз больше чем в микроэлементах. Шесть элементов, классифицируемых в норме как макроэлементы, - это азот (N), фосфор (P), калий (K), сера (S), кальций (Ca) и магний (Mg). Эти элементы в основном усваиваются из почвы корнями в ионной форме.

N - часто является наиболее лимитирующим элементом для роста и развития растений, и

использование N обычно больше, чем использование остальных макро- и микро-элементов вместе взятых. N усваивается растениями в виде ионов нитрата ( $\text{NO}_3^-$ ) и аммония ( $\text{NH}_4^+$ ). Основным источником N усваиваемого растениями является деградация в почве органического материала и фиксация азота микроорганизмами, живущими в симбиозе с корнями бобовых.

P усваивается растениями в виде ионов фосфата (при уровне pH 5-7 в основном как  $\text{HPO}_4^{2-}$  и  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Естественное снабжение усваиваемого растениями P идет от растворения растворимых фосфатов в почве и от минерализации органического материала.

Высокая растворимость K в воде часто выражается в хорошем обеспечении усваиваемого растениями K. Однако, многие культуры, такие как овощи, нуждаются в большом количестве K и поэтому дополнительное внесение K-удобрений, может улучшить рост и развитие растений. S также хорошо растворима в воде и большинство культур нуждаются в ней в некоторой степени меньше, чем в P. Ежегодное внесение S часто является необходимым.

## **МИКРОНУТРИЕНТЫ**

Микроэлементы также жизненно важны для роста и развития растений, как и макроэлементы, но они усваиваются в малых (микро) количествах. Элементы, в норме рассматриваемые как микроэлементы, - это бор, медь, железо, хлор, магний, молибден и цинк (Фраусто да Сильва (Frausto da Silva) и Вильямс (Williams), 1997 г.; Маршнер (Marschner), 1997 г.). Большинство микроэлементов необходимо для образования различных ферментов. Эти нутриенты в норме доступны в достаточном количестве в начальном составе почвы и при минерализации органического материала. Только при особых обстоятельствах их дефицит ограничивает рост и развитие растений. Когда человеческие экскременты используются в качестве удобрений, риск такого дефицита минимален, так как экскременты содержат все микроэлементы необходимые для роста и развития растений.

## **УРОЖАЙНОСТЬ И УТИЛИЗАЦИЯ РЕСУРСОВ**

Удобрение повышает урожайность культур, только если обеспечение растений нутриентами является одним из наиболее лимитирующих факторов (Рисунок 1). Не следует ожидать повышения урожайности, когда удобряемые культуры в основном лимитированы другими факторами, чем обеспечение нутриентами например, отсутствие поливной воды, очень высокий или очень низкий показатель pH, и т.п. Для наибольшей эффективности важно, чтобы экскременты использовались наиболее эффективным способом, и это зависит от количества усвоенных нутриентов в отношении к используемой площади, и потребности в удобрениях на единицу площади.

Имеется удовлетворительная зона для усвоения всего потенциала питательных компонентов если общее количество вносимого усваиваемого растениями N выше уровня A на рисунке 2, который является уровнем, до которого урожайность повышается линейно с увеличением вносимых удобрений. Уровень A различается у различных культур по регионам и по климатическим зонам. Если этот уровень неизвестен, тогда внесение мочи, собранной от одного человека, в сутки на один квадратный метр (приблизительно  $1,5$  литра мочи/ $\text{м}^2$  в период вегетации) может использоваться как верное правило. Это соответствует внесению приблизительно 40-110 кг N/га.

Если площадь не является лимитирующим фактором, полный удобряющий эффект от внесения мочи можно легко получить даже если моча вносится в разных дозах в разных местах, до тех пор пока доза во всех местах выше уровня A (Рисунок 2).

Наибольшая удобряющая эффективность, когда зона до того ограничена, что общая доза должна быть выше уровня A, достигается применением такой дозы, которая выше даже для всей пригодной площади, если все культуры имеют одинаковую потребность в N. Урожайность повышается, когда вносимые дозы увеличиваются от уровня A до уровня B (Рисунок 2). Однако важны как качество, так



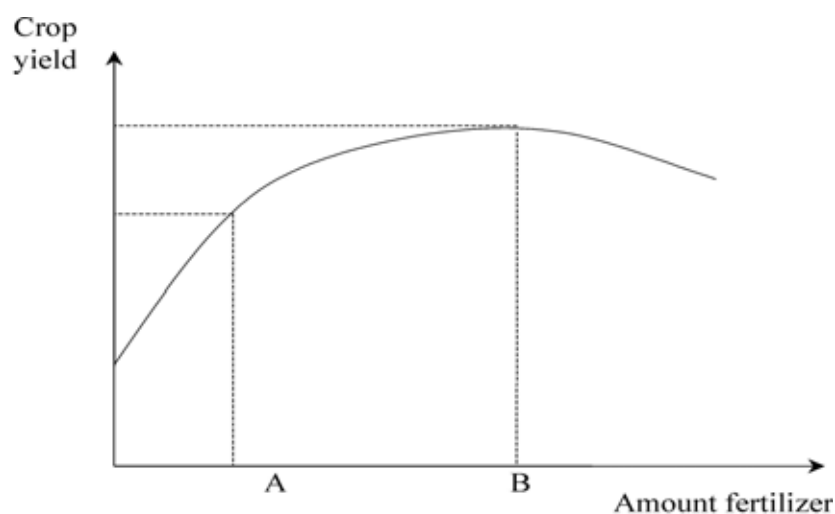


Рисунок 2. Влияние увеличения дозы применения усваиваемого N, например, из мочи. До уровня А увеличение урожайности находится в прямой зависимости от внесенной мочи. Между уровнем А и уровнем В урожайность все еще увеличивается с увеличением внесения удобрения, однако медленнее. Выше уровня В дополнительное внесение удобрения становится токсичным и урожайность снижается с увеличением вносимой дозы. (Crop yield - Урожайность, Amount fertilizer - Количество удобрения)

и количество урожая, и в то же время высокий уровень доступного N может также повлиять на качество как положительно, так и отрицательно. Например, качество урожая пшеницы в основном улучшается большими дозами N, тогда как качество, например, ирландского картофеля, может снизиться, так как клубни могут стать водянистыми. Однако, здесь важно правильное по времени внесение, так как усвоение питательных компонентов у большинства культур снижается после вступления растений в генеративную фазу, такую как образование початков у кукурузы.

Если недостаточно информации относительно уровня В, тогда для надежности правильно будет использовать показатель уровня А помноженный на четыре, т.е. вносить урину, собираемую от одного человека, в сутки на площадь  $0,25\text{m}^2$ , что приблизительно соответствует внесению 160-440 кг N/га.

Даже если площадь строго ограничена, суммарная доза не должна превышать уровень В, выше которого дополнительное внесение N (например, мочи) становится токсичным. То количество мочи, которое не может быть утилизировано в качестве удобрения, может использоваться каким либо другим способом, например как агент, ускоряющий процесс компостирования. При использовании мочи, таким образом большая часть N теряется, однако другие питательные компоненты остаются в компосте и таким образом становятся доступными для растений.

## Нутриенты в экскрементах

### МАССОВЫЙ БАЛАНС НУТРИЕНТОВ

Масса не возникает и не уничтожается, кроме как в ядерных реакциях, и этот факт является основой устойчивой цепочки растительных нутриентов. Такие цепочки существуют в природе, и одним из примеров является африканская саванна, в которой циркуляция растительных питательных компонентов между растениями и животными существует столь долго, что у жирафа было время для

развитая его длинной шеи! Вместе с экологической санитарно-канализационной системой мы стараемся создать цепочки нутриентов в городских сообществах таких же устойчивых, как и те, которые имеются в окружающей природе.

Потребленные растительные нутриенты выходят из организма человека вместе с экскрементами, когда организм достигает полного развития. Пока организм развивается некоторые нутриенты отбираются и интегрируются в ткани тела, N накапливается в белках, P - в основном в костях и мускулах и K - главным образом в нервах и мускулах. Однако, только малая часть питательных компонентов возвращается в организм, даже когда дети и юноши быстро растут. Согласно расчетам, сделанным по общей диете и весу шведских детей в возрасте от 2 до 17 лет (Беккер (Becker), 1994 г.), а также по составу человеческого организма (Гарроу (Garrow), 1993 г.), возврат этих элементов в растущие организмы детей в течение этого периода приблизительно составляет 2%, 6% и 0,6 % для N, P и K соответственно.

Как только скелет и мускулы человека достигают зрелых размеров, больше никаких растительных нутриентов не возвращается и не накапливается в организме. Таким образом, количество нутриентов выделяемых действительно равно количеству поглощенных. Это имеет три важных применения: 1) количество выделяемых растительных нутриентов может быть рассчитано по потребленной пище, по которой данные можно получить точнее и легче, чем по экскрементам; 2) если экскременты и биоотходы, также как навоз и растительные остатки, повторно используются, тогда плодородие пахотных земель может быть восстановлено, так как повторно используемые продукты содержат то же самое количество растительных питательных компонентов, которые были забраны растениями; 3) различия в компостировании экскрементов между различными регионами отражают различия в усвоенных потребленных культурах и таким образом необходимо восстанавливать плодородие почвы для снабжения растений питательными компонентами. Вне зависимости от количества и концентрации в экскрементах питательных компонентов, необходимых растениям, предлагается одна важная рекомендация - постараться вносить удобрения из экскрементов на площади равной той, которая пошла на производство пищи.

## СОДЕРЖАНИЕ МАКРОНУТРИЕНТОВ В ЭКСКРЕМЕНТАХ

Имеется только несколько методов измерения количества и состава человеческих экскрементов и поэтому существует необходимость в методе расчета состава экскрементов по легко получаемым данным. Такой метод, который использует Организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства, ФАО (FAO) для сбора статистических данных на основании доступных на сайте [www.fao.org](http://www.fao.org) по обеспечению пищевыми продуктами в различных странах, был разработан Джонсон (Jönsson) и Виннерас (2004 г.). Этот метод использует уравнения, выведенные на основании статистических данных (ФАО) и вычисления общего количества экскрементов населения Швеции (Таблица 1), в которых сделаны масштабные подсчеты по экскрементам.

Таблица 1. Предлагаемые новые шведские стандарты по массе экскрементов и питательных компонентов (Виннерас, 2002 г.)

Параметры	Единица измерения	Урина	Фекалии	Туалетная бумага	Сливные воды (моча + фекалии)
Влажная масса	кг/чел, в год	550	51	8,9	610
Сухая масса	кг/чел, в год	21	11	8,5	40,5
Азот	кг/чел, в год	4000	550		4550
Фосфор	кг/чел, в год	365	183		548

На основе подсчета общего количества экскрементов согласно данным по поставленным населению Швеции продуктам и по статистике ФАО и на основе статистического анализа различных продуктов питания взаимосвязь (Уравнения 1-2) установлена между поставленными продуктами питания и

выделением N и P .

$N = 0,13 \cdot \text{Общий пищевой белок}$

*Уравнение 1*

$P = 0,011 \cdot (\text{Общий пищевой белок} + \text{растительный пищевой белок})$  *Уравнение 2*

В уравнениях 1-2 даны единицы измерения для N и P, такие же как и для пищевого белка. Как показано в уравнении, имеется строгая положительная корреляция между содержанием белка и фосфора в продовольственных товарах. Более того, растительные продовольственные товары содержат в целом в два раза больше фосфора на грамм белка, чем продовольственные товары животного происхождения, потому что растительный белок учитывается дважды в Уравнении 2.

Эти уравнения полезны для расчета общего количества выделяемого N и P в различных странах. Основанием для таких расчетов являются статистические данные ФАО по снабжению продовольствием, представленные на веб-страничке ФАО под названием «Данные по питанию населения - Продовольственное обеспечение - Прямой эквивалент урожая». Примеры использованных данных и результаты таких расчетов для нескольких стран даны в Таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Снабжение продовольствием (прямой эквивалент урожая) в различных странах в 2000 году (ФАО, 2003 г.).

Страна	Суммарная энергия, Ккал/чел., сутки	Вегетативная энергия Ккал/чел., сутки	Общий белок г/чел., сутки	Растительный белок, г/чел., сутки
Китай, Азия	3029	2446	86	56
Гаити, Западная Индия	2056	1923	45	37
Индия, Азия	2428	2234	57	47
Южная Африка, Африка	2886	2516	74	48
Уганда, Восточная Африка	2359	2218	55	45

Таблица 3. Рассчитанное количество выделенных питательных компонентов одним человеком в различных странах (Джонсон и Виннерас, 2004 г.).

Страна		Азот кг/чел, год	Фосфор кг/чел, год	Калий кг/чел, год
Китай, сумма		4,0	0,6	1,8
	Моча	3,5	0,4	1,3
	Фекалии	0,5	0,2	0,5
Гаити, сумма		2,1	0,3	1,2
	Моча	1,9	0,2	0,9
	Фекалии	0,3	0,1	0,3
Индия, сумма		2,7	0,4	1,5
	Моча	2,3	0,3	1,1
	Фекалии	0,3	0,1	0,4
Южная Африка, сумма		3,4	0,5	1,6
	Моча	3,0	0,3	1,2
	Фекалии	0,4	0,2	0,4
Уганда, сумма		2,5	0,4	1,4
	Моча	2,2	0,3	1,0
	Фекалии	0,3	0,1	0,4

Эти расчеты предполагают, что разница между поставленным продовольствием и действительно употребленным, т.е. произведенные продовольственные отходы, находятся в относительно одинаковых количествах в разных странах. Это допущение подтверждается данными по Китаю. Общее количество экскрементов для Китая согласно сообщению Гао (Gao) и др. (2002 г.) было 4,4 кг N и 0,5 кг P в год на человека. Эти данные достаточно хорошо согласуются с рассчитанными данными, представленными в Таблице 3, учитывая как трудно проводить представленный подсчет экскрементов в больших популяциях.

В Таблице 3 суммарное количество экскрементов было разделено между уриной и фекалиями и для этого были использованы данные, полученные в Швеции. В Швеции приблизительно 88% выделяемого N и 67% выделяемого P обнаруживается в моче и остальное в фекалиях. Соотношение нутриентов между мочой и фекалиями зависит от того, насколько усвоен был рацион питания, так как усваиваемые компоненты включаются в метаболизм и выделяются вместе с мочой, тогда как не усваиваемые фракции выделяются вместе с фекалиями. Таким образом, в тех странах, в которых рацион менее усваиваемый, чем в Швеции, моча будет содержать чуть меньше, чем 88% выделенного N и 67% выделенного P. Например, данные по Китаю Гао и др. (2002 г.) показывают, что моча содержит приблизительно 70% выделенного N и 25-60% P. Для устранения неточности в подсчетах как соотносятся питательные компоненты, в особенности P, необходимо проводить больше измерений состава экскрементов в странах с менее усваиваемым рационом питания.

Усваивание также влияет на количество выделяемых фекалий. В Швеции это определено как 51 кг влажной массы (Виннерас, 2002 г.), в Китае определено как 115 кг/человека в год (Гао и др., 2002 г.) и в Кении до 190 кг/человека в год (Пиепер (Pieper), 1987 г.). Сухая масса фекалий в Швеции составляет около 11 кг, в Китае 22 кг/человека в год. Концентрация питательных компонентов вычислена из количества питательных компонентов в фекальном материале и ее массе.

Концентрация нутриентов в выделяемой моче зависит от количества нутриентов, которые были усвоены прежде, и количества жидкости, которая для взрослых в общем виде может быть рассчитана в пределах 0,8-1,5 литров на человека в сутки и для детей около половины этого количества (Лентнер (Lentner) и др., 1981 г.). Основываясь на эти и другие измерения, для Швеции предложено рассчитанное значение равное 1,5 л. на человека в сутки (550 л/чел. в год, Виннерас, 2002 г.), тогда как Гао и др. (2002) приводит для Китая значение 1,6 литров на человека в сутки ( 580 л/чел. в год).

Моча используется организмом как среда для баланса жидкости и соли, и поэтому количество мочи варьирует в зависимости от времени, человека и обстоятельств. Например, обильное потоотделение приводит к концентрированной моче, тогда как употребление большого количества жидкости разбавляет мочу. Таким образом, для определения дозировки мочи, вносимой как удобрение, предпочтительно вести расчеты, основываясь на количество людей и дней, затраченных на сбор, так как это дает более точное определение содержания питательных компонентов, чем ее объем.

## **СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЭКСКРЕМЕНТАХ**

Содержание тяжелых металлов и других загрязняющих веществ, таких как остатки пестицидов, в основном мало или очень мало в экскрементах, и зависит от их количества в потребленных продуктах. Моча отфильтровывается от крови в почках. Она содержит вещества, вовлеченные в метаболизм и поэтому уровень содержания тяжелых металлов в моче очень низкий (Джонсон и др., 1997 г.; Джонсон и др., 1999г.; Йохансон (Johansson) и др., 2001 г.; Виннерас, 2002г.; Палмквист (Palmquist) и др., 2004 г.). Содержание этих веществ выше в фекалиях по сравнению с мочой. Главная причина этого заключается в том что, фекалии состоят в основном из материала, не участвовавшего в метаболизме, и частично из материала, участвовавшего в нем. Основная часть микроэлементов и других тяжелых металлов проходят через кишечник не измененной (Фраусто да Сильва и Вильямс,

1997 г.). Даже так, концентрация загрязняющих веществ в фекалиях обычно ниже, чем в химических удобрениях (например, кадмия) и навозе (например, хрома и свинца) ( Таблица 4).

Таблица 4. Концентрация тяжелых металлов (меди, цинка, хрома, никеля, свинца и калия) в моче, фекалиях, в смеси моча+фекалии и в отдельно взятых отходах из кухонь в сравнении с навозом из натуральных скотоводческих хозяйств Швеции, как в  $\mu\text{г}/\text{кг}$  влажного веса и  $\text{мг}/\text{кг}$  Р (рассчитано по SEPA, 1999; Виннерас, 2002 г.)

	Единица измерения	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Моча	$\mu\text{г}/\text{кг}$ вв	67	30	7	5	1	0
Фекалии	$\mu\text{г}/\text{кг}$ вв	6667	65000	122	450	122	62
Смесь моча+фекалии	$\mu\text{г}/\text{кг}$ вв	716	6420	18	49	13	7
Отходы из кухонь	$\mu\text{г}/\text{кг}$ вв (влажный вес)	6837	8717	1706	1025	3425	34
Коровий навоз	$\mu\text{г}/\text{кг}$ вв	5220	26640	684	630	184	23
Моча	$\text{мг}/\text{кг}$ Р	101	45	10	7	2	1
Фекалии	$\text{мг}/\text{кг}$ Р	2186	21312	40	148	40	20
Смесь моча+фекалии	$\text{мг}/\text{кг}$ Р	797	7146	20	54	15	7
Отходы кухонь	$\text{мг}/\text{кг}$ Р	5279	6731	1317	791	2644	26
Коровий навоз	$\text{мг}/\text{кг}$ Р	3537	18049	463	427	124	16

Большая часть гормонов, продуцируемых нашим организмом, и лекарств, которые мы употребляем, выделяется вместе с мочой, однако резонно верить, что риск отрицательного влияния на количество и качество урожая не значителен. Все млекопитающие продуцируют гормоны и долгое время в течение эволюции они выделялись в окружающий грунт. Таким образом, растительность и почвенные микробы адаптировались и могут разрушать эти гормоны. Более того, количество гормонов в навозе домашних животных намного больше, чем их количество, найденное в моче. Таким образом, даже если теоретические расчеты, которые показали наличие риска экотоксичности эстрадиол (Амбджерг-Нильсен (Ambjerg-Nielsen) и др., 2004 г.) при тестировании на рыбах, то при использовании мочи эксперименты на удобрениях и эволюционная история четко показали, что здесь нет никакого реального риска.

Общепризнано, что большинство всех фармацевтических веществ получают из природных источников, даже если многие получены синтетически, они, таким образом, обнаруживаются и разрушаются в природной среде под воздействием различных микробов. Это установлено на обычном предприятии по переработке сточных вод, когда время очистки было увеличено от нескольких часов до нескольких дней. Моча и фекальные удобрения перемешивались в верхних слоях почвы, в которой было микробное сообщество такое же разнообразное и активное, как и на предприятии по очистке сточных вод, и вещества разрушались в этом слое в течение месяцев. Это значит, что имеется много времени для разрушения фармакологических веществ и риск, связанный с этим, невелик.

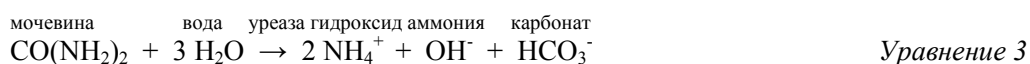
Таким образом, в отношении гормонов и фармакологических веществ кажется намного лучше повторно использовать мочу и фекалии на пахотных землях, чем сливать их в принимающие воды. Так как водная система никогда ранее не сталкивалась с гормонами млекопитающих в большом количестве, не удивительно, что половое развитие рыб и рептилий нарушается при воздействии сбросов сточных вод. Более того, период удерживания сточных вод на предприятиях по их переработке очень короток для разрушения многих фармацевтических препаратов, в то время как принимающие воды также соединены с водными источниками. Таким образом, не удивительно, что фармацевтические вещества обнаруживались десятилетиями, не только, например, в принимающих

водах Берлина, но и в источниках питьевой воды (Херберер (Herberer) и др., 1998 г.).

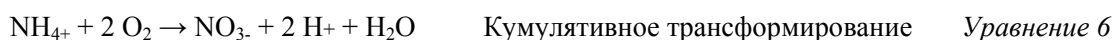
Имеется много показателей того, что возможный риск от фармакологических веществ в сельскохозяйственной системе невелик и намного меньше, чем риск, связанный с существующей системой. Одним из таких показателей является то, что во многих странах употребление населением фармакологических препаратов невелико по сравнению с потреблением их домашними животными, так как большинство коммерческих кормов содержит антибиотические субстанции, добавляемые для обеспечения роста и развития животных. Более того, количество употребляемых населением фармакологических субстанций невелико по сравнению с количеством пестицидов (инсектицидов, фунгицидов, бактерицидов и гербицидов), используемых в сельском хозяйстве, которые также биологически активны как и фармакологические субстанции.

### СОСТАВ И УСВОЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ ПИТАТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ УРИНЫ

Моча фильтруется почками и содержит только низкомолекулярные субстанции. В экскрементах уровень pH мочи в норме около 6, однако может варьировать между 4,5 и 8,2 (Лентнер и др., 1981 г.). 75-90% N выделяется в виде мочевины, а остальное - в виде аммония и креатинина (Лентнер и др., 1981 г.). В присутствии уреазы мочевины быстро разлагается до аммония и диоксида углерода (Уравнение 3) и ионы гидроксида обеспечивают увеличение уровня pH до 9-9,3. В норме уреазы накапливаются внутри трубопроводной системы и поэтому трансформация идет очень быстро, обычно в течение нескольких часов. (Виннерас и др., 1999 г.; Джонсон и др., 2000 г.).



Аммоний является великолепным N-удобрением и непосредственно усваивается растениями, что фактически подтверждается тем фактом, что мочевины (которая разлагается уреазой в почве до аммония) и аммоний являются двумя наиболее употребляемыми в мире N-удобрениями. Многие культуры предпочитают нитрат аммония, но это не является проблемой. Аммоний, применяемый на пахотных почвах, трансформируется за несколько дней в нитрат (Уравнения 4-6). В почвах с очень низкой микробной активностью эти изменения проходят дольше, т.к. они осуществляются микробами.



Усвоение растениями N мочи такое же как и усвоение мочевины или аммониевых удобрений. Это ожидаемый результат, так как 90-100% N в моче обнаруживается в виде мочевины и аммония. Результат подтвержден в экспериментах по исследованию удобрений (Кирчман и Петтерсон (Kirchmann & Pettersson), 1995 г.; Ричерт Стинтзинг и др., 2001 г.).

P в моче почти полностью (на 95-100%) неорганического характера и предположительно находится в виде фосфат ионов (Лентнер и др., 1981 г.). Эти ионы напрямую усваиваются растениями и поэтому не было неожиданностью то, что их усвоение растениями, по крайней мере, такое же как у фосфатов, получаемых химическим путем (Кирчман и Петтерсон, 1995 г.).

K выделяется в моче в виде ионов, которые напрямую усваиваются растениями. Это аналогично внесению химических удобрений и поэтому их эффект в качестве удобрения должен быть аналогичным.

S в основном выделяется в форме свободных сульфат ионов (Лентнер, 1981 г.; Кирчман и Петтерсон, 1995), которые напрямую усваиваются растениями. Это форма аналогична форме S в большинстве химических удобрений и таким образом эффект от применения S в моче должен быть аналогичен применению S в химических удобрениях.

## **СОСТАВ И ПРИГОДНОСТЬ ДЛЯ РАСТЕНИЙ НУТРИЕНТОВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В ФЕКАЛИЯХ**

Как показано выше, основная пропорция нутриентов обнаружена в моче, поскольку она содержит чрезвычайно низкий уровень заражения тяжелыми металлами. Фракция фекалий также содержит много относительно незараженных нутриентов. В сравнении с мочой, которая содержит водорастворимые нутриенты, фекалии содержат водорастворимые нутриенты и нутриенты, совмещенные в более крупных частицах, которые не растворяются в воде. Так примерно 50% азота N и большая часть K в фекалиях растворяются в воде (Бергер (Berger), 1960 г.; Тремолиерес (Trémolières) и др., 1961 г.; Гуйтон (Guyton), 1992; Фраусто да Сильва и Вильямс, 1997 г.). P - фосфор в основном обнаруживается в виде частиц фосфата кальция, только медленно растворимых в воде. Калий преимущественно находится в виде нерастворенных ионов.

Пригодность для растений нутриентов в составе фекалий меньше и их воздействие медленнее, чем нутриентов, содержащихся в моче. Это происходит из-за того, что основная пропорция фосфора P и большая пропорция азота N сосредотачивается в не распавшемся веществе и это вещество должно разрушиться в почве, чтобы стать пригодным для растений. Тем не менее, органический материал, который содержится в фекалиях, деградирует, и содержание органического фосфора и азота затем становится пригодным для растений. Фосфаты кальция также растворяются и становятся пригодными для растений, также как те фосфаты кальция, которые поставляются химическими удобрениями. Калий (K) в фекалиях присутствует в форме ионов, и становится непосредственно пригодным для растений. Это касается только азота, наличие которого в фекальных нутриентах значительно ниже, чем в химических удобрениях или моче. Высокая концентрация P, K и органического вещества в составе фекалий может дать обильное увеличение урожая, в особенности на неплодородных почвах. Органическое вещество способствует следующему: улучшению структуры почвы, увеличению возможности удержания воды и буферной мощности, и поддержанию почвенных микроорганизмов, служа источником энергии.

## **Гигиеническая обработка урины и фекалий – воздействие на нутриенты растений**

### **ПЕРВИЧНАЯ И ВТОРИЧНАЯ ОБРАБОТКИ**

Моча (урина) обычно поступает непосредственно из мочеотводящего туалета или писсуара в накопительный резервуар или контейнер. Гигиенические качества собранной мочи обычно очень высоки по сравнению с теми, что наблюдаются у фекалий. Гигиенический риск, связанный с разнообразной мочой, в основном возникает в результате заражения от фекалий, что возможно во многих системах.

Вторичная обработка нужна только в больших системах (системы, где моча собранная одной семьей используется для удобрения культур, потребляемых за пределами одной семьи), где удобрение вносится менее, чем за месяц до уборки урожая<sup>1</sup>. Раздельное хранение является наиболее

---

<sup>1</sup> Для более подробной информации см. руководство по гигиене (Шённинг и Штенштрём, 2004 г.).

используемым методом для вторичной обработки, так как он является простым и дешевым.

Фекалии нуждаются как в первичной, так и во вторичной обработке перед применением, даже если различие между этими обработками часто стирается. Первичная обработка проводится в течение сбора, и в безводных системах проводится ниже уровня туалета в течение сборного периода. Первичная обработка имеет несколько задач: а) снизить риск распространения запаха; б) снизить риск скопления мух; и в) снизить гигиенический риск, т.е. снизить количество потенциальных болезнетворных микроорганизмов в фекалиях. В безводных системах такая первичная обработка может состоять из добавления золы после каждой дефекации.

Вторичная обработка проводится, когда период сбора заканчивается, и может производиться непосредственно в туалете (в двухсекционном туалете) или в других местах. Основной задачей вторичной очистки является способствование тому, чтобы фекалии были гигиенически безопасны. Другой задачей является перевод фекальной смеси в состояние, когда она теряет запах и зрительно не столь отвратительна. Это значит, что в дальнейшем нельзя будет отличить частицы фекалий от туалетной бумаги. Важно, когда работа с фекалиями происходит вручную, но менее важно, когда речь идет о механизированном способе.

Существует несколько вариантов для вторичной обработки: компост, перевод в другое состояние, хранение, химическая обработка и сжигание. Термофильная обработка (компост, переработка, сжигание) распространяется на все материалы, позволяющие достичь достаточно высокую температуру на довольно долгий период времени в целях уничтожения патогенных инфекций. Временной диапазон может колебаться от секунд для сжигания, до дней или даже нескольких недель для получения термофильного компоста. Для достижения идентичного уровня санитарии другие виды обработки требуют больше времени, и гибель инфекции будет зависеть не только от температуры, но также и от многих других параметров, таких как влажность, уровень pH, и т.д.

Обработка влияет на состав и пригодность нутриентов фекалий для растений, и это воздействие меняется в рамках зависимости, возникающей между нутриентами и обработкой. N и S могут быть утеряны как газы,  $N_2$ ,  $SO_2$  и  $H_2S$ , могут исчезнуть в процессе некоторых видов обработки, но другие нутриенты остаются в обработанных продуктах.

## **Первичная обработка**

### *Урина*

Моча поступает в накопительную емкость из мочеотводящего туалета. Из-за накопления уреазы образуется сточный ил там, где моча оседает на время, другими словами задерживается в пределах туалета, в трубах и емкостях. Такой ил в большей степени состоит из струвита ( $MgNH_3PO_4$ ) и апатита ( $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ). Это происходит, поскольку уровень pH увеличивается до 9-9,3 из-за деградации урины до аммония (Уравнение 4) и при высоком pH первичные концентрации фосфата, магния, кальция и аммония больше не растворяются, но осаждаются. 30% фосфора, содержащегося в моче, обычно переходит в ил (Джонсон и др., 2000 г.; Удерт (Udert) и др., 2003 г.). Если трубы имеют наклон по меньшей мере 1% и достаточно широки (для горизонтальных труб  $\geq 75$  мм), ил течет в накопительный резервуар, где он формируется в осадочный слой. Это жидкость и может обрабатываться вместе с остальной мочой.

Предусмотрев, что ил обрабатывается и вторично используется вместе с остальной мочой, в данном случае количество и пригодность нутриентов не меняются. Концентрация P в этом осадочном иле может быть более, чем в два раза выше, чем в остальной моче. Таким образом, ил может быть утилизирован для культур с высокой потребностью в фосфоре и применяться вместе с остальной мочой. В последнем случае продукт удобрения предпочтительно должен быть перемешан до распространения на участках в целях получения равных доз.



Высокий уровень рН в моче, находящейся в накопительной емкости, обычно поднимающийся до 9-9,3, в совокупности с высокой концентрацией аммония означает, что имеется риск потери азота в форме аммиака с вентилируемым воздухом (Уравнения 7 и 8). Однако, потери легко устранимы, если сконструировать систему так, чтобы резервуар и трубы не вентилировались, но давление было уравненным. Это также устраняет риск распространения неприятного запаха, исходящего из системы. Моча быстро подвергается коррозии и поэтому резервуары должны быть изготовлены из сопротивляющегося материала, т.е. пластика или высококачественного цемента, в то время как металлы исключаются.

$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}$	<i>Уравнение 7</i>
$\text{NH}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{g})$	<i>Уравнение 8</i>

#### *Фекалии – высушивание с использованием добавок*

Наиболее распространенная первичная обработка фекалий предусматривает их сбор в вентилируемой камере часто с некоторыми добавками, такими как зола, известь или высушенная почва. Добавка должна быть сухой и обычно значительно суше, чем фекалии, которые при выделении имеют содержание сухого вещества около 20%, тогда как содержание сухого вещества в сухой почве и золе обычно составляет 85-100%. Таким образом, содержание сухого вещества в смеси гораздо выше, чем в фекалиях, даже если нет воздушного высушивания. Это увеличенное содержание сухого вещества снижает риск распространения запаха и скопления мух. Это также уменьшает количество некоторых болезнетворных микроорганизмов и этот эффект усиливается, если добавки имеют высокую концентрацию рН, как например, известь или зола. Риск скопления мух более эффективно снижается, если наполнитель применяется после каждой дефекации таким образом, что он покрывает поверхность всех свежих фекалий.

Добавки содержат различные нутриенты. Растительная зола богата К, Р и кальцием, и в почве тоже имеются эти же нутриенты. Названные нутриенты естественно пополняют общее содержание нутриентов в фекальной смеси.

Если зола или почва добавляются после каждого пользования туалетом, в таком случае фекалии быстро высыхают, так как влага переходит на сухие добавки и впитывается ими. Высокий уровень рН, содержащийся в золе и извести, в сочетании с быстрым снижением уровня влаги в фекалиях означает, что биологическая деградация незначительна, если добавки используются в достаточном количестве. Таким образом, потери органического вещества и N из фекальной смеси будут небольшими.

В процессе высушивания все нутриенты, за исключением N, и большей части органического вещества сохраняются. Некоторое количество азота теряется, так как аммиак, будучи легко деградирующим органическим веществом, также деградирует и теряется в виде двуокиси углерода и воды. Однако если процесс высушивания проходит быстро, то потери будут небольшими, так как последующая биологическая деградация замедляется и прекращается, когда уровень влажности снижается до низких показателей. В этом случае это является лишь частью органических веществ, растворимых в воде, и N, первоначально имевших 50% от общего количества N (Тремолиерес и др., 1961 г.), что может представлять риск их потери. Если процесс высушивания проходит медленнее, тогда биологическая деградация проходит более интенсивно и таким образом потери органических веществ и азота более ощутимы.

#### **Вторичная обработка**

*Урина*

Раздельное хранение - это простой и дешевый метод вторичной обработки мочи, такие же методы применяются с емкостями по ее хранению и сбору. Поскольку емкость имеет лишь уравненное давление и не вентилируется, потерь нутриентов не возникает и никаких изменений в их наличии не может произойти. Содержание Р осадочного ила – высокое, это может быть использовано для растений, нуждающихся в фосфоре, в противном случае осадочный ил должен быть смешан с остальным содержанием резервуара перед распространением для обеспечения равных доз.

Санитарная система, функционирующая при раздельном хранении мочи, не может быть надежной, если моча хранится совместно с фекалиями, так как фекалии увеличивают число болезнетворных микроорганизмов, а также буферную емкость почвы и органические вещества. Таким образом, смешивание с фекалиями одновременно увеличивает необходимость в наличии санитарной системы и снижает ее эффект до той степени, когда на нее нельзя положиться.

### *Фекалии*

В течение вторичной обработки нутриенты N и S могут быть утрачены. Важными факторами, влияющими на них, являются насыщение кислородом и деградация, которые возникают в процессе вторичной обработки.

#### *Фекалии - сжигание*

Сжигание - это процесс, требующий наличия кислорода, в процессе сжигания происходит распад органического вещества. Таким образом, если фекалии успешно и полностью сожжены, тогда практически теряются N и S вместе с испарившимся газом, в то время как P и K сохраняются в золе. Как и растительная зола, зола в процессе сжигания является концентрированной, и гигиеническое удобрение имеет высокую концентрацию P и K (фосфора и калия). В целях наилучшего использования этого концентрированного удобрения его следует аккуратно применять (см. секцию «Фекалии», подсекцию «Техника применения» ниже).

#### *Фекалии – компостирование*

##### *Термофильное компостирование*

Процесс получения термофильного компоста, как и сжигание, является кислородным процессом, который основывается на тепле, получаемом от распада органического вещества для достижения желаемой температуры, > 50°C, в течение нескольких дней в целях обеспечения безопасного снижения болезнетворных микроорганизмов. Требуется высокий уровень распада, для того, чтобы компост достиг высокой температуры. Деградация требует много кислорода и общий вес воздуха необходимого для процесса получения компоста обычно в несколько раз больше, чем в почве (субстрате) (Хауг (Haug), 1993). При успешном результате, pH субстрата увеличивается до 8-9, если даже первоначальный pH низкий (~5). Уровень pH увеличивается главным образом благодаря аммонии, образовавшемуся как органический N протеин деградируя. (Хауг, 1993 г.; Бекк-Фриис (Beck-Friis) и др., 2003 г.).

Сочетание аммония, высокой температуры, высокого содержания pH и высокой аэрации означает, что N в виде аммония будет потерян. Эти потери несколько снижаются, когда C/N-коэффициент субстрата увеличивается при использовании добавок с высоким углеродом, т.е. листьев, соломы или бумаги. Однако если C/N-коэффициент становится слишком высоким (>30-35), тогда процесс получения компоста замедляется, не достигнув требуемых температур. При правильных коэффициентах C/N потери азота обычно составляют 10-50%. Когда моча и фекалии перерабатываются в компост одновременно, содержание азота в нем увеличивается в 3-8 раз, и большая часть азота из мочи теряется, так как он в основном пребывает в форме аммиака, который легко исчезает из высоко аэробного компоста.

Основная пропорция (обычно 90-95%) азота N в готовом компосте является органическим азотом N (Сонессон, 1996 г.; Эклинд и Кирчман, 2000 г.). Этот органический азот становится пригодным для растений только при дальнейшей деградации в почве. Оставшийся N, 5-10% от общего числа представляет собой аммоний и нитрат, которые непосредственно пригодны для растений.

Наличие K, S и P в компостном материале высокое. Если удаление химикатов не производилось в течение или после процесса из-за дождя или мокрой подпочвы, в этом случае наиболее подходящие фракции этих нутриентов будут утеряны. Поэтому важно, чтобы получение компоста производилось таким образом, чтобы не допускалось ни одно упущение выщелачивания.

Подпочвы, основывающейся полностью на фекалиях, недостаточно для получения термофильных температур, особенно если фекалии смешаны с золой и известью. Добавление дополнительных, легко деградирующих субстратов желательно обычно в количествах в несколько раз больше, чем количество фекалий. Добавочный субстрат может состоять из отходов продуктового рынка, легко подвергающихся распаду промышленных отходов или разделенных кухонных отходов. Эти добавки влияют на концентрацию нутриентов в компосте. В дополнение к этому безупречная работа и обслуживание требуются для достижения термофильных операций.

#### *Компостирование при низких температурах*

Мезофильное компостирование и аэробная деградация при относительных температурах в общем означали, что компостирование осуществлялось при низких температурах, которые лучше характеризуются как низкотемпературные варианты термофильного компостирования и эти процессы - как аэробные. Продукты этих процессов, когда находятся в зрелом виде, являются деградированными, как и продукты термофильного компостирования, и конечные продукты аэробной деградации при этих температурах, двуокись углерода и вода характеризуются также. Конечные потери рН и общие потери N такие же (10-50%) как при термофильном компостировании (Эклинд и Кирчманн, 2000 г.), как вероятная пригодность конечного продукта для растений. Два основных различия между двумя типами компостирования это, во-первых, то санитарное состояние, которое достигается посредством поднятия температуры в термофильном компосте, не имеется при низкотемпературном компостировании, и во-вторых, нужда в дополнительном, легко деградирующем субстрате и дополнительных усилиях по обслуживанию снижаются.

Выше описанная аэробная деградация также широко проводится в случае, когда процесс происходит в почве, как на Арбор Лу (Arbor Loo) и Фосса альтерна (Fossa alterna) (см. Таблица 5). Потери аммиака при данных процессах могут однако быть меньше, чем те, которые имеются при надпочвенном компостировании, так как часть аммония может рассеиваться в окружающую почву, раствориться в почвенной жидкости и вероятно утилизироваться растениями. Это особенно имеет преимущества, если культура посажена на вершине Арбор Лу или Фосса Альтерна. Культура требует влаги для выживания, это означает, что аммиака, рассеиваясь вверх, также растворяется в почвенной жидкости и используется растениями. Однако существует риск потери азота в течение сбора и выщелачивания в ямах. Этот риск, вероятно, возрастает в зависимости от размера ямы и количества содержащейся в ней мочи. Для традиционных туалетов, имеющих сток в яму, эти потери в восточной Ботсване измеряются как колеблющиеся между 1 и 50%. (Джекс (Jacks) и др., 1999 г.).

Интенсивная работа проделана в Зимбабве по низкотемпературному компостированию фекалий (Морган (Morgan), 2003 г.). Анализ гумуса, взятого из неглубоких ям, где почва добавляется к сочетанию фекалий и мочи для компостирования, показывает материал богатый всеми питательными основными веществами, требующимися для роста растений, в сравнении с поверхностными слоями почвы.

Таблица 5. Анализ компостированного гумуса доставленного из почвы Фосса Альтерна и гумуса Скилу (Skyloo) в сравнении с различными почвами после двухнедельной инкубации.

Почвенный источник	pH	min-N промилей мг/кг	P промилей мг/кг	K промилей мг/кг	Ca промилей мг/кг	Mg промилей мг/кг
Местные верхние слои почвы (в среднем 9 образцов)	5,5	38	44	195	3200	870
Гумус Скилу (среднем 8 образцов)	6,7	232	297	1200	12800	2900
Почва из ямы <i>Фосса альтерна</i> (в среднем 10 образцов)	6,8	275	292	1750	4800	1200

Минеральный азот был проанализирован процессом Кджелдал (Kjeldahl) для минерального азота N (нитрит, нитрат и аммоний). Классификация местных почв в Зимбабве: менее чем 20 промилей оцениваются как низкие, 20-30 как средние, 30-40 - адекватные и  $\geq 40$  промилей - «хорошие» Поэтому почвы, взятые из Скилу и *Фосса альтерна*, очень богаты минералами, пригодным для растений азотом в данном масштабе. Образцы верхних почв приведены в таблице выше, в адекватном диапазоне.

Фосфор P был проанализирован в процессе получения смолы. Это показывает наличие пригодного фосфора P, а не общее количество P. Менее чем 7 промилей считается низким уровнем, 7-15 - предельным, 15-30 - средним, 30-50 - адекватным, 50-66 - хорошим, 67-79 - очень хорошим и  $\geq 80$  промилей считается высоким. Почвы, полученные из Скилу и Фосса Альтерна, также имеют очень высокий процент P.

Ca, Mg и K были добыты с ацетатом аммония

*Фосса альтерна* - это система двойного туалета, в котором почва, зола, листья и экскременты (моча плюс фекалии) содержатся в одной из двух неглубоких ям (обычно 1,2м глубиной). Использование ям чередуется в 12-месячных интервалах с использованием только одной ямы в течение данного периода времени, в то время как вторая яма компостируется. Заполнение ямы со смесью ингредиентов займет около года у одной семьи. Таким образом, система позволяет иметь продолжительный цикл работ с гумусом, выкапываемым каждый год и использованием ежегодно чередующейся ямы.

Скилу представляет собой мочеотводящий туалет с единым погребом, из которого моча выводится и содержится для дальнейшего использования в качестве растительного удобрения. Фекалии попадают в контейнер как ведро в неглубокий подвал. Почва и древесная зола добавляются к фекалиям после каждого вложения. Когда ведро почти заполнено, его содержимое переносится во вторичный компостирующий участок, в котором добавляется больше почвы и смесь содержится влажной. Этот процесс дает богатый компост после некоторого периода времени.

#### *Фекалии – хранение*

Хранение при сухой окружающей или повышенной температуре - это другая возможная вторичная обработка. Снижение болезнетворных организмов увеличивается с увеличивающейся окружающей температурой (Мое и Ицуриета (Moe & Izurieta), 2004 г.). Если содержится низкий уровень влажности  $< 20\%$  в течение всего периода хранения, то деградация будет низкой, соответственно и потери N и органических веществ. Эти вещества сохраняются, и после слияния с почвой и влажностью они деградируют таким же образом как материал в мезофильном компосте или Арбор Лу. Более того, так как деградация имеет место в небольших объемах в большинстве почв, риск потери аммиака или продуктов выщелачивания фактически исчезает.

#### *Фекалии – распад*

Анаэробный распад термофильной, мезофильной или окружающей температурах является другой возможностью для вторичной обработки фекалий. Утилизационный котлы закрыты и все поступающие вещества выходят либо с биогазом, либо с остатками распада. При распаде большая часть органического вещества деградирует в биогаз (метан и двуокись углерода). Большая пропорция органической серы S минерализуется из протеинов, и некоторые из них покидают процесс в виде сульфида водорода, заражающего биогаз. Большая пропорция органического азота N минерализуется и таким образом азот из остатков распада органических отходов преимущественно состоит из (50-70%) аммония (Берг, 2000 г.), являющегося органическим N. Аммоний непосредственно пригоден для

растений и пригодность других питательных растительных веществ также высока. С остатками распада следует обращаться осторожно, так чтобы не потерять аммоний в виде газообразного аммиака.

#### *Фекалии – химическое обеззараживание*

Обеззараживание фекалий также может быть достигнуто путем их смешивания с мочевиной. Эта мочевина распадается до аммиака посредством уреазы, что естественно происходит в фекалиях. Таким образом, этот процесс вероятно функционирует полноценно, если фекалии находятся в форме ила который может быть перемешан. В этом иле равновесие устанавливается между аммонием и аммиаком. (Уравнение 7). Аммиак токсичен для микробов и вызывает снижение болезнетворных микроорганизмов (Виннерас и др., 2003b). Добавки такие как зола и известь, которые увеличивают рН в течение первичной обработки продвигают уравнение 7 в верном направлении и таким образом увеличивают эффект обеззараживания. Эту обработку следует производить в закрытом контейнере. В данном процессе не происходит деградации фекалий и поэтому ни органические вещества, ни азот не теряются. Все они остаются в почве после применения ила как удобрения. Содержание аммония в иле выше, чем в моче или остатках распада. Таким образом, это должно быть отличным удобрением, но с ним следует обращаться с осторожностью, чтобы предотвратить потерю аммиака.

## Рекомендации по утилизации урины и фекалиями в выращивании культур

Отправным пунктом при решении вопроса касающегося доз применения урины и фекалий являются местные рекомендации по пользованию обычным N азотом (предпочтительно моча или аммониевые удобрения) и P фосфорные удобрения<sup>2</sup>. Если местных рекомендаций не имеется, следует начать с оценки нутриентов, забираемых культурой. В таблице 6 представлены данные по количеству выноса питательных веществ на метрическую тонну съедобной части собранного урожая. Эти количества должны быть умножены на оцененный урожай для получения количества забираемых нутриентов.

Таблица 6. Количество N, P и K (кг/га), забираемых на метрическую тонну съедобной фракции для различных культур (Шведское управление по продовольствию (Swedish Food Authority), 2004 г.)

Культура	Объем урожая, кг/га	Содержание воды, %	N, кг/га	P, кг/га	K, кг/га
<b><i>Зерновые</i></b>					
Кукуруза просушенная*	1000	10	15,1	2,1	2,9
Кукуруза свежая	1000	69	6,2	1,1	2,9
Просо	1000	14	1,8	2,4	2,2
Рис неполированный	1000	12	12,4	3,0	2,3
Сорго	1000	11	17,6	2,9	3,5
Пшеница	1000	14	17,5	3,6	3,8
<b><i>Другие</i></b>					
Зеленые бобы свежие	1000	90	2,9	0,4	2,4
Ирландский картофель свежий	1000	80	2,9	0,3	4,7
Чечевица просушенная	1000	12	38,4	3,8	7,9
Лук	1000	91	1,9	0,4	1,9
Тыква	1000	92	1,6	0,4	3,4
Красные бобы просушенные	1000	11	35,2	4,1	9,9

<sup>2</sup> Для дальнейших обсуждений по дозировкам применения см. секции “Урина” и “Фекалии” ниже.

Соя просушенная	1000	10	59,5	5,5	17,0
Шпинат	1000	94	3,0	0,3	5,6
Томат	1000	93	1,4	0,3	2,1
Арбуз	1000	91	1,0	0,1	1,2
Капуста белокочанная	1000	92	2,2	0,3	2,7

\* Министерство сельского хозяйства США (USDA), 2004 г.

Важно помнить, что дозы применения соответствуют количеству нутриентов, забираемых съедобной фракцией урожая, ниже чем дозы применения необходимые для высокого урожая культуры, в особенности для почв с низким уровнем плодородия. Предоставленное удобрение должно обеспечить корневую систему, культуру и остатки удаленной с поля культуры нутриентами, и поэтому обычно существуют дополнительные потери of N, K и S в особенности посредством выщелачивания, и N из-за улетучивания. Некоторые нутриенты также теряются, если отходы переработки урожая не используются повторно на поле в виде удобрений. Другим важным аспектом является то, что добавочный P обычно впитывается почвой особенно, если в почва не богата P. Поэтому количества, подсчитанные в Таблицы 6, дают минимальный уровень необходимый для поддержания плодородия почвы. Более высокие дозы применения, часто в два раза выше, это необходимо для того чтобы увеличить плодородие почвы с целью получения высокой урожайности с бедных почв. Однако если N подается в N-фиксирующие культуры, т.е. бобы и горох, их N-фиксирующая способность не используется полностью.

## УРИНА

### Общие понятия

Урина является ценным источником нутриентов, используемых с древних времен для улучшения роста растений, листовых овощей. Существуют различные способы использования (урины) мочи. Наиболее очевидным является использование урины непосредственно для удобрения культур, и рекомендации по данному использованию даны ниже. Другой способ влечет за собой большие потери аммиака, однако используется для улучшения процесса компостирования богатых углеродом субстратов. Рекомендации по использованию различных компостов даны в секции «Фекалии». В данной работе представлены несколько различных опций для концентрирования или высушивания урины, но использование этих продуктов в тексте не рассматривается.

В следующем тексте подразумевается, что урина подлежит обращению в соответствии с руководством по гигиене данным в (Шённинг и Штенштрём, 2004 г.).

### Удобряющий эффект урины

Урина используется сразу или после качественного хранения, что является альтернативой низким затратам по применению богатыми азотом минеральными удобрениями в производстве культур. Нутриенты содержащиеся в моче находятся в форме ионов, и их растительная пригодность хорошо сравнивается с химическими удобрениями (Йоханссон и др., 2001 г.; Кирчман и Петтерссон, 1995 г.; Квармо (Kvarmo), 1998 г.; Ричерт Штинцинг (Richert Stintzing) и др., 2001 г.). Моча (урина) лучше всего утилизируется как непосредственное удобрение для требующих N растений и листовых овощей. Если существуют особые рекомендации по культуре и по региону, касающиеся пользования азотными удобрениями (мочевина, аммоний или нитрат), хорошим отправным пунктом является использование этих рекомендаций для урины. Это упрощается, если концентрация азота в урине известна. В противном случае используется правило примерного подсчета где концентрация 3-7 грамм азота на литр может быть принята (Виннерас, 2002 г.; Джонсон и Виннерас, 2004 г.). Моча также содержит большие количества P и K, но из-за большого содержания N, его P/N и K/N коэффициенты ниже, чем у многих минеральных удобрений используемых для производства овощей.

Урожай, полученный при удобрении уриной, различается в зависимости от многих факторов. Одним важным аспектом является состояние почвы. Эффект урины, такой же как у химических удобрений, но вероятно немного ниже на почвах с низким содержанием органических веществ чем на почвах с высоким органическим содержанием. Опыт показывает, что использование урины и фекалий или других органических удобрений благоприятно для плодородия почвы, но они могут быть использованы в разное время и для различных культур.

## **Разбавление**

Урина может применяться в чистом виде (без разбавления) или разбавлена водой, что практикуется во многих местах. Уровень растворения колеблется приблизительно между 1:1 (1 часть воды на одну часть мочи) 10:1, и 3:1 считается распространенным. Разбавление подразумевает увеличение объема, который будет расти, и таким образом, затраты труда, необходимое оборудование, энергия которая используется и риск сжатия почвы также возрастают.

Разбавление имеет преимущество уменьшения риска чрезмерного применения мочи в таких дозах, что это становится токсичным для растений. Однако, независимо от того что урина была применена в чистом или разбавленном виде, она является удобрением и должна как более концентрированное химическое удобрение быть применена в дозах соответствующих желательной дозе применения азота, дополнительная вода должна быть использована в соответствии с потребностями растений. Таким образом, урина может быть применена в чистом виде, или даже концентрированной в почву с последующей ирригацией в соответствии с потребностями культуры в воде. Урина также может быть растворена в поливной воде в дозах зависящих от потребности культуры в нутриентах и воде. Применение смеси воды/урины практикуется только при водной ирригации.

С разбавленной уриной следует обращаться так же, как и с уриной. Для того чтобы предотвратить запахи, потерю аммиака и возможное заражение растений через оставшиеся болезнетворные микроорганизмы урина должна применяться близко к почве или смешаться с почвой. Удобрение листовым перегноем не рекомендуется.

На площадях, где засоленность почвы является проблемой, рекомендуется удобрять только уриной, если это дает хорошее увеличение урожая. Если засоленность является лимитирующим фактором, необходимы другие методы улучшения плодородия почвы, чем применение урины.

## **Время применения**

На ранних стадиях культивации достаточное наличие всех нутриентов важно для стимулирования роста. В крупномасштабном производстве культур нормальной стратегией применения удобрений является их применение один или два раза на растительный сезон. Если удобрение применяется только один раз, его применение должно производиться до или одновременно с посевом и посадкой растений. Если культура удобряется дважды, следующее применение удобрений может производиться после приблизительно  $\frac{1}{4}$  части времени между посевом и уборкой в зависимости от потребностей культуры.

Культура также может продолжительно удобряться, если урина содержится в меньших контейнерах и используется более или менее непосредственно. Однако, если культура вошла в репродуктивную стадию, она вряд ли примет еще какие-либо нутриенты. Примером может послужить кукуруза; примененное удобрение хорошо усваивается, когда растение образует початок, но после этой стадии прием нутриентов из почвы снижается, так как на этой стадии нутриенты в основном дислоцируются растением (Маршнер (Marschner), 1997 г.). Этому придается значение в рекомендациях по пользованию химическими удобрениями. Например, в Зимбабве, где снимается урожай кукурузы 3-5 месяцев спустя после посадки, рекомендуется удобрять ее три раза, но не позже, чем через два месяца

после посадки.

По правилу приблизительного подсчета нанесение удобрений должно быть прекращено после 2/3 и 3/4 промежутка времени между посевом и уборкой. С некоторых овощей в основном листовых, может сниматься урожай до того момента, когда они достигают репродуктивной стадии. Поэтому удобрение, примененное ближе ко времени сбора, может быть усвоено растением. Однако, период ожидания между применением удобрения и уборкой урожая очень продуктивен с точки зрения гигиены и рекомендуется для всех культур, которые употребляются в пищу в сыром виде (Шённинг и Штенштрём, 2004 г.).

Другим стрессовым аспектом является риск вымывания нутриентов. В регионах, где идут ливневые дожди в течение сельскохозяйственного сезона, повторные применения урины могут быть гарантией от потери всех нутриентов в период одного ливня. Однако следует всегда помнить, что вымывание после внесения удобрений в малой степени сравнивается с вымыванием из выгребной ямы туалета или от допущения просачивания мочи в почву возле туалета.

Общее количество примененной мочи и вероятность ее предпочтительного применения - один или несколько раз - также зависит от потребности растения в азоте и размеров его корней.

Размеры корней сильно различаются у различных культур (Рис.3). Растения с недостаточной или маленькой корневой системой, т.е. морковь, лук и салат, могут получить благоприятное воздействие от повторного применения урины в течение всего периода культивации (Торуп-Криштенсен (Thorup-Kristensen), 2001 г.).

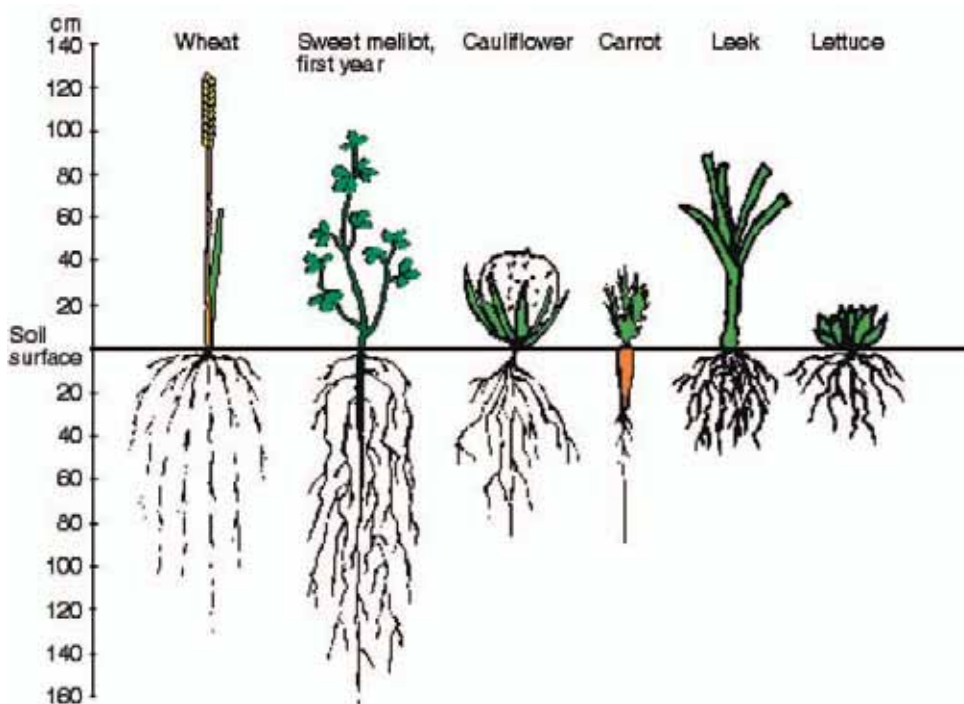


Рисунок 3. Размер корней овощных культур. Рисунок: Ким Гутекунст (Kim Gutekunst), JTI.  
(Soil surface – Поверхность почвы, Wheat - Пшеница, Sweet melilot, first year- Донник сладкий, первый год, Cauliflower – Цветная капуста, Carrot - Морковь, Leek – Лук-порей, Lettuce – Салат-латук, cm - см)

### Хранение в почве

В регионах, где имеются определенные периоды культивации, которые следуют за сухим периодом,



хранение нутриентов урины в почве является альтернативой, если возможности хранения недостаточны. Это осуществляется путем проникновения урины в почву в течение сухого сезона, с последующей, нормальной культивацией в течение сельскохозяйственного сезона. Смысл в том, что основная доля нутриентов остается в почве и становится пригодной для растений в течение растительного сезона. Дальнейшие исследования необходимы для определения потерь и пригодности нутриентов, особенно N, для культур в течение такого хранения и после него. Результаты, полученные от Общества Городского Развития в Восточной Африке (SUDEA), Эфиопии, а также в Зимбабве, показывают, что метод является интересной альтернативой для хранения урины в контейнерах до сельскохозяйственного сезона, даже если потери азота могут быть очень высокими. В течение одного такого эксперимента, в котором нутриенты урины хранились 28 дней в почве, потеря минерала N была обнаружена в 37%-ом содержании (Сундин (Sundin), 1999 г.). Дополнительным преимуществом почвенного хранения является то, что труд по применению урины осуществляется в течение сухого сезона, который обычно бывает менее трудоемким, чем сельскохозяйственный сезон.

### Техника применения

Для лучшего удобряющего эффекта и для того, чтобы предотвратить потерю аммиака, урина должна смешаться с почвой немедленно, если возможно (Йоханссон и др., 2001 г.; Ричерт Штинтцинг и др., 2001 г.; Роде (Rodhe) и др., 2004 г.). Достаточно поверхностного слияния, и возможны различные методы. Один из них предусматривает применение мочи в маленьких бороздах, которые покрываются после применения. Полив нутриентов в почву с последующим применением воды представляет собой другой способ применения.



Рисунок 4. Внесение урины легко производится с помощью обычной лейки. Овощи удобряются уриной, Швеция. Фото: Гакан Джонсон, SLU.

При распределении урины не следует ее применять на листьях или других частях растений, так как это может вызвать сгорание листьев из-за высокой концентрации солей при высыхании. Разбрызгивание урины в воздухе также следует исключить в связи с риском потери N через газообразный выход аммиака (Йоханссон и др., 2001; Роде и др., 2004 г.), а также исключить гигиенический риск, исходящий от аэрозолей.

Капельное орошение с использованием урины представляет собой другую возможную технику применения урины. Однако, когда эта техника используется, следует предпринять меры по

предотвращению почвенных корок, образующихся из-за оседания солей, формирующих ил, потому что общее количество осадка часто увеличивается после разбавления, так как вода обычно содержит некоторое количество магния и кальция.

Некоторые культуры, такие как томаты, очень чувствительны к тому, чтобы все их корни были подвержены воздействию урины, по крайней мере, когда растения маленькие, в то время как на многих культурах никакого негативного эффекта не наблюдается. Поэтому, перед тем как определяется чувствительность культуры разумно не подвергать одновременно все корни воздействию урины, обращаться осторожно или же разбавлять ее. Урина может применяться также до посева/посадки либо на таком расстоянии от растений, чтобы нутриенты находились в пределах достижения корней растений, но не все они впитывались. Для ежегодных растений это расстояние может быть 10 см.

### **Дозировка применения**

Отправным пунктом для дозировки применения мочи являются местные рекомендации по использованию коммерческих азотных удобрений, предпочтительно мочевины или аммониевых удобрений. Если таких рекомендаций не имеется, другим стартовым подходом может стать измерение нутриентов, забираемых растением, который дается для некоторых культур в Таблице 6.

Урина может быть рекомендована для большинства культур. Так как она особенно богата N, имеет смысл уделить приоритетное внимание культурам, которые хорошо реагируют на N, такие как шпинат, цветная капуста, декоративные цветы и кукуруза. Однако не имеет смысла отказываться от использования урины, если нутриентов достаточно. Как удобрение для других культур, урина показывает хорошие результаты по всему миру.

### **Опыты**

Человеческая моча давно используется как удобрение в домашнем садоводстве во многих местах по всему миру, хотя ее использование не документировано (Рисунок5)



Рис. 5. Крыжовник, черная смородина и розы удобренные (уриной) мочой в саду в Упсала (Uppsala), Швеция. Фото: Гакан Джонсон, SLU.

Урина протестирована как удобрение на салате, выращенном в теплице в Мексике (Гуадаррама (Guadarrama) и др., 2002 г.). Существовали способы применения урины в сравнении с компостом: смесь урина-компост и никаких удобрений вообще. Доза применения была 150 кг всего N (азота) на гектар на всех участках, за исключением одного, неудобренного. Урина дала лучший урожай салата, благодаря высокому содержанию N в ней. Идентичные результаты были получены по другим овощным культурам.

Урина была протестирована в качестве удобрения в Швеции в течение 1997-1999 гг. (Йоханссон и др., 2001 г.; Ричерт Штинцинг и др., 2001 г.; Роде и др., 2004 г.). Результаты показали, что N-эффект урины соответствовал примерно 90% равных количеств минеральных удобрений нитрата аммония. На полевых испытаниях, проводимых в натуральных хозяйствах в течение 1997-1999 гг., человеческая моча тестировалась как удобрение на весеннем зерне и озимой пшенице (Лундстрем и Линден (Lundström & Lindén), 2001 г.). Для озимой пшеницы применения проводились весной на растущей культуре. Было сделано сравнение с сухим куриным навозом и мясо + костная мука. Человеческая моча/урина соответствуя 40, 80 и 120 кг N/га соответственно увеличила урожай озимой пшеницы в среднем на 750, 1500 и 2000 кг/га. Сухой куриный навоз дал увеличение урожая в среднем примерно на 600, 1100 и 1500 кг/га. Высушенное мясо + костная мука дали наименьшее увеличение урожая: примерно на 400, 800 и 1200 кг/га. В среднем для всех трех N азотных уровней увеличение урожая озимой пшеницы составило 18 кг зерна на кг N азота, полученного из человеческой мочи, на 14 кг - сухого куриного навоза и на 10 -кг высушенного мясо + костная мука. Эти данные показывают, что

растительная пригодность N азота в моче выше, чем в курином навозе и чем в мясо + костная мука. Этого следовало ожидать, так как куриный навоз и мясо + костная мука имеют более высокую фракцию органически связанного азота N. Для озимой пшеницы увеличение урожая и утилизация N были ниже, вероятно из-за высокого уровня N в почве пригодного для растений в начале периода культивации.



**Рис. 6.** Распределение урины перед посевом ячменя, так же удобренный уриной ячмень на ранней стадии. Фото: Матс Йоханссон (Mats Johansson), VERNA.

Урина тестировалась на ячмене в теплице и на полевых исследованиях в Германии (Симонс и Клеменс (Simons & Clemens), 2004 г.). Урина при некоторых обработках была окислирована для того, чтобы снизить выход аммиака и микробное заражение. Результаты полевых исследований показали, что удобряющий эффект мочи был выше, чем тот, который был у минеральных удобрений в производстве ячменя. Не наблюдалось различий между участками, удобренными окислированной уриной и не обработанной уриной.

Урина тестировалась как удобрение на швейцарском мангольде в Эфиопии (Сундин (Sundin), 1999 г.). Урожай на удобренных участках были до 4 раз выше, чем на тех участках, которые не удобрялись. Урина также была протестирована в качестве удобрения на хлопке и сорго (хлебный злак) в Мали (Дембеле (Dembеле), личные заметки). Результаты были обещающими и испытания продолжались в течение 2004 г.

Урина тестировалась в качестве удобрения на амаранте в Мексике (Кларк (Clark), личные заметки). Результаты показали, что сочетание мочи и птичьего навоза дает самый высокий урожай - 2350 кг/га. Птичий навоз отдельно дал урожай 1900 кг/га. Человеческая моча отдельно дала урожай в 1500 кг/га, а на неудобренном контрольном поле урожай составил 875 кг/га. Количество примененного N было 150 кг N/га на три обработки. Взятие образцов показало отсутствие различий, касающихся физических или химических характеристик.

На полевых испытаниях в Швеции в 2002 г. тестировались различные стратегии применения урины как удобрения на луке-порее (Бат (Båth), 2003 г.). Удобрение уриной дало трехкратное увеличение урожая. При этом то, как применялось идентичное количество урины, не имело значительного влияния ни на урожай, ни на усвоение нутриентов, использовалась ли она в двух дозах или была поделена на меньшие дозы, которые применялись каждые 14 дней. Эффективность N (N урожай – (N урожай на неудобренных участках)/добавленный N) при использовании урины была высокой,

колеблющейся от 47% до 60%. Такой же уровень достигается при использовании минеральных удобрений. Эффективность N для большинства других органических удобрений, например, таких как компост, достигла уровня между 5 и 30%.

Таблица 7. Результаты полевых испытаний с использованием человеческой урины как удобрения для лука-порей. Статистически значимых различий между обработками А, В и С (согласно Бат, 2003 г.) не наблюдалось.

Обработка	Доза внесения N, кг/га**	Урожай, т/га*	N урожай кг/га**
А Урина каждые 14 дней	150	54	111
Б Урина дважды	150	51	110
В Урина каждые 14 дней + дополнительно калий	150	55	115
Г Не удобрённый	0	17	24

\* тон/га=кг/10 м<sup>2</sup>

\*\* кг/га= грам/10 м<sup>2</sup>



Рисунок 7. Полевые испытания с использованием урины как удобрения для лука-порей. Фото: Анна Ричерт Штинтзинг, VERNA.

Полевые испытания с уриной осуществлялись на различных овощах в Зимбабве. (Морган, 2003 г.). Растения выращивались в 10-литровых цементных бассейнах и вскарммливались 0,5 л. смесью 3:1 вода/урина три раза в неделю. Неудобренные растения культивировались для сравнения. Увеличение продукции было существенным, но никакие статистические анализы не были сделаны.



Рисунок 8. Шпинат слева не удобрен. Шпинат справа удобрен уриной, разбавленной тремя частями воды к одной части урины с двухразовым применением в неделю. Фото: Питер Морган, Аквамор.

Таблица 8. Средние урожаи (граммы влажный вес) в испытаниях с уриной как удобрения для овощей в Зимбабве (Морган, 2003 г.)

Растение, период роста и количество повторов, n	Не удобренные, грамм	Удобренные, 3:1 вода/урина применение 3 раза в неделю грамм	Соотношение урожайности, с удобрением//без удобрения
Салат, 30 дней (n = 3)	230	500	2,2
Салат, 33 дня (n = 3)	120	345	2,9
Шпинат, 30 дней (n = 3)	52	350	6,7
Ково (covo), 8 недель (n = 3)	135	545	4,0
Томат, 4 месяца (n = 9)	1680	6084	3,6

## ФЕКАЛИИ

### Общий анализ

Поскольку общее количество нутриентов, выделяемых с фекалиями, ниже, чем нутриентов, выделяемых уриной, концентрация нутриентов, особенно Р и К, в фекалиях высока, и когда они используются как удобрение, фекальные вещества могут дать значительное увеличение урожая растений. Особенно ценным для растения в его раннем развитии и важным для развития корней является Р (фосфор). В дополнение к снабжению макро- и микроэлементами фекалии содержат органические вещества, которые увеличивают влагоемкость и ионно-буферную емкость почвы, служат источником питания для микроорганизмов и важны для улучшения структуры почвы. Однако риск высокой концентрации болезнетворных микроорганизмов велик и таким образом, необходимо, чтобы с фекалиями содержались таким образом, чтобы риск передачи заболеваний был уменьшен. Следуйте гигиеническому руководству по данной теме (Шённинг и Штенштрём, 2004 г.).

### Удобряющий эффект

Нужно заметить, что фекалии способствуют производству культур своим удобряющим и улучшающим почву эффектом. Удобряющий эффект фекалий более разнообразен, чем эффект урины. Это происходит главным образом благодаря тому, что пропорция N, пребывающего в форме минерала в составе фекалий, варьируется между различными стратегиями обработки, как было упомянуто

выше. Другой причиной является то, что различные добавки используются в различных обработках и эти добавки дополняют общее содержание питательных и органических веществ в обработанных продуктах фекалий. Наконец содержание и свойства органических веществ в обработанном продукте широко различаются между различными обработками.

Эффект по улучшению почвы складывается из увеличенной буферной емкости почвы, влаги – удерживающей способности, а также заключается в том, что фекалии являются пищей для активности микробов. Все это относится к добавлению в почвенную систему органического вещества и минеральных веществ, содержащихся в золе. Улучшающий почву эффект варьируется в соответствии с теми же принципами, которые были описаны выше.

### *Зола*

Сжигание фекалий в результате дает золу с высоким содержанием Р и К, а также других макро и микронутриентов. Однако N и S теряются с испарением газов. Таким образом, зола является РК (фосфор-калий) удобрением с микронутриентами и высоким содержанием рН, увеличивающим буферную емкость почвы. Растительная пригодность нутриентов в золе хороша до тех пор, пока температура сжигания не настолько высока, чтобы вызвать плавление золы. Если это происходит, тогда наличие питательных растительных веществ резко снижается.

Количество и содержание золы, которая вырабатывается от сжигания, варьируется. В зависимости от первичной обработки, добавок золы, почвы, извести или других высушивающих материалов может быть сделан выбор, который влияет на сжигание. Возможно, может понадобиться дополнительное топливо. Зола и известь способствуют увеличению воздействия рН продукта, как наиболее желательного, так как наличие рН в большинстве почв ниже оптимального – уровень рН6-7 для многих культур. На почвах с очень низким содержанием рН (4-5) это является очень важным эффектом, влияющим на урожайность и получение пользы от удобрения, например, уриной, что было показано в обеих странах Уганде и Зимбабве.

### *Компост от термофильного или низкотемпературного компостирования*

Компостирующие функции во многих отношениях напоминают медленное и частичное сжигание, проводимое посредством микробов. При этом часто некоторое количество 40-70% органических веществ и немного N теряется. Остающийся N в основном около 90% находится в органической форме и только это становится растительно-пригодным на стадии деградации, этот процесс проходит медленно, так как остающееся органическое вещество более стабильно, чем первичное органическое вещество. Это устойчивое органическое вещество улучшает водоудерживающую способность и буферную емкость почвы. Фосфор также в некоторой степени, но гораздо меньше, чем азот связан в органических формах, в то время как К (калий) находится главным образом в ионной форме и таким образом становится приемлемым для растений. Компост следует применять как полное РК (фосфор-калий) удобрение или для улучшения почвы.

Добавки органических отходов в компостную обработку, внесенные просто в качестве добавок в первичную обработку, естественно влияют на количество и характеристики компоста.

### *Высушенные фекалии, полученные в результате высушивания и хранения*

Если высушивание проходит быстро и достигается низкий уровень влаги, тогда наблюдаются небольшие потери как органических веществ, так и азота N. Большая часть органических веществ сохраняется и при применении они улучшают почву и служат пищей для почвенных микробов. Таким образом, в сравнении с компостированием, сухое хранение фекалий рециркулирует больше органических веществ и азота в почву, но органическое вещество менее устойчивое. Высушенное фекальное вещество представляет собой фосфорно-калиевое удобрение, которое также

дополнительно вносит значительное количество азота N.

#### *Остатки анаэробного распада*

В анаэробном распаде деградирует приблизительно такая же пропорция органического вещества как и при компостировании - 40-70%, но минерализованный азот не теряется в таком большом количестве как это происходит при компостировании. Вместо этого азот сохраняется в виде аммония в остатках разложения органических отходов. Некоторое количество азота (40-70%) находится в остатках в виде аммония, который полностью приемлем для растений. Таким образом, для большинства культур остатки распада представляют собой хорошо сбалансированное, быстродействующее и полноценное удобрение. Во многие процессы распада органических отходов добавляются дополнительные субстраты, такие как животный навоз и бытовые отходы. Эти добавки естественно воздействуют на количество и состав остатков распада.

#### *Химическая обработка мочой*

Когда фекалии обрабатываются мочой, содержание аммиака поднимается до высоких уровней, выше, чем в чистой моче. Большое содержание Р и К в фекалиях означает, что они все еще являются хорошо сбалансированным и полноценным удобрением. Фекалии, обработанные мочой, должны применяться в соответствии с содержанием в них минерального азота. Зола и другие добавки в течение первичной обработки дополняют свойства продукта.

#### **Время применения**

Независимо от того, как фекалии обработаны, они должны применяться перед посевом или посадкой. Это связано с тем, что фекалии содержат большое количество фосфора Р, и наличие фосфора очень важно для хорошего развития молодых растений и корней. Фекалии следует применять таким образом, чтобы они контактировали с почвенным раствором, который может растворять и транспортировать питательные вещества к корням. Таким образом, фекальные продукты должны хорошо смешаться с почвой, и это должно быть сделано перед посевом/посадкой для того, чтобы не затронуть молодые растения.

Наконец, фекалии первоначально содержат множество болезнетворных организмов и поэтому желательно установить несколько барьеров между ними и продовольственными культурами, чтобы снизить риск передачи заболеваний через продовольственные культуры, удобренные фекалиями. Одним из таких барьеров является вторичная обработка, и осторожное нанесение обработанных фекалий перед посевом/посадкой является другим барьером против передачи болезней. Исключение фекалий как удобрения для овощей, которые употребляются в пищу в сыром виде, является третьим барьером против передачи болезней. В климатах, где сухой сезон предшествует периоду культивации, фекальные продукты могут распределяться в течение засушливого сезона или в конце сезона предшествующего растительному сезону.

#### **Техника применения**

Двумя самыми большими преимуществами фекалий являются содержание Р фосфора и органического вещества. Для того, чтобы их выгодно использовать, фекальное вещество должно быть применено на глубине, где почва остается влажной, так как фосфор становится приемлемым для растений на том уровне, где он может раствориться в почвенной жидкости. Известно, что водоудерживающая и буферная емкости органического вещества полностью используются во влажных условиях. Таким образом, продукт фекального удобрения, независимо от того, что он находится в виде золы, компоста, остатков распада или обработанной суспензии (кашицы), он должен применяться на такой глубине и таким образом, чтобы он был хорошо покрыт верхним слоем почвы. Однако корневая глубина растений ограничена и, если фекалии применяются на глубине, превышающей глубину корней,



питательные растительные вещества не будут приемлемы для растений.

Техника применения различается в зависимости от желаемой дозы применения. Если желаемая доза высока, т.е. имеется большое количество фекалий в соотношении с площадью, которая будет удобряться, то фекалии могут быть закопаны в почву в слой, которой будет покрыт поверхностным слоем почвы, не смешанным с какими-либо фекальными продуктами, формирующими грядку. Если доза применения очень велика, то будет полезно перемешать поверхностный слой с небольшим количеством нижнего слоя почвы прежде, чем он будет покрыт поверхностным слоем почвы. Закапывание используется в небольших масштабах, тогда как в крупных масштабах предпочтительно вспахивание, так как при вспахивании продукт будет хорошо покрываться несмешанной почвой. Если желаемая доза мала, то фекальный продукт предпочтительно применять в бороздах, покрытых несмешанной почвой. При меньших дозах применения фекальные продукты могут применяться в ямах вблизи запланированных для выращивания растений территорий. Размеры борозд или ям зависят от того, где продукт будет распределяться. Они обычно должны быть больше, если распределяемый высушенный продукт и фекалии содержались с количеством туалетной бумаги, превышающим количество золы. Фекальные продукты всегда должны быть хорошо покрыты и размещены таким образом, чтобы они были доступны для корней, но только в их растительной среде.

Содержание аммиака в остатках распада и в обработанной мочевиной кашцей достигает высокого уровня. Эти продукты должны храниться и применяться таким образом, чтобы потери аммиака были минимальны. Все это предусматривает хранение в закрытых контейнерах и немедленное внесение в почву. Зола представляет собой концентрированное удобрение и должна быть осторожно распределена для того, чтобы наиболее эффективно использовать имеющееся в ней количество нутриентов. Не легко добиться ровного распределения золы. Этот процесс упрощается, если смешать ее с массивным агентом, таким как песок или сухая почва.

Использование фекалий в производстве деревьев является примером того, как применение удобрений в яме может быть использовано для многолетних культур. При посадке дерева могут быть использованы сухие, компостированные или сожженные фекалии для того, чтобы повысить плодородие почвы. Удобным способом для распределения фекалий является смешение на лопате сухих или компостированных фекалий с почвой в яме, которая была выкопана для посадки дерева. Это будет стимулировать его ранний рост.



Рис. 9. Сабтенга (Sabtenga), Буркина Фасо (Burkina Faso). Дерево манго, при посадке регулярно удобряемое фекалиями и дозами урины в течение растительного сезона. Фото: Анна Ричерт Штинтзинг, VERNA.

### **Доза применения**

Имеется большой диапазон доз, по которым может вноситься большинство фекальных продуктов. Двумя наиболее благоприятными эффектами, которые можно получить от большинства фекальных продуктов, являются обеспечение Р и органическим материалом, чего можно достичь при различных дозах применения. Р выделяется в большом количестве с фекалиями: в Швеции - около 0,2, а в Китае 0,2-0,3 кг/чел. в год. И если Р вносится в объеме равном объему, который забирают растения, тогда фекалий одного человека достаточно, чтобы удобрить 200-300 м<sup>2</sup> под пшеницу при урожайности 3000 кг/га на человека. Однако, во многих местах почва настолько лишена Р, что рекомендованная доза применения будет в 5-10 раз выше уровня захвата растением. В этом случае фекальное вещество одного человека за год содержит достаточно фосфора, чтобы удобрить 20-40 м<sup>2</sup>. Таким образом, на почвах с низким уровнем фосфора фекальное вещество одной семьи, состоящей из пяти человек, может обеспечить фосфором 100-200 м<sup>2</sup> пшеницы с уровнем урожайности 3000 кг/га. На этом высоком уровне применения большая часть Р остается в почве, улучшая ее.

Что касается содержания органического вещества в фекальном продукте, то нужны более высокие дозы применения для достижения эффекта в почвенной системе, который в свою очередь дает более высокие урожаи как это показано ниже.

Количество выделяемого органического вещества в фекалиях во многих странах примерно колеблется в диапазоне 10-20 кг (Китай) на человека. К тому же в Швеции в год используется около 8 кг туалетной бумаги на человека. Если туалетные вещества входят в состав фекального компоста, то конечный компост, потеряв 40-70% органического вещества, будет содержать примерно 10 кг органического вещества на человека в год в обеих странах, Китае и Швеции.

Сухое вещество поверхностной почвы на одном квадратном метре и на глубине 25 см весит 300 кг. Если исходное содержание органического вещества в почве составляет 1%, тогда один кв. метр поверхностной почвы содержит 3 кг чистого органического вещества. Этот уровень органического вещества дает представление о почвенных характеристиках, истории культивации и климата. Для того, чтобы немедленно увеличить содержание органического вещества в почве до 3%, нужно добавить еще 6 кг органического вещества на квадратный метр. Этот уровень применения соответствует использованию фекальной продукции, полученной в течение года от одного человека, на площади 1,5-3 м<sup>2</sup> земли. Следовательно, объем фекалий одной семьи, состоящей из 5 человек, может обеспечить 7,5 -15 м<sup>2</sup> земли органическим материалом. Этот уровень применения подразумевает использование большего количества фосфора, чем фосфора, забираемого большинством культур, и является примером применения высоких доз фекалий для достижения основной цели - улучшить органический состав почвы.

Однако высокое и устойчивое содержание органического вещества почвы достигается в течение длительного времени. Органическое вещество в примененном материале, например, сухих фекалиях или компосте, не является таким устойчивым, как гумус почвы и будет деградировать в ней. Преимущество состоит в том, что чем больше деградация, тем больше питательных растительных веществ минерализуется и становится пригодными для растений. Но эта деградация означает, что содержание органического вещества уменьшается и поэтому следует продолжить его применение, чтобы надолго поднять содержание органического вещества в почве.

Добавление органического вещества с высоким уровнем деградации, например, фекалий, означает, что большая пропорция нутриентов становится пригодной для растений, но также и то, что органическое вещество быстро деградирует. Добавка более стабилизированного продукта богатого гумусом, например, компоста, значит, что меньшее количество азота станет пригодным для растений. Но с другой стороны, увеличение содержания органического вещества в почве будет более продолжительным. Однако, количество стабилизированного гумуса, сформированного в почве в процессе деградации сухих фекалий, приблизительно такое же как у гумуса, сформированного в мезофильном компосте. Различие состоит в том, что существует риск потери нутриентов, минерализованных в процессе компостирования, и пока в почве идет процесс деградации, он может быть использован растениями.

Существует небольшой риск негативного эффекта при применении больших количеств Р или органического вещества в почве. Однако следующие аспекты должны приниматься во внимание при очень высоких дозах применения. Если имеются богатые углеродом легко деградирующие органические материалы в фекальном продукте, тогда не существует риска того, что питательные растительные вещества будут использованы микроорганизмами в почве, и поэтому наблюдается непродолжительный недостаток в азоте N, который может привести к спаду урожая. Если в качестве наполнителей используются большие количества извести и золы, то при очень высоких дозах применения может возникнуть негативный эффект из-за очень высокого (>7.5-8) конечного уровня рН в почве. Такой высокий уровень рН может представлять риск для растений при слишком высоких дозах или в случае, когда исходный уровень рН почвы тоже слишком высокий. Для продуктов с высоким содержанием аммония, остатков распада или суспензии (кашицы), обработанной мочевиной, может возникнуть риск негативного эффекта, если уровень применения аммония слишком высокий. Поэтому дозы применения этих продуктов должны базироваться на знаниях о концентрации аммония в продукте и желаемой дозе применения азота.

Когда используются высокие дозы, о которых было заявлено выше, урожайность значительно повышается, так как увеличиваются органическое вещество, рН и буферная емкость и почва снабжается большими запасами Р и К, которых достаточно, чтобы сохраняться в почве в течение многих лет или даже десятилетий. Однако эти дозы применения не являются ресурсно-эффективными в отношении к использованию нутриентов в фекальных продуктах, даже если в результате

достигается очень хороший эффект при производстве культур.

Вышеприведенные дозировки применения даются в приблизительном диапазоне 20-150 тонн фекального продукта на гектар. Нормальная доза применения навоза для фермерского двора в сельском хозяйстве колеблется от 20-40 тонн на гектар.

## Опыты

### Компостирование

Проделана обширная работа по низкотемпературному компостированию фекалий (Морган, 2003 г.). В сериях экспериментов в Зимбабве выращивались овощи, такие как шпинат, ково, салат, зеленый перец, томаты и лук-порей в 10-литровых ведрах в местной бедной поверхностной почве. Их развитие сравнивалось с развитием растений, которые выращивались в таких же контейнерах, наполненных смесью, состоящей 50/50 из той же местной бедной почвы и гумуса, полученного из компостированных человеческих фекалий и урины. В обоих случаях после определенного периода времени измерялись рост растений и вес культур. В Таблице 9 показаны результаты испытаний (Морган, 2003 г.). Эти результаты показывают значительное увеличение урожая овощей, полученного в результате обогащения бедной земли смесью компостированных фекалий и урины.



Рис.10. Лук слева не удобрен, а тот, который показан справа, выращен на смеси 50% бедной песчаной почвы и 50% компоста Фосса альтерна. Фото: Питер Морган, Аквамор.

**Таблица 9.** Средние урожаи (граммы влажный вес), полученные в сравнительных испытаниях из растений, растущих только на поверхностных почвах, по сравнению с урожаями тех растений, которые были выращены на смеси, состоящей из 50% поверхностной почвы и 50% компоста Фосса альтерна (Морган, 2003 г.)

Растение, тип почвы и количество повторов	Период роста	Влажный вес только поверхностная почва, грамм	Влажный вес, 50/50 поверхностная почва/ FA* почва, грамм	Соотношение урожайности, с удобрением/без удобрения
Шпинат почва Erworth (n = 6)	30 дней	72	546	7,6
Ково, почва Erworth (n = 3)	30 дней	20	161	8,1
Ково 2, почва Erworth (n = 6)	30 дней	81	357	4,4
Салат, почва Erworth (n = 6)	30 дней	122	912	7,5
Лук, почва Ruwa (n = 6)	4 месяца	141	391	2,8

9)				
Зеленый перец, почва Ruwa (n = 1)	4 месяца	19	89	4,7
Томаты, почва Ruwa	3 месяца	73	735	10,1

\* Почва Фосса альтерна

Об эффекте, полученном на хороших и плодородных землях, говорится меньше. Литературный обзор по опыту применения компоста на таких землях (Одларе (Odlare), 2004 г.) показал что, при нормальных дозах применения 30-40 тонн компоста на гектар, немедленный эффект, повлиявший на производство растений и структуру почвы, был незначителен. В основном был отмечен долгосрочный эффект. Применение компоста привело к увеличению органического N в почве. Он будет медленно минерализоваться, в зависимости от температуры почвы, влажности и микроорганизмов. В целом, около 20-30% процентов N в компосте с годами станет пригодным для растений (Одларе, 2004 г.). Такие улучшения являются долгосрочными для структуры почвы и для ее водоудерживающей емкости.

Лучшие результаты культивации будут достигнуты, если компост будет применяться вместе с минеральным азотом, например, в виде урины.

#### *Сухие фекалии после высушивания и хранения*

Одним из путей повторного цикла фекалий в производстве растений является посадка растений в смеси экскрементов, золы и почвы. Это традиционный метод во многих африканских странах, в которых сажают деревья даже в глубоких ямах. Пока фактический рост деревьев в этих ямах не получил научного обоснования по сравнению с наблюдением за деревьями, растущими на соседних поверхностных почвах, по этой проблеме существует много отчетов, касающихся стимулирования их роста. Усиленный рост происходит благодаря тому, что дерево захватывает нутриенты из компостированных экскрементов, содержащихся в ямах, хотя количество нутриентов в этих ямах высокое и не может быть полностью усвоено деревьями даже за десятилетия. Это метод является простым и дешевым экологическим методом, который может повысить интерес и к другим методам, при использовании которых нутриенты усваиваются более эффективно.

Полевые эксперименты недавно были начаты в Буркина Фасо (Клутсе (Klutse), личные заметки) на деревьях таких как манго и банановом дереве (Рисунок 11), где сухие фекалии используются как удобрение. Лопата с фекалиями смешивается с почвой в яме только перед посадкой каждого дерева. Но до сих пор нет результатов.

#### *Остатки распада*

Эффект, полученный от применения остатков распада органических отходов, был исследован в Швеции (Акерхилм (Åkerhielm) и Ричерт Штинтзинг, в прессе) и Индии (Годболь (Godbole) и др., 1988 г.). Результаты из Швеции показывают, что применение остатков распада давало урожаи, колеблющиеся от 72 до 105% по сравнению с урожаями с таким же количеством всего N в минеральном удобрении. Результаты из Индии показывают, что за четырехлетний период остатки распада, полученные на небольших биогазовых заводах, дали более высокие или такие же урожаи как навоз из фермерского двора или удобрения из мочевины при одинаковых уровнях применения всего N.



Рис. 11. Фруктовые деревья, растущие в ямах Арбор Лу в Малави. Арбор Лу показан на заднем плане. Фото: Питер Морган, Эквадор.

## Заключительные рекомендации

Эти руководства основаны на наших сегодняшних знаниях по использованию урины и фекалий в малой и крупномасштабной культивации. И мы предвидим разработку множества новых данных по повторному использованию экскретных удобрений. Поэтому, эти руководства должны обновляться каждые три года.

### ЭКСКРЕМЕНТЫ, ОБЩИЕ РЕКОММЕНДАЦИИ

- Экскременты следует содержать и обрабатывать согласно гигиеническому руководству (Шённинг и Штенштрём, 2004 г.).
- Урина и фекалии представляют собой полноценные высококачественные удобрения с низким уровнем заражения тяжелыми металлами. Лучший удобряющий эффект достигается, если они используются в сочетании друг с другом, но необязательно в тот же год и на той же территории.

### УРИНА

- Урина представляет собой быстродействующее богатое азотом полноценное удобрение. Ее нутриенты быстро утилизируются, если урина применяется перед посевом, до двух третей периода между посевом и сбором урожая.
- Урина может применяться в разбавленном или чистом виде. Однако доза применения всегда должна базироваться на желательной дозе применения азота, и урина или уриновая смесь должны содержаться в закрытых емкостях и быстро вноситься в почву, чтобы довести до минимума потери аммиака. Любые потенциальные потребности в дополнительной воде должны пополняться простой водой, а не разбавленной уриной.
- Рекомендуемые доза и время для применения химических азотных удобрений (мочевина или аммоний, если имеются) являются лучшим отправным пунктом для разработки местных

рекомендаций по дозам и времени применения урины. Для переноса таких рекомендаций на урину ее концентрация азота может рассчитываться в соотношении 3-7 гр на литр, если не имеется дополнительных знаний.

- Если трудно приобрести рекомендации, можно применить правило приблизительного расчета для применения мочи, собранной от одного человека в течение суток (24ч), на один квадратный метр культуры. Если вся урина собрана, ею можно удобрить 300-400 м<sup>2</sup>/чел. Для большинства культур максимальная дозировка применения до риска токсических эффектов составляет, по крайней мере, четырехкратную дозу.
- Для большинства культур и в большинстве случаев урожай будет постоянным при той же общей дозе применения урины независимо применена ли она один раз (в одной большой дозе) или несколько раз меньшими дозами. Для культур с меньшей корневой системой может считаться целесообразным поделить дозы применения, особенно если культуры имеют большие потребности в нутриентах и если основное усваивание нутриентов происходит в растительном сезоне.

## ФЕКАЛИИ

- Фекальное вещество особенно богато фосфором, калием и органическим веществом.
- И органическое вещество и зола, которые часто добавляются в фекалии, увеличивают буферную емкость и содержание рН почвы, что особенно важно на почвах с низким уровнем рН.
- Органическое вещество также улучшает структуру и водоудерживающую емкость почвы.
- Фекалии должны применяться в смешанном с почвой виде перед началом культивации. Местное применение в ямах или бороздах вблизи к посаженным деревьям - единственный путь экономии данного ценного продукта.
- Для фекалий доза применения может основываться на имеющихся рекомендациях по пользованию фосфорными удобрениями. Данные рекомендации предполагают низкую дозу применения и улучшение урожая благодаря добавленному органическому веществу. Однако фекалии часто применяются в более высоких дозах, при которых структура и водоудерживающая емкость почвы также заметно улучшаются.

## Пробелы в знаниях

Существует много пробелов в знаниях, касающихся пользования уриной и фекалиями как удобрениями. Недостаток в документированных исследованиях в этой области затрудняет разработку руководства по их пользованию. Однако эти продукты использовались в сельском хозяйстве с древних времен. Существует множество недокументированных знаний основанных на практике. Исследования по пользованию уриной и фекалиями как удобрениями нужны, особенно в следующих областях:

- Питательный эффект экскрементов на культуре и почве
- Стратегия и техника применения экскретных удобрений

- Эффективность хранения урины в почве
- Простая и результативная санитарно-гигиеническая техника по содержанию фекалий

## Адаптация данного руководства к местным условиям

Это руководство должно быть адаптировано к местным условиям. Сельскохозяйственные системы различаются, так же как и человеческая практика. Для начала национальные данные по содержанию нутриентов урины и фекалий, а также их количество, получаемое в течение года, могут быть разработаны исходя из расчетных методов, описанных выше в секции «Содержание макронутриентов в экскрементах» и дополнены соответствующими измерениями.

## Литература:

- Åkerhielm, H. & Richert Stintzing, A. In press. *Anaerobically digested source separated food waste as a fertilizer in cereal production*. Submitted to RAMIRAN, FAO International Conference Proceedings 2004.
- Arnbjerg-Nielsen, K., Hansen, L., Kjølholt, J., Stuer-Lauridsen, F., Hasling A.B., Stenström, T.A., Schönning, C., Westrell T., Carlsen, A. & Halling-Sørensen, B. 2003. 'Risk assessment of local handling of human faeces with focus on pathogens and pharmaceuticals'. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. p: 365.
- Andersson, Å. & Jensen, A. 2002. *Flöden och sammansättning på BDT-vatten urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers* (Flows and composition of greywater, urine, faeces and solid biodegradable waste in Gebers (in Swedish, English summary). Institutionsmeddelande 2002:05, Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Becker, W. 1994. *Befolkningens kostvanor och näringsintag i Sverige 1989* (Dietary habits and intake of nutrition in Sweden 1989). The National Food Administration. Uppsala, Sweden.
- Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H. & Kirchmann, H. 2001. 'Emission of CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes'. *Journal of Agricultural Engineering Research* **78**(4): 423-430.
- Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H., Eklind, Y. & Kirchmann, H. 2003. Composting of source-separated organic household waste at different oxygen levels: Gaining an understanding of the emission dynamics. *Compost Science & Utilization*, **11**(1): 41-50.
- Berg, J. 2000. *Storing and handling of biogas residues from big-scale biogas plants* (In Swedish). JTI report Kretslopp & Avfall 22, Swedish Institute for Agricultural and Environmental Research. Sweden.
- Berger, E.Y. 1960. 'Intestinal absorption and excretion'. In: Comar, C.L. & Bronner F. (eds) *Mineral Metabolism*. Academic Press, New York. pp 249-286.
- Båth, B. 2003. *Field trials using human urine as fertilizer to leeks* (In Swedish). Manuscript, Department of Ecology and Plant Production Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.
- Clark, G.A. 2003. *A test of the production of organically fertilized amaranth in Tehuixtla, Morelos, Mexico*. Manuscript available from [esac@laneta.apc.org](mailto:esac@laneta.apc.org).
- Eklind, Y. & Kirchmann, H. 2000. 'Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II. Nitrogen turnover and losses'. *Bioresource Technology* **74**(2): 125-133.
- FAO (2003). *FAOSTAT Nutrition data – Food Supply – Crops Primary Equivalent*. <http://apps.FAO.org/page/collections?subset=nutrition>, visited 2003-02-28.
- Fraústo da Silva, J.J.R. & Williams, R.J.P. 1997. *The Biological Chemistry of the Elements - The Inorganic Chemistry of Life*. Oxford, UK.



- Gao, X. Zh., Shen, T., Zheng, Y., Sun, X., Huang, S., Ren, Q., Zhang, X., Tian, Y. & Luan, G. 2002. *Practical manure handbook*. (In Chinese). Chinese Agriculture Publishing House. Beijing, China.
- Garrow, J.S. 1993. 'Composition of the body'. In: Garrow, J.S. & James, W.P.T. (eds) *Human nutrition and dietetics*, 9th ed. Churchill Livingstone, Edinburgh, UK.
- Godbole, S. H., Kulkarni, Y. S., Yeole, T. Y., & Wange, S. S. 1988. 'Evaluation of manurial value of the effluent slurry of gobargas plant on the yield of wheat' (Var. MACS-9). In: Mathur, A. N. & Verma, L. N. (eds) *Management and utilization of biogas plant slurry*. Himashu Publications, Udaipur, Rajasthan, India.
- Guadarrama, R. O., Pichardo, N. A., Morales-Oliver, E. 2001. 'Urine and Compost Efficiency Applied to Lettuce under Greenhouse Conditions in Temixco, Morales, Mexico'. In: *Abstract Volume*, First International Conference on Ecological Sanitation 5-8 November 2001, Nanning, China.
- Guyton, A.C. 1992. *Human Physiology and Mechanisms of Disease*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, USA.
- Haug, R. T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers, USA.
- Herberer, T., Schmidt-Bäumleer, K. & Stan, H-J. 1998. 'Occurrence and distribution of organic contaminants in aquatic system in Berlin. Part I: Drug residues and other polar contaminants in Berlin surface and groundwater.' *Acta hydrochim. hydrobiol.* **26**. 272-278.
- Jacks, G., Sefe, F., Carling, M., Hammar, M. & Letsamao, P. 1999. 'Tentative nitrogen budget for pit latrines – eastern Botswana'. *Environmental Geology* **38**(3): 199-203.
- Johansson, M., Jönsson, H., Höglund, C., Richert Stintzing, A. & Rodhe, L. 2001. *Urine separation – closing the nutrient cycle*. Stockholm Water Company. Stockholm, Sweden. Available at: [http://www.stockholmvatten.se/pdf\\_arkiv/english/Urinese\\_eng.pdf](http://www.stockholmvatten.se/pdf_arkiv/english/Urinese_eng.pdf).
- Jönsson, H., Stenström, T.A., Svensson, J. & Sundin, A. 1997. 'Source separated urine Nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination'. *Water Science and Technology* **35**(9):145-152.
- Jönsson, H. & Vinnerås, B. 2004. Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. pp 623-626.
- Jönsson, H., Eklind, Y., Albiñ, A., Jarvis, Å., Kylin, H., Nilsson, M.-L., Nordberg, Å., Pell, M., Schnürer, A., Schönning, C., Sundh, I. & Sundqvist, J.-O. 2003. *Samhällets organiska avfall – en resurs i kretsloppet* (The organic waste in society – a resource in the circulation; in Swedish). Fakta Jordbruk – No 1-2, SLU, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C. & Stenström, T.-A. 1999. Source separation of urine (Teilstromerfassung von Urin). *Wasser & Boden* **51**(11):21-25.
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.A., Dalhammar, G. & Kirchmann, H. 2000. *Källsorterad humanurin i kretslopp* (Recycling source separated human urine) (In Swedish, English summary). VA-FORSK Report 20001. VA-FORSK/VAV. Stockholm, Sweden.
- Kirchmann, H. & Pettersson, S. 1995. Human urine – chemical composition and fertilizer efficiency. *Fertilizer Research* **40**:149-154.
- Kvarmo, P. 1998. *Humanurin som kvävegödselmedel till stråsåd* (Human urine as nitrogen fertilizer to cereals) (In Swedish). MSc thesis 1998, no 107, Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Lentner, C., Lentner, C. & Wink, A. 1981. *Units of Measurement, Body Fluids, Composition of the Body, Nutrition*. Geigy Scientific tables. Ciba-Geigy, Basel, Switzerland.
- Lundström, C. & Lindén, B. 2001. *Kväveeffekter av humanurin, Biofer och Binadan som gödselmedel till höstvet, vårvete och vårkorn i ekologisk odling*. (Nitrogen effects of human urine and fertilizers containing meat bone meal (Biofer) or chicken manure (Binadan) as fertilizers applied to winter wheat, spring wheat and spring barley in organic farming) (In Swedish). Skara Series B Crops and Soils Report 8, Department of Agricultural Research, Swedish University of Agricultural Sciences. Skara, Sweden.
- Marschner, H. 1997. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd edition. Academic Press.
- Moe, C. & Izurieta, R. 2004. Longitudinal study of double vault urine diverting toilets and solar toilets in El Salvador. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. Pp 295-302.

- Morgan, P. 2003. *Experiments using urine and humus derived from ecological toilets as a source of nutrients for growing crops*. Paper presented at 3rd World Water Forum 16-23 March 2003. Available at: <http://aquamor.tripod.com/KYOTO.htm>.
- Odlare, M., Pell, M. & Persson, P.-E. 2000. *Kompostanvändning i jordbruket - en internationell utblick* (Compost use in agriculture - an international survey; in Swedish). RVF Utveckling Rapport 00:6, Svenska Renhållningsverksförbundet Service AB. Malmö, Sweden.
- Palmquist, H. & Jönsson, H. 2004. Urine, faeces, greywater, greywater and biodegradable solid waste as potential fertilizers. In: *Ecosan - closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, Incorporating the 1st IWA Specialist Group Conference on Sustainable Sanitation, 7th-11th April, Lübeck, Germany, pp. 587-594.
- Pieper, W. 1987. *Das Scheiss-Buch - Entstehung, Nutzung, Entsorgung menschlicher Fäkalien* (The shit book - production, use, Entsorgung human faeces; in German). Der Grüne Zweig 123, Werner Pieper and the Grüne Kraft. Germany.
- Richert Stintzing, A., Rodhe, L. & Åkerhielm, H. 2001. *Human urine as fertilizer - plant nutrients, application technique and environmental effects* (In Swedish, English summary). JTI-Rapport Lantbruk & Industri 278, Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Sweden.
- Rodhe L., Richert Stintzing A. & Steineck S., 2004. 'Ammonia emissions after application of human urine to clay soil for barley growth'. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **68**:191-198.
- Schönning, C. and Stenström, T.-A. 2004. *Guidelines for the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems*. Report 2004-1. EcoSanRes Programme. Stockholm Environment Institute.
- SEPA. 1999. *Stallgödselels innehåll av växtnäring och spårämne* (Content of plant nutrients and trace elements in farm yard manure; in Swedish) Report 4974, Swedish Environmental Protection Agency. Solna, Sweden.
- Simons, J. & Clemens, J. 2004. 'The use of separated human urine as mineral fertilizer'. In: *Ecosan - Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. pp 595-600.
- Swedish Food Authority. 2004. *Livsmedelsdatabasen* (The food database; in Swedish). Available at: [http://www.slv.se/default.asp?FrameLocation=/templates/SLV/SLV\\_Page\\_7369.asp](http://www.slv.se/default.asp?FrameLocation=/templates/SLV/SLV_Page_7369.asp).
- Sonesson, U. 1996. *The ORWARE Simulation Model - Compost and Transport Submodels*. (Licentiate thesis) Report 215, Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Sundin, A. 1999. *Humane urine improves the growth of Swiss chard and soil fertility in Ethiopian urban agriculture*. Thesis and Seminar projects No. 112, Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Thorup-Kristensen, K. 2001. 'Root growth and soil nitrogen depletion by onion, lettuce, early cabbage and carrot'. *Acta Horticulturae*. **563**: 201-206.
- Trémolières, J., Bonfilis, S., Carré, L. & Sautier, C. 1961. Une méthode d'étude de la digestibilité chez l'homme, le fécalogramme. *Nutritio et Dieta; European Review of Nutrition and Dietetics* 3: pp. 281-289.
- Udert, K.M., Larsen, T. & Gujer, W. 2003. Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* **37**: 2667-2677.
- USDA. 2004. *USDA National nutrient database*. Available at: [http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut\\_search.pl](http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl).
- Vinnerås, B. 2002. *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion*. Agraria 353, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.
- Vinnerås, B., Björklund, A., & Jönsson, H. 2003a. Disinfection of faecal matter by thermal composting - laboratory scale and pilot scale studies. *Bioresource Technology* **88**(1): 47-54.
- Vinnerås, B., Höglund, C., Jönsson, H. & Stenström, T.A. 1999. 'Characterisation of sludge in urine separating sewerage systems'. In: Klöve B., Etniner C., Jenssen P. & Maehlum T. (eds) *Proceedings of the 4th International Conference - Managing the Wastewater Resource Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. Norway. June 7-11. 1999.
- Vinnerås, B., Holmqvist, A., Bagge, E., Albiñ, A. & Jönsson, H. 2003b. Potential of disinfection of separated faecal matter by urea and PAA for hygienic nutrient recycling. *Bioresource Technology* **89**(2): 155-161.

*Личные заметки*

Klutse, Amah. Research Coordinator, CREPA, Burkina Faso. 2003-11-14. amahklutse@yahoo.fr.

Dembele, Sidiki Gabriel. Member of Comité Technique Regionale, CREPA. 2003-11-06. sidikigabriel@hotmail.com.

EcoSanRes - это международная программа исследований и развития спонсируемая Sida (Шведское Международное Агентство Развития и сотрудничества). Она включает обширную работу с партнерами, имеющими знания/опыт в различных аспектах экологической устойчивости от охраны окружающей среды и гигиены до технических аспектов и повторного использования ресурсов. Эти партнеры представляют университеты, НПО и консультантов, они вовлечены в исследования, подготовительную работу и осуществление проектов в Азии, Африке и Латинской Америке.

Организационный центром работы является Стокгольмский Институт Окружающей Среды (SEI), который формально является владельцем контракта с Sida. EcoSanRes стала влиятельной международной структурой в области экологии, которая к тому же сотрудничает с другими двусторонними и многосторонними организациями такими как ВОЗ, ЮНИСЕФ, ПРООН, ЮНЕП, GTZ, WASTE, IWA (Международное соглашение по пшенице), WSP и др.

Программа EcoSanRes состоит из трех главных компонентов:

- Продвижение вперед
- Нарращивание потенциала
- Внедрение

Продвижение вперед осуществляется через подготовительную работу по установлению связей и распространению знаний посредством организации семинаров, конференций, дискуссионных групп в Интернете и публикаций

Нарращивание потенциала осуществляется посредством тренинговых курсов по экологическим проблемам, проведением обучения и выпуском руководств, охватывающих дизайн экологических туалетов, переработку бытовых сточных вод, аспекты архитектуры, повторное использование ресурсов в сельском хозяйстве, справочники по здравоохранению, методику планирования и др.

Внедрение переносит теорию в практику с экологическими санитарными пилотными проектами в разных частях мира. Потому что наиболее важным фактором для успешного внедрения экосанитарной системы является адаптация к местным условиям. EcoSanRes предоставляет логическую основу для перспективных пилотных проектов и настаивает на том, чтобы проекты отвечали строгим критериям, перед тем как принять их

EcoSanRes в настоящее время осуществляет три главных пригородных пилотных проекта в Китае, Южной Америке и Мексике. Дополнительно делаются аналогичные разработки проектов в Боливии и Индии.

Для получения дополнительной информации о партнерских организациях и программах, пожалуйста, проконсультируйтесь на сайте

**[www.ecosanres.org](http://www.ecosanres.org)**