

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045841**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.12.29

(51) Int. Cl. *A01G 24/30* (2018.01)

(21) Номер заявки
202291423

(22) Дата подачи заявки
2020.12.15

(54) **ПРИМЕНЕНИЕ САЖИ ДЛЯ ОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОЧВЫ**

(31) 19217107.2

(56) US-A-2877599
KR-A-20070066467
RU-C1-2301249

(32) 2019.12.17

(33) EP

(43) 2022.10.13

(86) PCT/EP2020/086071

(87) WO 2021/122500 2021.06.24

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
БАСФ СЕ (DE)

(72) Изобретатель:
**Флик Дитер, Шайфф Фредерик,
Хайндль Максимилиан, Виссемайер
Александр, Боде Андреас (DE)**

(74) Представитель:
Беляева Е.Н. (BY)

(57) Изобретение касается применения сажки для оструктурирования почвы, например для стимулирования роста растений, стимулирования дренирования почвы и предотвращения эрозии, испарения и заиления. Сажку вносят в верхний слой почвы.

B1

045841

045841

B1

Настоящее изобретение касается применения сажи для оструктурирования почвы, например для стимулирования роста растений, стимулирования дренирования почвы и предотвращения эрозии, испарения и заиления. Сажу вносят в верхний слой почвы.

Почва является наиболее важным производственным фактором для фермеров, и поэтому главная задача фермера состоит в том, чтобы предотвратить эрозию, испарение и заиление. Мульчу в настоящее время используют для борьбы с эрозией, испарением, сорняками и истощением гумуса. В качестве мульчи обычно используют растительные остатки промежуточной культуры или солому предыдущего урожая.

Недостаток мульчи заключается в том, что органическая масса связывает активные ингредиенты, такие как гербициды, и тем самым снижает их действие. Посев мульчи также требует значительных временных и денежных затрат.

Помимо посева мульчи, иногда на полях разбрасывают компост. В зависимости от типа компоста в течение нескольких дней может сохраняться неприятный запах.

US 2877599 раскрывает, что сажа, имеющая большой объем для своего веса, может включаться в почву, чтобы затемнить ее и улучшить нагрев от солнечного излучения, а также поглощение и удержание воды. US 2,877,599 раскрывает, что сажа настолько легкая и рыхлая (размер агрегатов 85-500 нм, агломератов 1-100 мкм, плотность 1,7-1,9 г/см³), в некотором смысле крайне летучая, что ее нельзя осаждать непосредственно на землю. Простое ее разбрасывание приводит к тому, что значительный процент сажи "испаряется" в воздух, а оставшаяся часть быстро уносится или сносится ветром. В US 2877599 подводится итог о том, что сажу практически невозможно добавлять непосредственно в почву. Таким образом, US 2877599 раскрывает структурообразователь почвы в форме компактных гранул, содержащий 5-40%, предпочтительно 10-20% сажи, до 50% гипса, до 1% связующего вещества и до 95% органического волокнистого материала, т.е. шлама с предприятий по переработке сточных вод, отработанного щелока с бумажных фабрик или гумуса. Структурообразователь почвы наносят на почву в количестве в диапазоне 200 фунтов (90 кг) - 2 т/а (0,405 га). Желательно, чтобы структурообразователь почвы проник в землю на глубину 2 дюймов в течение двух лет. Гранулы имеют диаметр и длину в диапазоне от 1/4 до 3/16 дюйма.

US 3345773 раскрывает использование углеродистых твердых частиц диаметром 0,08-0,5 дюйма в качестве мульчи для стимулирования прорастания и роста растений за счет нагревания почвы, предотвращения коркообразования на почве и удержания в ней влаги. Описаны различные полезные твердые углероды, например уголь, т.е. лигниты, антрациты, а также битумные угли и кокс, полученный из углей и нефти. По определению твердый углерод включает твердые вещества, состоящие в основном из углерода с содержанием летучих веществ менее чем около 25 мас.% и полученные из источников угля или углеводородов. Мульчу наносят на твердое вещество, чтобы обеспечить слой над семенами толщиной 0,125-1,5 дюйма. Предпочтительно углеродсодержащие твердые вещества смешивают с водонепроницаемым материалом для создания водного барьера.

US 3341318 раскрывает состав мульчи, содержащий композиции лигнинсульфоната, побочный продукт бумажной промышленности, технический углерод и воду. Эти составы мульчи обеспечивают повышенную температуру почвы, тем самым способствуя более качественному прорастанию семян сельскохозяйственных культур, более раннему появлению всходов и созреванию, сохраняют почвенную влагу, уменьшают потери почвы, выдуваемой ветром, легко распыляются без засорения форсунок аппликатора и не вызывают коррозии оборудования, которое используют для их внесения. При желании, сажу можно исключить из мульчи, если ее используют в первую очередь для гербицидного воздействия.

JP 9310068 касается структурообразователя почвы, содержащего углеродный материал с высокой удельной площадью поверхности 30-500 м²/г, состоящей из остатков сжигания отходов резиновых изделий.

Источники углерода неизвестного состава, т.е. углеродсодержащие отходы, потенциально опасны, поскольку они могут содержать компоненты, являющиеся вредными для окружающей среды или токсичными. Нормы охраны окружающей среды требуют, чтобы добавки к почве, например структурообразователи, являлись безопасными и не добавляя в почву загрязняющих веществ.

Ввиду неизвестных компонентов, использующих отходы, WO 2012/15313 раскрывает систему для производства структурообразователя почвы, отличающуюся тем, что газообразный источник углеводородов подают на установку плазменного крекинга, а полученный плазменный углерод подают на установку, в которой плазменный углерод смешивают с субстратом для получения структурообразователя почвы, обогащенного углеродом. В качестве субстрата для смешивания с углеродом могут выступать различные виды почвы, такие как песок, глина или органические отходы. В документе сообщается о том, что плазменный углерод с небольшими размерами конкреций (<100 нм) имеет несколько преимуществ в качестве структурообразователя почвы, поскольку он поглощает УФ-излучение и за счет этого обеспечивает защиту микроорганизмов, жизненно важных для хороших условий роста в почвах, подверженных сильному солнечному излучению. В WO 2012/15313 речь идет о том, что большая площадь поверхности от 50 до 1000 м²/г важна для улучшения влагоудерживающих свойств и, соответственно, предотвращения обезвоживания почвы. Помимо того недостатка, что для гранулирования сажи приходится прикладывать определенные усилия, WO 2012/15313 раскрывает, что субстраты на основе сажи имеют пост-

янную тенденцию к пылеобразованию. Пыль усиливает эрозию и истощение гумуса, и правила охраны окружающей среды требуют, чтобы почвенные добавки использовались в форме, не содержащей пыли.

Хотя использование углерода в качестве структурообразователя почвы в литературе имеет долгую историю, о его широком применении ничего не известно.

В последнее время с учетом истощения гумуса, изменения климата и вопросов управления органическими отходами в качестве многообещающего структурообразователя почвы упоминается биоуголь.

В основном заявлено три преимущества биоугля: Улучшение почвы, сокращение N_2O и секвестрация углерода. Большая площадь поверхности биоугля может обеспечить долгосрочное хранение воды, функциональные группы могут связывать питательные вещества, а черный цвет может улучшить прогревание почвы. Изменение физической среды обитания в отвалах может привести к трансформациям в микробном сообществе и обеспечить подавление выбросов N_2O . Полициклические ароматические соединения биоугля разлагаются медленнее, чем исходная биомасса, являющаяся поглотителем углерода.

Однако большинство недавних исследований показало лишь небольшое или незначительное влияние на урожайность. (Martin Bach, Burkhard Wilske & Lutz Breuer (2016): Current economic obstacles to biochar use in agriculture and climate change mitigation, Carbon Management (Текущие экономические препятствия для использования биоугля в сельском хозяйстве и смягчения последствий изменения климата, Управление Выбросами Углерода), DOI: 10.1080/17583004.2016.1213608; Steffens (2019), Kohlenstoff in den Boden bringen (Внесение углерода в почву). Lumbrico 3, 36-39; Borchard, N., Siemens, J., Ladd, B., Möller, A., Amelung, W. (2014) Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. Soil and Tillage Research (Внесение биочаров в песчаную и илистую почву не привело к увеличению урожайности кукурузы при обычной сельскохозяйственной практике. Исследование почвы и обработки почвы) 144, 184-194).

Средняя стоимость биоугля в настоящее время составляет около 400 евро за 1 т. При использовании около 10 т/га прибыль от повышения урожайности оценивается в размере от 1 до 10 евро на 1 т в год. При предполагаемом среднем периоде полураспада биоугля в 20 лет его крупномасштабное применение в сельском хозяйстве пока не выгодно (см.е Bach, Müll und Abfall (2017); BUND (Союз охраны окружающей среды и природы) (2015), Terra Preta / Pyrolysekohle - BUND Einschätzung ihrer Umweltrelevanz (Пиролизный уголь - BUND Оценка экологического значения)). Кроме того, сомнительно, что объемы биоугля, которые потенциально доступны в течение года, смогут удовлетворить рыночный спрос.

Таким образом, учитывая текущую стоимость биоугля, его экономическая целесообразность не может рекомендовать его повсеместное использование в сельскохозяйственном растениеводстве. Кроме того, процесс преобразования биомассы в пиролизированный биоуголь также необходимо критически оценивать с точки зрения содержания загрязняющих веществ в продукте (особенно ПАУ).

В US 2013/312472 раскрыта композиция, содержащая пиролизированную биомассу, которую используют для улучшения почвы. Указанная пиролизированная биомасса может содержать более 95 мас.% углерода и может представлять собой гранулированную композицию с частицами размером 1 мм. В US 2013/312472 упоминается, что благодаря высокой пористости биоуголь накапливает питательные вещества и микроорганизмы, благодаря чему растения растут даже в сильно пористых почвах. Поверхность БЭТ анализируют на наличие древесины, соломы, зеленых отходов и водорослей и определяют, что она находится в диапазоне 20-200 м²/г при температуре пиролиза 600-750°C.

US 8361186 раскрывает, что материал биомассы может подвергаться пиролизу, и такой гранулированный пироуглерод может быть использован в качестве структурообразователя почвы. Установлено, что содержание углерода находится в диапазоне 10-99,5 мас.%, а площадь поверхности - в диапазоне 1-5000 м²/г.

US 2019/002764 также раскрывает использование пиролизированного и обогащенного кислородом биоугля с оптимизированной гидрофильностью в качестве субстрата для кондиционирования почвы. Субстрат представляет собой гранулированный материал с размером частиц до 3 мм, содержанием углерода в диапазоне 65-75 мас.% и площадью поверхности в диапазоне 0,1-800 м²/г.

Кэтрин Вебер и Питер Куикер (Kathrin Weber and Peter Quicker) проанализировали множество образцов биоугля в своей работе Fuel 217 (2018)240-261. Содержание углерода находится в диапазоне 50-95 мас.%, плотность биоугля находится в диапазоне 0,4-0,75 г/см³, объемная плотность составляет около 0,3 г/см³ и БЭТ находится в диапазоне 1-700 м²/г, и общий объем порового пространства составляет 1-4,8 см³/г, а все параметры зависят от температуры пиролиза.

Общепринятым методом стимулирования прорастания семян и роста растений является покрытие черной фольгой. Недостатки хорошо известны:

- отсутствие инфильтрации воды,
- использование микропластика,
- дорогостоящий и трудоемкий способ, негативно влияющий на ландшафт.

Помимо проблем эрозии и испарения почвы, серьезной проблемой ввиду возрастающего риска проливных дождей из-за изменения климата являются инфильтрация и закупорка воды. Под закупоркой понимается смещение частиц почвы с ее поверхности каплями дождя или движением воды в целом. При ударе капель (град, сильный дождь, непрерывный дождь, орошение) почвенные агрегаты более или ме-

нее механически дробятся, и при этом удаляются мелкие частицы или отдельные зерна. Последствия закупорки:

- (i) выравнивание; это приводит к ускорению поверхностного стока;
- (ii) закрытие пор почвы; это приводит к снижению водопоглощения (инфильтрации); и
- (iii) образование корки после высыхания; это затрудняет проникновение прорастающих растений через поверхность почвы.

Задачей настоящего изобретения является предоставление способа стимулирования роста растений.

Еще одной задачей настоящего изобретения является предоставление способа стимулирования роста растений за счет уменьшения эрозии ветром и/или дождем.

Еще одной задачей настоящего изобретения является предоставление способа стимулирования роста растений за счет снижения потерь влаги в атмосферу и обеспечения за счет этого высокого содержания влаги в почве.

В дополнение, еще одной задачей настоящего изобретения является предоставление способа стимулирования роста растений за счет увеличения способности поглощения лучистого тепла посевным ложем, уменьшения потребности в поливе, снижения риска закупорки, образования корки, заиливания и/или подавления роста сорняков.

Еще одной целью настоящего изобретения является создание процесса для стимулирования роста растений за счет снижения потерь влаги в атмосферу и обеспечения за счет этого высокого содержания влаги в почве.

Еще одной целью настоящего изобретения является создание структурообразователя почвы, не содержащего загрязняющих веществ и безвредного для почвы и растений даже в больших количествах.

Еще одной целью настоящего изобретения является создание углеродсодержащего структурообразователя почвы, который не поддается биологическому разложению и поэтому не выделяет углекислый газ.

Еще одной целью настоящего изобретения является создание структурообразователя почвы, являющегося альтернативой биоуглю, который доступен по разумной цене и в достаточном количестве для удовлетворения потребностей рынка.

Неожиданно было установлено, что эффект от использования сажи в качестве структурообразователя почвы зависит от способа нанесения. При использовании слоя сажи сверху усиление роста растений, которое описано в работах на существующем уровне техники, не происходило. В то же время равномерное смешивание с верхним слоем почвы обеспечивало как увеличение сухого вещества побегов, так и сухого вещества в початках кукурузы.

Настоящее изобретение предоставляет способ оструктурирования почвы, включающий (i) нанесение от 0,5 до 500 т/га сажи на верхний слой почвы сельскохозяйственного поля и (ii) внесение этой сажи в верхний слой почвы.

Кроме того, настоящее изобретение предусматривает использование сажи для оструктурирования почвы, например для стимулирования роста растений, дренажа почвы, предотвращения испарения и заиливания.

Сажа хорошо известна специалистам в рамках современного уровня техники и, например, описана в "Энциклопедии промышленной химии" Ульмана или в "Энциклопедии химической технологии" Кирка-Отмера. Характеристики сажи в основном приводятся в классификациях Американского общества по испытанию материалов.

Сажа - это коммерческая форма агрегатов углеродных частиц. Сажа, как правило, содержит более 95% чистого углерода при минимальных количествах кислорода, водорода и азота. В процессе производства образуются частицы сажи размером от 10 до примерно 500 нм. Они объединяются в агрегаты цепочечного типа, которые определяют структуру отдельных сортов сажи.

Содержание углерода в саже предпочтительно составляет 80-99,8 мас.%, более предпочтительно 85-99,5 мас.%, еще более предпочтительно 90-99,5 мас.%, еще более предпочтительно 95-99,5 мас.%. Как правило, примеси сажи представляют собой:

S в диапазоне 0-2 мас.%, предпочтительно 0-1 мас.%, более предпочтительно 0-0,5 мас.%;

H₂ в диапазоне 0-10 мас.%, предпочтительно 0-5 мас.%, более предпочтительно 0-2 мас.%, более предпочтительно 0-1 мас.%;

O в диапазоне 0-2 мас.%, предпочтительно 0-1,5 мас.%, более предпочтительно 0-1 мас.%, более предпочтительно 0-0,5 мас.%;

N в диапазоне 0-5 мас.%, предпочтительно 0-3 мас.%, более предпочтительно 0-2 мас.%, более предпочтительно 0-1 мас.%.

Как правило, плотность сажи находится в диапазоне 1-3 г/см³, предпочтительно 1-2 г/см³, предпочтительно 1,5-2 г/см³ (плотность частиц). Как правило, объемная плотность сажи находится в диапазоне 0,01-0,75 г/см³, предпочтительно 0,05-0,5 г/см³, более предпочтительно 0,1-0,25 г/см³.

Как правило, удельная площадь поверхности сажи, измеренная с помощью ртутной порометрии (DIN66133), находится в диапазоне 5-1500 м²/г, предпочтительно 10-1000 м²/г, предпочтительно 10-500 м²/г, предпочтительно 10-250 м²/г, более предпочтительно 10-200 м²/г, еще более предпочтитель-

но 20-150 м²/г.

Предпочтительно сажа представляет собой гидрофобный материал с предпочтительным краевым углом смачивания каплей воды более 70, предпочтительно более 80, более предпочтительно более 90.

В качестве сажи в рамках настоящего изобретения может использоваться известная специалистам плазменная сажа.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения сажа может использоваться напрямую в том виде, в котором она получена посредством плазменного процесса, с размером первичных частиц предпочтительно 1 нм - 1 мкм, более предпочтительно 5-500 нм, более предпочтительно 10-300 нм.

В еще одном варианте осуществления изобретения сажа может использоваться в виде гранул с частицами размером предпочтительно 0,3-8 мм, предпочтительно 0,5-5 мм, более предпочтительно 1-4 мм. Современным специалистам хорошо известно гранулирование сажи, где, как правило, в качестве связующего вещества может быть использована вода.

Структурообразователь почвы может быть использован в количестве 0,5-500 т/га, предпочтительно 2-200 т/га, более предпочтительно 5-20 т/га.

Предпочтительно сажу вносят в почву на глубину до 50 см, еще более предпочтительно на глубину до 30 см, еще более предпочтительно на глубину до 20 см, еще более предпочтительно на глубину до 10 см, еще более предпочтительно на глубину до 5 см, еще более предпочтительно на глубину до 3 см. Предпочтительно сажа вносится в верхний слой почвы на глубину по меньшей мере 3 см, более предпочтительно на глубину по меньшей мере 5 см, еще более предпочтительно на глубину по меньшей мере 10 см.

Предпочтительно сажа вносится в верхний слой почвы равномерно.

Методы внесения сажи в верхний слой почвы известны специалистам в данной области, например, с применением почвообрабатывающей техники.

Кроме того, изобретение относится к смеси грунта и сажи, содержащей 0,25-25 мас.% сажи (мас./мас.) (композиция почвы, содержащая 0,25-25 мас.% сажи), предпочтительно 0,5-20 мас.%, еще более предпочтительно 1-15 мас.%, еще более предпочтительно 1-10 мас.%, еще более предпочтительно 1-7,5 мас.%. еще более предпочтительно 1-5 мас.%, еще более предпочтительно 1-2,5 мас.%.

При необходимости, к смеси грунта и сажи добавляют дополнительные компоненты, предпочтительно одну или несколько различных органических или неорганических добавок, например агрохимически активное вещество из группы фунгицидов, бактерицидов, гербицидов и/или регуляторов роста растений.

При необходимости, субстрат для оструктурирования почвы можно смешивать с другими часто используемыми субстратами для оструктурирования, такими как удобрения, известковый материал, общеизвестный почвоулучшитель, среда для выращивания, ингибитор и/или биостимулятор растений согласно нормам Регламента (ЕС) 2019/1009, и применять в качестве смеси. В некоторых случаях размер частиц субстрата для оструктурирования почвы может быть адаптирован к субстрату для совместного оструктурирования, например, через классификацию.

При необходимости, сажа может содержать различные органические или неорганические добавки, например, агрохимически активное вещество из группы фунгицидов, бактерицидов, гербицидов и/или регуляторов роста растений.

Преимущества.

Найден структурообразователь для верхнего слоя почвы. Таким образом, сажу можно использовать непосредственно в качестве структурообразователя почвы без какого-либо этапа гранулирования.

Неожиданно, и в отличие от того, что предусмотрено в WO 2012/15313, данный структурообразователь почвы снижает пылеобразование в почве и, следовательно, уменьшает уязвимость к ветровой эрозии, что во всем мире является большой проблемой для сухой почвы без растительного покрова.

При смешивании почвы с сажой почву легче обрабатывать, а ее комки легко распадаются на более мелкие агрегаты. Таким образом, с этой почвой легче работать в сельскохозяйственной отрасли, например бороной, плугом или с использованием иных средств, таких как грабли. За счет снижения мощности, необходимой для обработки почвы после внесения в нее сажи, обеспечивается экономия ископаемого топлива, а, следовательно, и выбросов CO₂.

Кроме того, сажа может оставаться в почве без превращения в углекислый газ.

Пример.

1. Характеристики.

В ходе экспериментов были опробованы различные области применения сажи.

Таблица 1а

Характеристики сажи

	Сажа (Cancarb Thermax N990 ultra pur)
Содержание углерода	>95 мас. %
Размер частиц	280 нм
БЭТ	10,3 м ² /г
Плотность	1,7-1,9 г/см ³

Таблица 1б

Характеристики биоугля

	Биоуголь 1	Биоуголь 2	Биоуголь 3	Биоуголь 4
Биоуголь	Изготовлен из древесины ели (Prodana GmbH)	Изготовлен из корня виноградной лозы (Hochschule Geisenheim University)	Изготовлен из зеленых черенков (Hochschule Geisenheim University)	Изготовлен из пшеничной соломы (Hochschule Geisenheim University)
Содержание углерода	86 мас.-%	-**	-**	-**
Размер частиц	1-2 мм	-**	-**	1-2 мм
БЭТ	58,9 м ² /г	-**	-**	113 м ² /г
Поверхность Ленгмюра	82,1 м ² /г	-**	-**	156 м ² /г
Плотность (г/см ³)	< 1*	1,13 ± 0.01	0.95 ± 0.13	< 1*
Объемная плотность (г/см ³)	0.227	-**	-**	0.187

* Плавает на поверхности, даже если раствор содержит увлажняющий реагент.

** Данные пока недоступны.

Таблица 1с

Характеристика гранулированного пироуглерода

	Гранулированный пироуглерод
Содержание углерода	98 мас.-%
Размер частиц	1,5 - 2,0 мм
БЭТ	<0,10 м ² /г
Плотность	1,98 г/см ³

Гранулированный пироуглерод получали разложением природного газа и нанесением на носитель прокаленного нефтяного кокса (носитель с размером частиц 0,5-2,5 мм, содержанием серы 1,1 мас. % и истинной плотностью в ксилоле 2,09 г/см³) в кипящем слое при температуре 1100-1300°C и давлении 1-2 бар (абс.).

БЭТ: измерена в соответствии с описанием в DIN ISO 9277.

Плотность: Удельный вес (плотность) определяли по закону Архимеда в чистой воде (см. Википедию). Часть экспериментов была проведена в воде с добавлением увлажняющего реагента для снижения поверхностного натяжения воды, чтобы и гидрофобные частицы могли погружаться в воду, если удельный вес составляет ≥ 1 г/см³.

Объемная плотность: ASTM C559 "Стандартный метод определения объемной плотности путем физического измерения промышленных углеродных и графитовых изделий".

2. Ветровая эрозия.

Модель эксперимента: Установка аэродинамической трубы с градиентом различных скоростей ветра от 0 до 7 км/ч (измерено ручным аэрометром Lechler Pocketwind IV, который помещали на перевернутые чашки Петри, на которые также наносили материалы (сажа, биоуголь 1, биоуголь 4).

2.1. Скорость ветра.

Перевернутые чашки Петри, на которые выкладывали 1,5 г материала, помещали в аэродинамическую трубу и увеличивали скорость ветра.

Таблица 2

Скорость ветра, с которой первые частицы были сдуты с чашек Петри	
	Скорость ветра
Сажа	3,6 км/ч
Биоуголь 1	1,6 км/ч
Биоуголь 4	1,4 км/ч

2.2. Убыль материала.

Перевернутые чашки Петри, на которые выкладывали 1,5 г материала, помещали в аэродинамическую трубу при скорости ветра 6,4 км/ч. После 5 мин воздействия ветра оставшийся на чашках Петри материал взвешивали.

Таблица 3

Материал, оставшийся на чашках Петри после 5-минутного воздействия ветра

	Материал, оставшийся на чашках Петри [г]	Материал, оставшийся на чашках Петри [%]
Сажа	1,38 г	93 %
Биоуголь 1	0,58 г	39 %
Биоуголь 4	0,54 г	36%

При покрытии верхнего слоя почвы сажей уменьшается ветровая эрозия.

3. Пылеобразование.

Пылеобразование сажи, пироуглерода, воздушно-сухой почвы из Лимбургерхофа и смесей сажи и пироуглерода с воздушно-сухой почвой из Лимбургерхофа количественно рассчитывали в стандартных условиях с использованием устройства "DustView II" производства компании Palas GmbH, Карлсруэ, Германия, согласно рекомендациям производителя (<https://www.palas.de/product/dustview2>).

Материал в количестве 30 г сбрасывают с высоты 750 мм и образование пыли количественно определяют как ослабление лазерного луча в помещении с пылью (0 = отсутствие пылеобразования, 100 = максимальное ослабление света под действием пыли). Пылевое число рассчитывают как интеграл ослабления света за промежуток времени в 30 с. Для каждого образца выполняли три измерения, после чего результаты оценивали статистически с помощью дисперсионного анализа.

Таблица 4

Пылеобразование			
	Среднее измеренное пылевое число	Стандартное отклонение	Рассчитано по «пылевому числу» смесей из компонентов, исходя из аддитивных взаимодействий
Почва из Лимбургерхофа	71,7	± 5,9	
Пироуглерод	2,4	± 0,5	
Сажа	3,7	± 1,1	
Сажа с 2,44 мас./мас.% пироуглерода	58,7	± 8,5	70,0
Сажа с 1,23 мас./мас.% пироуглерода	34,8	± 1,9	70,8
Сажа с 2,44 мас./мас.% пироуглерода	27,1	± 3,1	70,0
Сажа с 4,76 мас./мас.% пироуглерода	21,9	± 1,6	68,4

По результатам измерений было установлено, что пылевое число воздушно-сухой почвы из Лимбургерхофа намного выше, чем только отдельные числа для пироуглерода или сажи, при этом число для пироуглерода ниже, чем для сажи. Смеси почвы с пироуглеродом и сажой значительно снижают пылеобразование. Однако, если учесть низкий собственный показатель пылеобразования пироуглерода в смеси с почвой, низкое пылевое число почвы с 2,44% пироуглерода, равное 70,0, статистически не отличается от необработанной почвы (71,7±5,9).

Но при этом с увеличением количества вносимой в почву сажи (1,23, 2,44, 4,67% по массе) пылеобразование значительно снижается, что нельзя объяснить эффектом разбавления, как в случае с пироуглеродом.

Таким образом, именно сажа, а не пироуглерод обладает сильным собственным действием в части снижения пылеобразования сухой почвы при ее использовании в качестве добавки.

4. Комки почвы и ее обработка, удобообрабатываемость почвы.

Почву из Обердинга (пылеватый суглинок, рН(CaCl₂) 7,5) без почвенных добавок, обработанную сажой 8 т/га (вносили примерно за год до оценки структуры поверхности), сравнивали на наличие комков (почвенных агрегатов) через две недели после того, как почвы равномерно разгребли. При каждой обработке случайным образом отбирали четыре участка почвы (по 0,35 м² каждый), после чего их фотографировали. На распечатке при помощи линейки можно увидеть комки длиной >40 мм и ≥10-40 мм в длину, подсчитывали и вычисляли в виде количества на 1 м². С применением дисперсионного анализа рассчитали значимость различий между разными вариантами обработки почвы.

Таблица 5

Наличие комков почвы после разгребания		
	Количество комков почвы > 40 мм на м ² ; среднее, ± SD	Количество комков почвы ≥ 10 мм to < 40 мм на м ² ; среднее, ± SD
Почва без сажи	18,4, ± 11,4	57,7, ± 29,1
Почва с 8 т/га сажи	6,8, ± 3,7	19,8 ± 2,5
Почва с 8 т/га пироуглерода	19,9 ± 6,3	49,8 ± 11,2

Комков почвы размером >40 мм в длину получают на 60% меньше при обработке почвы сажой (P=0,10), тогда как комков почвы размером ≥10 и <40 мм меньше на 66% (P=0,04).

Более того, было зафиксировано, что физическая сила, необходимая для обработки, в почве, обработанной сажой, была меньше по сравнению с необработанной почвой. После добавления гранулированного пироуглерода воздействие на комки почвы и ее удобообрабатываемость отмечены не были.

Подводя итог, можно утверждать, что значительное воздействие на почву при добавлении сажи было неожиданно обнаружено по физическим свойствам почвы, что не отмечалось в случае с пироуглеродом.

5. Способность к водопоглощению.

Вначале образцы высушили. Влажность воздуха постепенно увеличивали от 0 до 90% с шагом в 10%, в то время как критерием для следующего этапа было колебание массы <0,05% за 45 мин.

Таблица 6

Влагопоглощение					
Образец	Влагопоглощение [мас. %]	Начальное значение отн. влажности воздуха	Длительность	Конечное значение отн. влажность воздуха	Температура
Сажа	0,031%	0%	147ч	70%	25°C
Биоуголь 1	7,25%	0%	147ч	70%	25°C
Биоуголь 4	12,5%	0%	147ч	70%	25°C
Пироуглерод	0,0023%	0%	147ч	70%	25°C

В табл. 6 показано низкое водопоглощение сажи и пироуглерода по сравнению с биоуглем из-за малой площади поверхности и ее гидрофобности.

6. Образование биомассы.

Применение (см. фигуру) и методы испытаний.

Вегетационный опыт с кукурузой.

Почву из Лимбургерхофа (суглинистый песок, pH 6,8) использовали для помещения в так называемые вегетационные сосуды Митчерлиха, наполненные 6,4 кг сухой почвы в каждом из горшков. В качестве основного удобрения в каждом горшке использовали 99 мг магния в виде $MgSO_4 \times 7 H_2O$ и 0,436 г фосфора, 1,1 г калия в виде K_2HPO_4 и 1 г натрия в виде NH_4NO_3 .

Образцы углерода были однородно смешаны с почвой (Применение А) либо равномерно смешаны с 1 кг почвы, которая была помещена поверх других неизменных 5,4 кг почвы (Применение В) либо образцы углерода были помещены поверх почвы после появления всходов кукурузы через девять дней после посева (Применение С), см. фигуру.

При площади почвы 314 см^2 на один горшок 2, 4, 8, 16 т С/га равно 6,3, 12,5, 25, 50 г ц/горшок соответственно.

Шесть семян кукурузы обыкновенной сорта "Амадео" высеяли в горшки (5 июня 2019 г.). После появления всходов растения сначала равномерно прореживали до трех растений в горшке, а затем до одного растения в горшке, которое далее культивировали до полного созревания. В качестве второй подкормки горшки удобряли 1 г N в виде NH_4NO_3 и, наконец, в качестве третьей подкормки в каждый горшок вносили 6,7 г комплексного удобрения Нитрофоска® перфект (15+5+20S+2+8+ следовых элементов) 28 июня.

Каждую операцию обработки сажей повторяли 4 раза, так что с необработанным контрольным образцом проводили в общей сложности 8 повторных обработок. Горшки разместили полностью случайным образом на конвейерном столе в Вегетационном зале в Лимбургерхофе, описание которого было приведено Юнгом (1967).

С понедельника по пятницу горшки поливали два раза в день после взвешивания до 70% от максимальной водоудерживающей способности почвы. (Различия в весе горшков из-за добавления образцов углерода учитывали по дополнительному весу). В субботу и воскресенье горшки поливали согласно принципам садоводства по мере необходимости без взвешивания.

Урожай собирали 2 октября путем разделения побега на початок и остальную часть растения, чтобы можно было определить как общее содержание сухого вещества (табл. 7), так и содержание сухого вещества в початке (табл. 8) после сушки растительной биомассы в печи с принудительной вентиляцией при 80°C до постоянного веса.

Применение А: равномерное смешивание со всей почвой, использованной в горшке (0-15 см, 6,4 кг почвы).

Применение В: равномерное перемешивание с верхним слоем почвы (0-3 см, 1 кг почвы).

Применение С: мульчировать поверхность почвы через 9 дней после появления всходов.

Фигура: Применение А, В, С и помещение сажи в испытательные горшки с кукурузой.

Сравнение результатов испытаний.

Таблица 7

Общее количество сухого вещества побегов на растение кукурузы и горшок в граммах, как среднее значение n повторений, \pm стандартное отклонение и как процент от необработанных контрольных образцов = 100%

Применение	Контроль	Сажа (2 т/га)	Сажа (4 т/га)	Сажа (8 т/га)	Сажа (16 т/га)
А	105,2 $\pm 5,9$ (n = 8) (100%)	113,2 $\pm 4,1$ (n = 4) (108%)	117,6 $\pm 5,3$ (n = 4) (112%)	115,7 $\pm 13,2$ (n = 4) (110%)	116,4 $\pm 4,7$ (n=4) (110%)
		115,7 $\pm 7,2$ (n=16) (110%)			
В	105,2 $\pm 5,9$ (n = 8) (100%)	-	108,0 $\pm 13,8$ (n = 4) (103%)	110,5 $\pm 5,5$ (n = 4) (105)	102,0 $\pm 6,6$ (n = 4) (97x%)
		-	106,8 $\pm 9,3$ (n = 12) (101%)		
С	105,2 $\pm 5,9$ (n = 8) (100%)	-	-	-	104,3 $\pm 13,0$ (n = 4) (99%)

Распределение сажи ("применение") показано на фигуре.

"-" означает, что вариант не использовали.

Таблица 8

Общее количество сухого вещества в початке на одно растение и горшок в граммах, как среднее значение n повторений, \pm стандартное отклонение и как процент от необработанных контрольных образцов = 100%

Применение	Контроль	Сажа (2 т/га)	Сажа (4 т/га)	Сажа (8 т/га)	Сажа (16 т/га)
А	67,2 $\pm 5,0$ (n = 8) (100%)	74,6 $\pm 2,5$ (n = 4) (111%)	79,4 $\pm 3,6$ (n = 4) (118%)	77,8 $\pm 9,6$ (n = 4) (116%)	76,9 $\pm 3,8$ (n=4) (111%)
		77,2 $\pm 5,3$ (n=16) (115%)			
В	67,2 $\pm 5,0$ (n = 8) (100%)	-	70,6 $\pm 7,2$ (n = 4) (105%)	75,0 $\pm 4,2$ (n = 4) (112)	67,0 $\pm 6,2$ (n = 4) (100%)
		-	70,9 $\pm 6,4$ (n = 12) (106%)		
С	67,2 $\pm 5,0$ (n = 8) (100%)	-	-	-	66,9 $\pm 8,8$ (n = 4) (98%)

Распределение сажи ("применение") показано на фигуре.

"-" означает, что вариант не использовали.

Неожиданно применение А демонстрирует значительно лучшие результаты по сравнению с применениями приложения В и С.

Биоразлагаемость.

Тест на биоразлагаемость проводили путем измерения дыхания почвы после добавления сажи при норме внесения 313 мг на 50 г почвы (почва Лимбургерхоф; суглинистый песок, рН 6,8), что эквивалентно примерно 2 т С/га. В качестве контрольных образцов использовали почву без добавок или с добавлением 50 мг молотой пшеничной соломы на 50 г почвы (0,32 т/га). Дыхание почвы измеряли с помощью системы WTW OxiTop (Вайльхайм, Германия), помещенной в инкубаторы при 20°C в соответствии со способом, описанным в работах Robertz et al. (1999) and Malkomes and Lemnitzer (2009).

Из табл. 8 видно, что солома вызывала сильное дыхание почвы, в то время сажа не вызывала более высокого уровня выделения CO₂ по сравнению с неизменной почвой.

Таблица 9

Дыхание почвы (выбросы CO₂) Лимбургерхоф, накопленной с течением времени при 20°C без или с добавлением соломы или сажи;
MW = среднее значение, n=4, ± SD = стандартное отклонение

Время инкубации [недели]	Почва без добавления С		Размолотая солома (0.32 т С/га)		Сажа (2 т/га)	
	Дыхание почвы [мг CO ₂ -C/50 г сухой почвы, накоплено]					
	MW	±SD	MW	±SD	MW	±SD
1	0,7	0,2	19,1	0,7	0,8	0,2
2	1,5	0,3	26,3	0,8	1,7	0,3
3	2,4	0,3	29,5	0,8	2,6	0,3
4	3,1	0,4	31,7	0,8	3,3	0,4
5	3,7	0,4	33,4	0,8	4,0	0,4
6	4,3	0,4	34,7	0,8	4,5	0,5
7	4,9	0,5	35,0	0,3	5,2	0,5
8	5,5	0,5	35,4	0,2	5,8	0,6
9	6,0	0,5	35,7	0,2	6,3	0,6
10	6,4	0,6	36,4	0,2	6,8	0,6
11	7,0	0,6	36,9	0,2	7,3	0,7
12	7,4	0,6	37,2	0,3	7,7	0,7
13	7,8	0,6	37,5	0,4	8,1	0,7
14	8,4	0,6	37,5	0,7	8,7	0,7
15	8,9	0,6	38,6	0,9	9,2	0,7
16	9,4	0,6	39,6	1,0	9,6	0,8
17	9,9	0,6	40,5	1,1	10,1	0,7

Ссылочные материалы

Jung, J. (Юнг, Й.) (1967): Eine neue Vegetationshalle zur Durchführung von Gefäßversuchen (Новый растительный зал для проведения сосудистых испытаний). Z. Acker- u. Pflanzenb. 126, 293-297.

Malkomes, H.-P., Lemnitzer, B. (2009): "Vergleich der mittels URAS und OxiTop Control gemessenen Substrat-induzierten Kurzzeitatmung im Boden beim mikrobiologisch-ökotoxikologischen Monitoring von Pflanzenschutzmitteln. I. Einfluss eines Herbiziden Referenzmittels und eines Neutralsalzes" ("Сравнение кратковременного дыхания, вызванного субстратом, измеренного с помощью URAS и OxiTop Control, в почве при микробиологико-экоотоксикологическом мониторинге средств защиты растений. I. Влияние гербицидного базового средства и нейтральной соли"), Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst (Информационный бюллетень Немецкой службы защиты растений), 60, 104-112.

Robertz, M., Muckenheim (Робертц, М., Мукенхайм), Th., Eckl, S., Webb, L. (1999): "Kostengünstige Labormethode zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung nach DIN 19737" ("Экономичный лабораторный метод определения микробиологического почвенного дыхания в соответствии с DIN 19737"), Wasser & Boden (Вода и Почва), 51/5, 48-53.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ оструктурирования почвы, включающий (i) предоставление 2-500 т/га сажи на верхний слой почвы сельскохозяйственного поля и (ii) внесение этой сажи в верхний слой почвы на глубину по меньшей мере 5 см, причем содержание углерода в саже составляет от 90 до 99,5 мас.%, размер первич-

ных частиц сажи составляет от 1 нм до 1 мкм, удельная площадь поверхности сажи находится в диапазоне от 5 до 1500 м²/г и плотность сажи находится в диапазоне от 1 до 3 г/см³.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что сажу вносят в верхний слой почвы на глубину почвы до 30 см.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что сажу вносят в верхний слой почвы на глубину почвы по меньшей мере 10 см.

4. Способ по меньшей мере по одному из пп.1-3, отличающийся тем, что сажу вносят равномерно в верхний слой почвы.

5. Способ по меньшей мере по одному из пп.1-4, отличающийся тем, что сажу вносят в верхний слой почвы посредством почвообрабатывающей техники.

6. Способ по меньшей мере по одному из пп.1-5, отличающийся тем, что содержание углерода в саже составляет 95-99,5 мас. %.

7. Способ по меньшей мере по одному из пп.1-6, отличающийся тем, что сажа представляет собой гидрофобный материал с краевым углом смачивания каплей воды более 70.

8. Способ по меньшей мере по одному из пп.1-7, отличающийся тем, что 5-20 т/га сажи предоставляют на верхний слой почвы сельскохозяйственного поля.

9. Способ по меньшей мере по одному из пп.1-8, отличающийся тем, что размер частиц сажи составляет 1 нм - 1 мкм.

10. Способ по меньшей мере по одному из пп.1-9, отличающийся тем, что используют гранулы сажи с размером частиц 0,3-8 мм.

11. Способ по меньшей мере по одному из пп.1-10, отличающийся тем, что сажа выступает в качестве подложки для различных органических или неорганических добавок, например для агрохимически активного вещества из группы фунгицидов, бактерицидов, гербицидов и/или регуляторов роста растений.

