

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела им. К.Турысова  
Кафедра «Химическая и биохимическая инженерия»

Абдуллаева Зарина Азаматовна

Культивирование соматических клеток *Sorghum bicolor L.*

## **ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К. И. Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова  
Кафедра «Химическая и биохимическая инженерия»

**ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ**



**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Культивирование соматических клеток *Sorghum bicolor L.*»

6B05101 – «Химическая и биохимическая инженерия»

Выполнила

Абдуллаева Зарина Азаматовна

Рецензент

Научный руководитель

Доктор Ph.D., профессор  
Кафедры «технология и безопасность  
Пищевых продуктов» КазНАИУ

Доктор биологических наук,  
ассоциированный профессор

  
Искакова К. М.  
«08» июня 2023 г.

  
Анапияев Б.Б.  
«05» июня 2023 г.

# МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К. И. Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова  
Кафедра «Химическая и биохимическая инженерия»

6B05101 – «Химическая и биохимическая инженерия»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
«Химическая и  
биохимическая инженерия»  
Доктор Ph.D.  
А. А. Амитова  
« 05 » июня 2023 г.



## ЗАДАНИЕ

### На выполнение дипломной работы

Обучающемуся Абдуллаевой Зарины Азаматовны

Тема: «Культивирование соматических клеток *Sorghum bicolor L.*»

Утверждена приказом Директора Института № 408 от 23.11.2022

Срок сдачи дипломной работы 30 мая 2023 г.

Исходные данные к дипломной работе:

Краткое содержание дипломной работы:

а) Введение: обосновывается актуальность работы, научная и практическая значимость, изложена цель и задачи исследований.

б) Объект и методы исследований: дана характеристика объекту исследования, описаны приемы и методы исследования.

в) Результаты исследования, заключения и выводы: описаны результаты исследования, даны заключение и выводы.

Перечень графического материала: представлены 11 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература состоит из 43 наименований.

## ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение. Обзор литературы	05.04.2023	выполнено
Материал и методика исследований	02.05.2023	выполнено
Результаты исследования. Заключение и выводы	16.05.2023	выполнено

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф.(уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Б. Б. Анапияев, д.б.н., ассоц. профессор	05.06.23	
Материалы и методика исследований	Б. Б. Анапияев, д.б.н., ассоц. профессор	05.06.23	
Нормоконтролер	Б. Б. Анапияев, д.б.н., ассоц. профессор	05.06.23	

Научный руководитель



Анапияев Б.Б.

Задание принял к исполнению обучающийся



Абдуллаева З.А.

Дата

«05» июня 2023 г.

## АННОТАЦИЯ

В работе приведены результаты исследования факторов влияющих на частоту процессов каллусогенеза в культуре соматических клеток сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) в условиях *in vitro*. В качестве исходного материала использовались незрелые зародыши растения с генотипами SAB-1 и SAB-3. Для культивирования использовались питательные среды Мурасиге-Скуга и Гамборга В5 с добавлением фитогормонов 2,4-Д и БАП, соответственно. Были установлены факторы, влияющие на частоту образования каллусных тканей в культуре сахарного сорго. В результате экспериментов были получены данные о влиянии состава питательных сред и исходного генотипа донорных растений на частоту образования каллуса в культуре *in vitro* сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*).

## АНДАТПА

Жұмыста қант құмайының (*Sorghum bicolor* L.) *in vitro* соматикалық жасушаларының дақылында каллузогенез процестерінің жиілігіне әсер ететін факторларды зерттеу нәтижелері берілген. Бастапқы материал ретінде SAB-1 және SAB-3 генотиптері бар жетілмеген өсімдік эмбриондары пайдаланылды. Өсіру үшін сәйкесінше 2,4-D және BAP фитогормондары қосылған Мурашиге-Скоог және Гамбург В5 қоректік орталары пайдаланылды. Қант құмай дақылында каллус ұлпасының түзілу жиілігіне әсер ететін факторлар анықталды. Тәжірибелердің нәтижесінде тәтті құмайдың (*Sorghum bicolor* L.) *in vitro* культурасында қоректік орталардың құрамы мен донор өсімдіктердің бастапқы генотипінің каллус түзілу жиілігіне әсері туралы мәліметтер алынды.

## **ABSTRACT**

The paper presents the results of a study of factors affecting the frequency of callusogenesis processes in the culture of somatic cells of sugar sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in vitro. Immature plant embryos with SAB-1 and SAB-3 genotypes were used as starting material. For cultivation, nutrient media Murashige-Skoog and Hamburg B5 were used with the addition of phytohormones 2,4-D and BAP, respectively. Factors affecting the frequency of callus tissue formation in sugar sorghum culture have been established. As a result of the experiments, data were obtained on the effect of the composition of nutrient media and the initial genotype of donor plants on the frequency of callus formation in the in vitro culture of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.).

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Литературный обзор	
1.1 Распространение <i>Sorghum bicolor L.</i> и центры происхождения	10
1.2 Состав и свойства <i>Sorghum bicolor L.</i>	10
1.3 Виды сорго и направления их использования	11
1.4 Селекция <i>Sorghum bicolor L.</i> на устойчивость к биотическим стрессовым факторам окружающей среды	14
1.5 Селекция <i>Sorghum bicolor L.</i> на устойчивость к абиотическим стрессовым факторам окружающей среды	14
1.6 Использование молекулярных маркеров в селекции <i>Sorghum bicolor L.</i>	15
1.7 Использование биотехнологических методов в селекции <i>Sorghum bicolor L.</i>	16
1.8 Биотехнология получения биоэтанола из стеблей <i>Sorghum bicolor L.</i>	17
1.9 Биотехнология сахарного сорго: морфогенез и соматический эмбриоидогенез	18
2 Объекты, материалы и методы	20
2.1 Материалы исследования	21
2.2 Методы исследования	21
3 Результаты и их обсуждения	26
Заключение	29
Перечень принятых сокращений	30
Библиографический список литературы	31

## ВВЕДЕНИЕ

*Актуальность.* Создание производства биоэтанола и использование биотехнологических методов для выращивания соматических клеток культуры *Sorghum bicolor L.* являются крайне актуальными задачами на сегодняшний день. Эти методы позволят повысить генетическое разнообразие и создать основу для селекционного процесса. Для выращивания соматических клеток *Sorghum bicolor L.* используется метод *in vitro*, который включает выделение клеток, тканей и органов растений и их культивирование в искусственной питательной среде на основе процесса каллусогенеза. Этот метод также позволяет контролировать и изучать развитие этих клеток *in vitro* [1,2].

Целью данной работы является изучение факторов влияющих на частоту процессов каллусогенеза в культуре изолированных клеток сахарного сорго *Sorghum bicolor L.* в условиях *in vitro*.

Задачи:

1. Культивирование соматических клеток сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) в условиях *in vitro*.

2. Изучение факторов влияющих на частоту процессов каллусогенеза в культуре соматических клеток сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) в условиях *in vitro*.

3. Практическая оценка полученных результатов. в процессе культивирования соматических клеток сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) в условиях *in vitro*.

## 1 Литературный обзор

### 1.1 Распространение *Sorghum bicolor L.* и центры происхождения

Сорго (*Sorghum bicolor L.*) является важнейшей культурой для производства кормов, технических материалов и продовольствия, которую выращивают во многих странах мира на всех континентах. Изначально, сорго происходит из экваториальной Африки, однако вторичными очагами происхождения и формообразования стали Индия и Китай. Самые большие успехи в селекции, семеноводстве и агротехнике зернового сорго достигнуты в США [3].

Сорго превосходит другие зерновые культуры в устойчивости к различным неблагоприятным факторам окружающей среды, что делает его более экономически выгодным для производства. Более чем 35% всего выращенного сорго предназначено для потребления человеком, а оставшееся используется преимущественно для производства кормов для животных, спиртовых напитков и промышленных продуктов. Сорго выращивается в настоящее время в более чем 85 странах мира, при этом основными производителями зерна сорго являются США, Бразилия, Китай, Мексика, Судан, Индия, Эфиопия, Аргентина, Австралия и Нигерия. В США годовой объем производства зерна сорго составляет 9500 тыс. тонн, в то время как в Бразилии этот показатель равен 1530 тыс. тонн. В Украине объем сбора зерна сорго колеблется от 4,17 до 214,7 тыс. тонн в год в последние годы [4].

### 1.2 Состав и свойства *Sorghum bicolor L.*

*Sorghum bicolor L.*, или сорго, — это зерновая культура, известная своими питательными свойствами и способностью расти в условиях засухи. В составе сорго содержатся различные витамины, макро- и микроэлементы, которые оказывают положительное воздействие на организм человека.

Сорго богато витаминами группы В (В1, В2, В4, В5, В6), которые играют важную роль в нервной и мозговой деятельности. Кроме того, сорго содержит тиамин, который влияет на работу сердечной мышцы, поддерживает мышечный тонус, стимулирует секрецию желудка и повышает аппетит. Тиамин также помогает усваивать пищу и увеличивает энергетический уровень.

В сорго содержится множество макроэлементов, таких как калий, кальций, кремний, магний и фосфор. Фосфор играет важную роль в укреплении костной и мышечной ткани, а также в обмене веществ. Кроме того, сорго содержит богатый набор микроэлементов, таких как бор, кобальт, алюминий, медь и железо. Железо необходимо для обеспечения клеток кислородом.

Также следует отметить, что сорго богато антиоксидантами, которые защищают организм от вредного воздействия свободных радикалов и замедляют

процесс старения. В целом сорго является ценным источником питательных веществ и может быть полезным для поддержания здоровья [5].

### 1.3 Виды сорго и направления их использования.

Существует четыре основных хозяйственных группы вида сорго, которые различаются по способу их использования: зерновое, сахарное, веничное и травянистое.

✓ Зерновое сорго включает в себя несколько видов, таких как гвинейское, кафрское, негритянское, хлебное и китайское (или гаолян) [6]. Зерна сорго используются для создания питательных кормовых смесей и служат основным источником питания для животных (Рисунок 1). Это древняя злаковая культура, которая существует уже много лет. Среди тех, кто следит за своим весом, зерновая сорго стала очень популярной, и диетологи рекомендуют использовать ее вместо пшеничной крупы. Это связано с особым белком, который содержится в пшенице и легко превращается в жировые накопления в организме. В отличие от этого крупа сорго содержит меньше глютена, но богата клетчаткой, что делает ее диетическим продуктом с низким гликемическим индексом. Именно поэтому она подходит для диабетиков и людей, соблюдающих безглютеновую диету. Зерновое сорго является ценным источником питательных веществ, таких как белки, углеводы, витамины (особенно группы В) и минеральные вещества (калий, магний, железо, цинк). Оно также богато антиоксидантами и полезными фитохимическими соединениями, такими как линолевая и олеиновая кислоты, лецитин и др. В связи с этим, зерновое сорго также используется в пищевой и фармацевтической промышленности для производства различных продуктов, таких как каши, мука, каши, крекеры, хлеб и т.д [7].



Рисунок 1 — Зерновое сорго [40].

✓ Сахарное сорго, представленное видом *S.saccharatum*, разделяется на две основные группы в зависимости от плотности метелки: развесистые (*S.saccharatum convar. effusum Jakusch.*) и сжатые (*S.saccharatum convar. contractum Jakusch.*) [6,8]. Сахарное сорго получило свое название из-за высокого содержания сахара в его стеблях (Рисунок 2). Оно используется для производства спирта, сладостей и патоки. Верхушки растения используются в корм для животных, а высокие урожаи сахарного сорго позволяют получать сахар по более низкой цене, чем сахар тростниковый или свекольный. Поскольку сахарное сорго имеет высокую устойчивость к большинству заболеваний злаковых культур, его выращивание требует меньше пестицидов. После первичной обработки стеблей для получения патоки и сахара, верхушки растения используются для кормления животных в виде силоса или сена, что делает эту культуру малоотходной. Кроме того, сахарное сорго может использоваться в качестве твердого топлива, а также благотворно влияет на почву, улучшая ее качество и удаляя лишнюю соль [5,9].



Рисунок 2 — Сахарное сорго [41].

✓ Техническое сорго, также известное как веничное сорго (*S.techmcum*) отличается от других видов сорго тем, что имеет бесстержневую или очень укороченную метелку [6,10]. Это растение очень неприхотливо и может вырастать даже в засушливых условиях и на бедных почвах (Рисунок 3). Семена технического сорго могут использоваться как корм для птицы. Высушенные побеги и метелки сорго могут быть использованы для различных целей, таких как плетение изделий, создание мульчи и подстилки для животных, а также изготовление веников и бумаги [11].



Рисунок 3 — Техническое или веничное сорго [42].

✓ Травянистое сорго включает несколько дикорастущих однолетних и многолетних видов, из которых в культуре выращивают два вида: суданскую траву (*S.sudanense Stapf.*) и сорго щедрое (*S.almum Parodi*), которое имеет 40 хромосом и короткие корневища [6,12]. Травянистое сорго предназначено в первую очередь для использования в качестве корма для скота разных размеров (Рисунок 4). Это растение имеет сочную зелень, насыщенную витаминами. Однако, зерно сорго имеет твердую оболочку, поэтому для лучшей перевариваемости, перед кормлением его следует запарить или раздробить. Чтобы обеспечить сбалансированный кормовой рацион, доля травянистого сорго не должна превышать 35% от общего объема, потребляемого животными корма, поскольку высокое содержание танина в зернах может ухудшить его перевариваемость [13].



Рисунок 4 — Травянистое сорго [43].

#### **1.4 Селекция *Sorghum bicolor* L. на устойчивость к биотическим стрессовым факторам окружающей среды.**

Селекция *Sorghum bicolor* L. на устойчивость к биотическим стрессовым факторам окружающей среды является важным направлением в улучшении этой культуры. Для этого используются различные методы, включая селекцию в естественных условиях, селекцию в искусственных условиях, генетические маркеры и технологии генной инженерии.

Одним из главных факторов, влияющих на устойчивость растений к биотическим стрессорам, является наличие устойчивости к различным видам вредителей и болезней. Для достижения этой цели проводятся селекционные работы, направленные на выделение сортов, обладающих высокой устойчивостью к конкретным видам вредителей и болезней.

Кроме того, селекция на устойчивость к биотическим стрессам включает в себя работу по повышению общей устойчивости растений путем улучшения их иммунной системы и повышения устойчивости к различным стрессовым факторам, таким как изменения температуры и влажности, недостаток питательных веществ, световой и механический стресс.

В целях селекции *Sorghum bicolor* L. на устойчивость к биотическим стрессам также применяются технологии генной инженерии. Эти технологии позволяют создавать растения с улучшенными свойствами, такими как устойчивость к болезням и вредителям, а также повышенная продуктивность и устойчивость к стрессовым условиям.

Все вышеупомянутые методы помогают повышать устойчивость *Sorghum bicolor* L. к биотическим стрессорам, что способствует улучшению урожайности и увеличению экономической эффективности выращивания этой культуры [14,15].

#### **1.5 Селекция *Sorghum bicolor* L. на устойчивость к абиотическим стрессовым факторам окружающей среды**

Сорго является высокоустойчивой к засухе культурой, способной выдерживать длительные периоды почвенных и воздушных засух с минимальными потерями урожая по сравнению с пшеницей и ячменем. Изучение физиологических механизмов, влияющих на засухоустойчивость, играет важную роль в селекции гибридов, направленной на повышение их адаптивности к абиотическим условиям и увеличение продуктивности [16].

Сорго адаптировано к засухе благодаря изменениям, произошедшим на различных уровнях - морфологическом, анатомическом, физиологическом и молекулярном [17].

Различные генотипы сорго реагируют по-разному на различные стрессоры, потому что этот процесс контролируется различными генетическими механизмами [18].

Сорта сорго, адаптированные к выращиванию в засушливых и полузасушливых условиях, обладают большей устойчивостью к засухе по сравнению с сортами, которые выращиваются в более влажных условиях [19].

Поддержание водного баланса в клетках и тканях играет важную роль в обеспечении устойчивости растений сорго к абиотическим стрессорам. При наступлении засухи в начальном этапе развития растений происходит замедление их роста и развития, а в период цветения может произойти частичная или полная потеря урожая зерна. Однако существуют адаптированные к засухе сорта, которые обладают большей устойчивостью в сравнении с теми, что выращиваются в более влажных условиях [20,21].

Засуха и другие абиотические стрессоры оказывают влияние на баланс воды в клетках, тканях и организме растений, вызывая различные реакции, повреждения и адаптационные изменения на клеточном, тканевом и организменном уровнях [22].

Стоит отметить, что у сорго способность к адаптации к засухе зависит от конкретного генотипа и может проявляться на различных стадиях роста и развития растения. Таким образом, существуют генотипы, которые могут эффективно переносить засуху на одной стадии, но стать уязвимыми на другой [23].

## **1.6 Использование молекулярных маркеров в селекции *Sorghum bicolor L.***

Использование молекулярных маркеров в селекции *Sorghum bicolor L.* предоставляет ценный инструмент для идентификации и отбора желательных генетических характеристик у данного вида сорго. Молекулярные маркеры — это специфические участки ДНК, которые могут быть связаны с определенными генетическими признаками.

Применение молекулярных маркеров позволяет селекционерам более точно и эффективно оценивать генетическое разнообразие, проводить анализ связи между генотипом и фенотипом, а также отбирать растения с желаемыми генетическими свойствами, такими как устойчивость к болезням, высокая урожайность или адаптация к определенным условиям выращивания [24,25].

В селекции сахарного сорго (*Sorghum bicolor*) применяются различные молекулярные маркеры для анализа генетической структуры и отбора желательных генетических характеристик. Вот некоторые из них:

1. SSR (Simple Sequence Repeats): Микросателлиты (SSR) широко используются в селекции сахарного сорго. Они позволяют идентифицировать полиморфные участки в геноме, основанные на различиях в числе повторов

микросателлитов. SSR-маркеры обладают высокой разрешающей способностью и могут использоваться для анализа генетической изменчивости и оценки генетического разнообразия сортов сахарного сорго [26].

2. SNP (Single Nucleotide Polymorphism): SNP-маркеры являются однонуклеотидными полиморфизмами, которые представляют собой замены одного нуклеотида на другой. Они широко используются в селекции для выявления генетических вариаций и ассоциированных с ними фенотипических характеристик. SNP-маркеры обеспечивают высокую плотность генотипирования и могут использоваться для молекулярного отбора растений с желательными свойствами, такими как высокая урожайность или устойчивость к стрессу [27].

3. RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism): RFLP-маркеры были широко использованы в прошлом и все еще могут быть применены в селекции сахарного сорго. Они основаны на различиях в длине фрагментов ДНК, вызванных различиями в последовательности узнаваемых ферментами ограничения. RFLP-маркеры обладают хорошей разрешающей способностью и могут использоваться для анализа генетической изменчивости и определения генетических связей между разными сортами сахарного сорго [28].

Это только несколько примеров молекулярных маркеров, которые могут быть применены в селекции сахарного сорго. Выбор конкретных маркеров зависит от конкретных целей и доступных ресурсов для анализа генетической

Применение молекулярных маркеров в селекции *Sorghum bicolor L.* помогает ускорить процесс селекции и повысить эффективность отбора растений с желаемыми генетическими характеристиками, что в свою очередь способствует улучшению сельскохозяйственных культур и повышению устойчивости к стрессовым условиям или вредителям [24,25].

### **1.7 Использование биотехнологических методов в селекции *Sorghum bicolor L.***

Биотехнологические методы широко используются в селекции *Sorghum bicolor L.* (сорго), как и в других областях сельского хозяйства. Некоторые из наиболее распространенных методов включают в себя [29]:

➤ Молекулярная маркировка: методы молекулярной маркировки используются для анализа генетического разнообразия и выявления генетических маркеров, связанных с полезными свойствами. Это может помочь селекционерам идентифицировать желаемые гены и ускорить процесс селекции.

➤ Генетическая трансформация: генетическая трансформация позволяет внедрять новые гены в геном растений. Это может быть полезно для создания растений с новыми полезными свойствами, такими как повышенная устойчивость к болезням и вредителям, а также более эффективное использование воды [30].

➤ Геномное секвенирование: секвенирование генома позволяет исследователям изучать структуру генома растений и выявлять гены, связанные с желаемыми свойствами, такими как высокая урожайность или адаптация к аридным условиям. Это может помочь селекционерам оптимизировать процесс селекции и создавать новые сорта [31].

➤ Маркер-ассистированная селекция: метод, который использует молекулярную маркировку для идентификации генетических маркеров, связанных с полезными свойствами. Это позволяет селекционерам ускорить процесс селекции, тестируя множество растений на ранних стадиях развития и выбирая только те, которые имеют желаемые гены.

Эти и другие биотехнологические методы играют важную роль в селекции *Sorghum bicolor* L., помогая создавать новые сорта, устойчивые к болезням, адаптированные к условиям засухи и бедности почв, а также улучшать качество и количество урожая [31,32].

## 1.8 Биотехнология получения биоэтанола из стеблей *Sorghum bicolor* L.

Биотехнология получения биоэтанола из стеблей сахарного сорго — это процесс использования сахарного сорго в качестве сырья для производства биоэтанола. Стебли сахарного сорго содержат сахара, такие как сахароза, которые могут быть ферментированы микроорганизмами для получения этилового спирта (биоэтанола) [33].

Процесс получения биоэтанола из стеблей сахарного сорго включает следующие этапы:

1. Подготовка сырья: Стебли сахарного сорго собираются и подвергаются предварительной обработке, такой как удаление листьев и других примесей.

2. Размол: Стебли сахарного сорго измельчаются, чтобы увеличить доступность сахаров для дальнейшего извлечения.

3. Гидролиз: Полученные измельченные стебли сахарного сорго подвергаются гидролизу, при котором сахара, содержащиеся в клетках растения, превращаются в растворимые формы, такие как сахароза.

4. Ферментация: Растворимые сахара подвергаются ферментации с помощью специальных микроорганизмов, например, дрожжей. Ферментация превращает сахара в этиловый спирт (этанол) и выделяет углекислый газ.

5. Очистка и дистилляция: Полученный биоэтанол смешивается с водой и подвергается процессу очистки и дистилляции, чтобы удалить примеси и улучшить его качество.

6. Дегидратация: для получения высококачественного биоэтанола проводится процесс дегидратации, при котором удаляется остаточная вода из полученного спирта.

7. Ректификация: в некоторых случаях может быть применена ректификация, чтобы ещё более очистить биэтанол и получить спирт высокой степени очистки.

После завершения этих этапов полученный биэтанол готов к использованию в качестве биотоплива или других промышленных целей [33].

Биотехнология получения биэтанола из стеблей сахарного сорго имеет свои плюсы и минусы:

*Плюсы:*

1. Возобновляемый источник энергии: Сахарное сорго является быстрорастущей культурой, что делает его возобновляемым источником сырья для производства биэтанола.

2. Снижение зависимости от нефтепродуктов: биэтанол из сахарного сорго представляет собой альтернативу нефтяным топливам и способствует снижению зависимости от ограниченных нефтяных ресурсов.

3. Биологическая разлагаемость: биэтанол, полученный из стеблей сахарного сорго, является биологически разлагаемым, что способствует снижению негативного влияния на окружающую среду.

*Минусы:*

1. Конкуренция с продовольственным сектором: Выращивание сахарного сорго для производства биэтанола может конкурировать с выращиванием продовольственных культур, поскольку сахарное сорго также используется в пищевой промышленности.

2. Затраты на производство: Процесс получения биэтанола из стеблей сахарного сорго требует определенных инвестиций в оборудование и технологии, что может повлечь за собой высокие затраты на производство.

3. Инфраструктура: для эффективной реализации процесса получения биэтанола из сахарного сорго необходима развитая инфраструктура, включая систему сбора и переработки сырья.

Необходимо учитывать эти факторы при оценке применимости и экономической эффективности биотехнологии получения биэтанола из стеблей сахарного сорго [34].

## **1.9 Биотехнология сахарного сорго: морфогенез и соматический эмбриогенез.**

Биотехнология *Sorghum bicolor L.* — это область исследований и практических приложений, связанных с использованием технологий и методов для улучшения сорго, как сельскохозяйственной культуры. Сорго - важное зерновое растение, используемое для производства кормов для животных, а также для производства муки и сахара для человеческого потребления.

В биотехнологии сорго используют различные методы, такие как селекция, генетические модификации, соматический эмбриогенез и другие, чтобы улучшить

качество и урожайность растений, а также сделать их более устойчивыми к стрессу.

Применение биотехнологии позволяет получить гибриды с высокими показателями продуктивности, устойчивостью к заболеваниям и вредителям, а также к экстремальным условиям выращивания. Эти гибриды могут быть использованы в сельском хозяйстве для увеличения производства кормов и продуктов питания, а также для улучшения экономической эффективности сельскохозяйственных предприятий [35].

**Морфогенез.** Морфогенез в контексте сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) относится к процессу развития и формирования морфологических структур растения, включая корни, стебли, листья, цветки и семена.

Морфогенез сахарного сорго происходит во время его жизненного цикла, начиная с прорастания семян и развития первичной корневой системы. Затем растение формирует стебель и листья, проходя через различные стадии роста и развития, такие как рост розетки, стебля и панули, и, наконец, цветение и образование семян.

Процесс морфогенеза в сахарном сорго контролируется генетическими механизмами и взаимодействием с окружающей средой, включая свет, температуру, питательные вещества и влажность почвы. Гормоны роста, такие как ауксины и цитокины, играют важную роль в регулировании морфогенеза и определении различных органов и тканей растения.

Изучение морфогенеза сахарного сорго включает анализ различных аспектов его развития, включая архитектуру корней и стеблей, форму и размер листьев, паттерны роста цветков и формирование семян. Это может быть проведено с использованием методов морфометрии, микроскопии и генетического анализа, чтобы понять молекулярные и генетические механизмы, лежащие в основе развития этих структур.

Изучение морфогенеза сахарного сорго имеет практическое значение для сельскохозяйственной индустрии, поскольку понимание и контроль этого процесса позволяет разрабатывать сорта с лучшими морфологическими характеристиками, такими как увеличенная урожайность, более эффективное использование ресурсов и адаптация к различным условиям среды [36].

**Соматический эмбриогенез.** Соматический эмбриогенез (SE) — это процесс формирования эмбриональной ткани (эмбриоидов) из соматических клеток растения. Он широко применяется в биотехнологии растений, включая сахарное сорго (*Sorghum bicolor L.*), для получения генетически модифицированных растений и улучшения сортов.

Процесс SE включает несколько этапов. Сначала соматические клетки растения (например, клетки эксплантата, такие как лист или стебель) подвергаются стимуляции с помощью определенных физических или химических факторов, таких как изменение состава питательных сред или применение

гормонов роста. Это стимулирует переход соматических клеток в состояние регенерации и образование эмбриональной ткани.

Затем эмбриониды могут быть дифференцированы и развиты в полноценные растения путем трансферта на специальные питательные среды, содержащие необходимые питательные вещества и гормоны. Этот процесс может включать несколько раундов культуры и регенерации тканей для получения стабильных и зрелых растений.

Соматический эмбриоидогенез является мощным инструментом в селекции сахарного сорго, позволяя создавать новые генетически модифицированные линии и улучшать сорта. Он может быть использован для получения растений с желательными свойствами, такими как устойчивость к болезням, стрессоустойчивость, высокая урожайность и другие. Однако процесс SE может быть сложным и зависит от множества факторов, таких как генотип растения, состав питательной среды и условия культуры.

Использование соматического эмбриоидогенеза в селекции сахарного сорго требует детального изучения и оптимизации протоколов, чтобы достичь эффективного и стабильного образования эмбрионидов и регенерации растений. Это может быть предметом активных исследований в области биотехнологии сахарного сорго и сельского хозяйства в целом [37].

## **2 Объекты, материалы и методы**

Исследование проводилось в лаборатории «Биотехнологии» здания Технопарка в стенах университета им. К.И. Сатпаева, расположенного в г. Алматы под руководством доктора биологических наук, профессор Анапияева Б.Б.

Основная цель этого исследования заключается в отборе подходящих растительных эксплантов, которые могут быть использованы для выращивания изолированных клеток сахарного сорго в стерильных условиях культивирования.

Объектами исследования служили, такие генотипы сахарного сорго *Sorghum bicolor L.*, как SAB-1 и SAB-3. В качестве эксплантов были взяты семена растения (Рисунок 5).

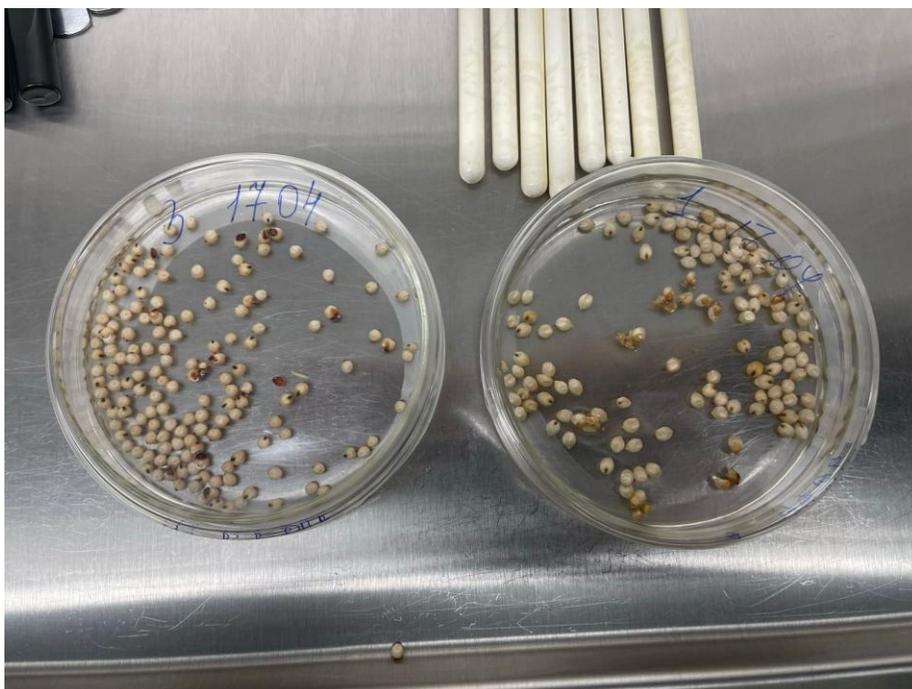


Рисунок — 5. Отобранные семена сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*)  
1 — генотип SAB-1; 3 — генотип SAB-3

## 2.1 Материалы исследования

В ходе работы были использованы следующие оборудования и приборы:

- автоклав;
- ламинарный бокс;
- термостат.

Лабораторная посуда, использованная в ходе исследовательских работ:

- чашки Петри;
- пробирки;
- скальпель;
- пинцет медицинский;
- препаравальные иглы.

## 2.2 Методы исследования

Для извлечения соматических клеток из донорных растений сахарного сорго использовали метод выращивания растений до стадии молочной спелости (Рисунок 6).

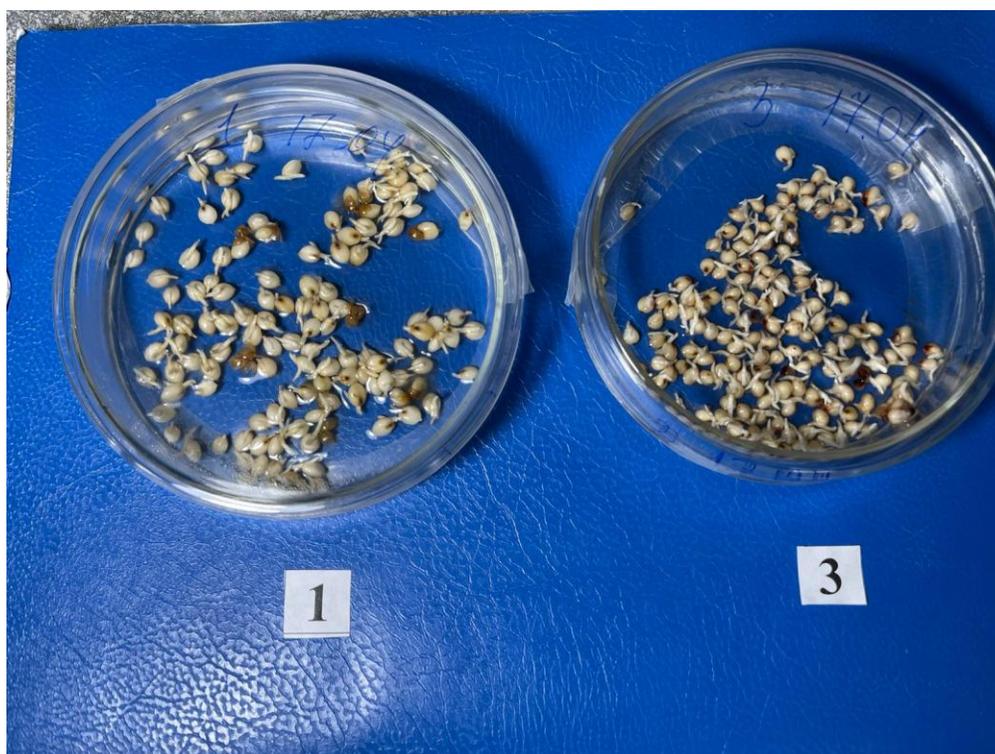


Рисунок — 6. Дезинфицированные семена *Sorghum bicolor* L., готовые к культивированию *in vitro*: 1 — генотип SAB-1; 3 — генотип SAB-3

Для обеспечения безопасных условий работы с растительными эксплантатами и предотвращения контаминации следует выполнить следующие процедуры. Вначале необходимо очистить все поверхности в ламинарном боксе с использованием 96% спирта. Инструменты, которые будут использоваться, должны быть стерилизованы и размещены на стерильном столе внутри ламинарного бокса. Затем следует включить УФ-излучение на 20 минут и после этого выключить его, включив биофильтры для поддержания стерильности. При работе в ламинарном боксе необходимо надеть стерильный халат и шапочку, а также обработать руки спиртом. Пинцеты, скальпели и препарировальные иглы должны быть погружены в стакан с 96% спиртом, а перед каждой манипуляцией инструменты следует обжигать на пламени спиртовки (Рисунок 7). Важно соблюдать стерильность, так как нарушение этого протокола может привести к развитию микроорганизмов, таких как грибы и бактерии, которые могут негативно повлиять на рост растительных эксплантатов и состав среды [38].

Для получения стерильных питательных сред без термолабильных веществ используется метод автоклавирования при давлении 0,5-1 атмосферы. Продолжительность стерилизации зависит от объема питательной среды в сосуде. Если используются культуральные сосуды объемом от 25 до 50 мл, стерилизацию следует проводить в течение 15-20 минут. В случае использования сосудов

объемом от 2 до 4 литров необходимо увеличить время стерилизации до 30-40 минут [39].

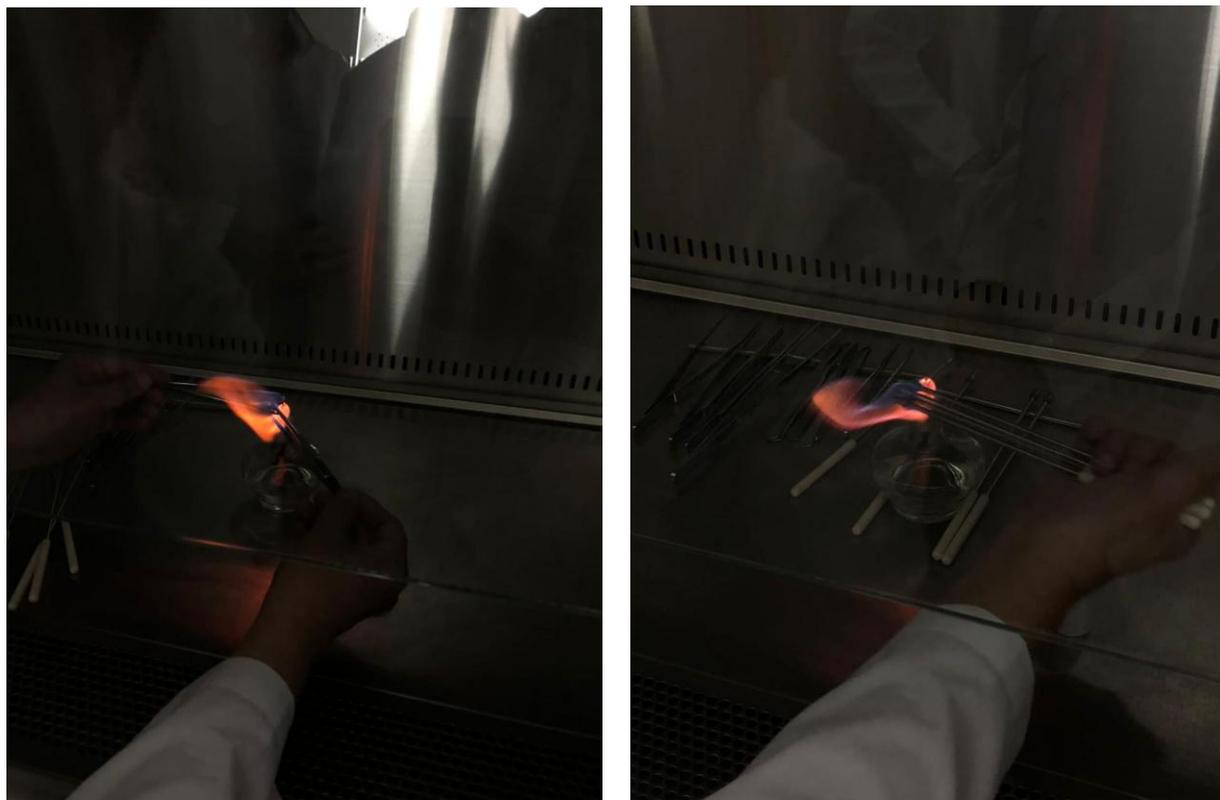


Рисунок — 7. Обжиг инструментов на пламени спиртовки.

Дезинфицирование семян сахарного сорго включает использование этилового спирта и хлоргексидина для обеспечения стерильности и предотвращения возможной контаминации. Процедура дезинфицирования может быть выполнена следующим образом:

1. Подготовьте раствор этилового спирта, обычно используя концентрацию 70-80%. Это можно сделать путем разбавления высококонцентрированного этилового спирта (например, 95%) дистиллированной водой.

2. Поместите семена сахарного сорго в контейнер, который может быть герметично закрыт, например, стеклянный флакон или пластиковый контейнер.

3. Залейте семена раствором этилового спирта так, чтобы они полностью погрузились. Обычно, достаточно небольшого количества раствора, чтобы покрыть семена.

4. Проведите дезинфицирование семян в течение определенного времени. Обычно это занимает около 10-15 минут, но время может варьироваться в зависимости от протокола исследования или рекомендаций.

5. После окончания времени дезинфекции, удалите раствор этилового спирта и промойте семена несколько раз с дистиллированной водой, чтобы удалить остатки спирта.

6. Приготовьте раствор хлоргексидина, следуя инструкциям производителя. Обычно используются низкие концентрации хлоргексидина (например, 0,1%).

7. Поместите дезинфицированные семена сахарного сорго в раствор хлоргексидина и оставьте на определенное время, обычно около 5-10 минут.

8. После окончания времени дезинфекции в растворе хлоргексидина, промойте семена несколько раз с дистиллированной водой, чтобы удалить остатки хлоргексидина.

9. Теперь семена готовы для дальнейшего использования в культивации изолированных клеток или других экспериментах в стерильных условиях (Рисунок 8).

Важно помнить, что точные пропорции и время дезинфекции могут варьироваться в зависимости от протокола исследования или рекомендаций.

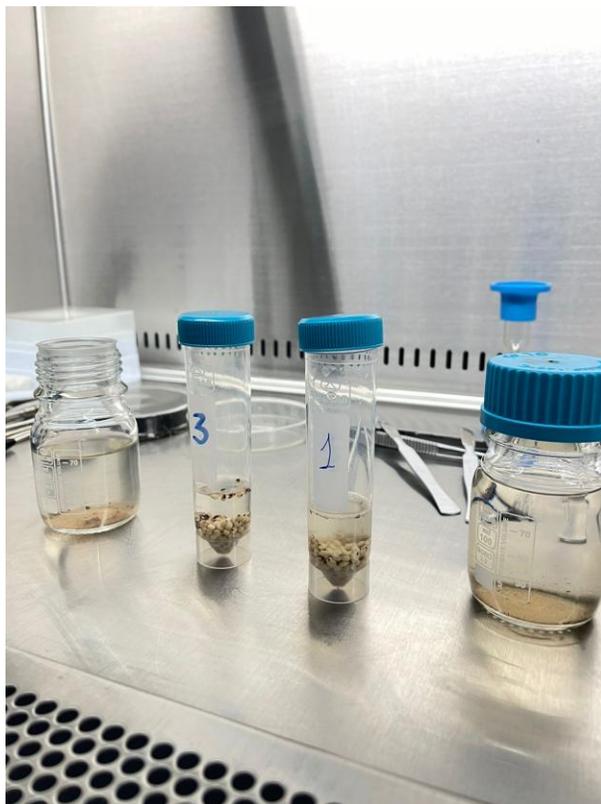


Рисунок — 8. Дезинфицирование семян *Sorghum bicolor L.*

Для каллусогенеза незрелые зародыши были изолированы в стерильных условиях и посажены в питательные среды, такие как Мурасиге-Скуга (МС) (20 г/л сахара, 5 мг/л Fe-хелат, 100 мг/л мезоинозит, 2 мг/л 2,4-Д, рН-5,67) (Таблица 1) и

Гамборга В5 (2 мг/л БАП) (Таблица 2). Процесс культивирования соматических клеток сахарного сорго проводился в ламинарном боксе при температуре 27 °С (Рисунок 9). Полученные результаты были подвергнуты статистическому анализу с использованием общепринятых методик.

Таблица 1 — Среда Мурасиге-Скуга (рН-5,67)

Формула	Компонент	Концентрация (мг/л)
	Соли	
$KNO_3$	Нитрат калия	1900
$NH_4NO_3$	Нитрат аммония	1650
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	Хлорид кальция	440
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Сульфат магния	370
$KH_2PO_4$	Фосфат калия	170
$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	Фосфат натрия	17
	Микроэлементы	
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Сульфат железа	27
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	Сульфат марганца	2.2
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Сульфат цинка	8.6
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Сульфат меди	0.025
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	Молибдат натрия	0.25
$H_3BO_3$	Борная кислота	6.3
	Глицин	2.0
	Никотиновая кислота	0.5
	Пиридоксин	0.5
	Тиамин	1.0
	2.4-Д	2.0
	Сахароза	20 000
	Агар-агар	7000

Таблица 2 — Среда Гамборга В5 (рН-5,6)

Формула	Компонент	Концентрация (мг/л)
	Соли	
$NH_4NO_3$	Нитрат аммония	2500
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	Хлорид кальция	150
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Сульфат магния	250
$(NH_4)_2SO_4$	Сульфат аммония	130
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Сульфат железа	27.95
$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	Фосфат натрия	150

$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	Сульфат марганца	10
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Сульфат цинка	2.0
KI	Йодид калия	0.75
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Сульфат меди	0.025
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	Молибдат натрия	0.25
$H_3BO_3$	Борная кислота	3.0
	Глицин	2.0
	Никотиновая кислота	1.0
	Пиридоксин	1.0
	Тиамин	10.0
	БАП	2.0
	Сахароза	20 000
	Агар-агар	7000

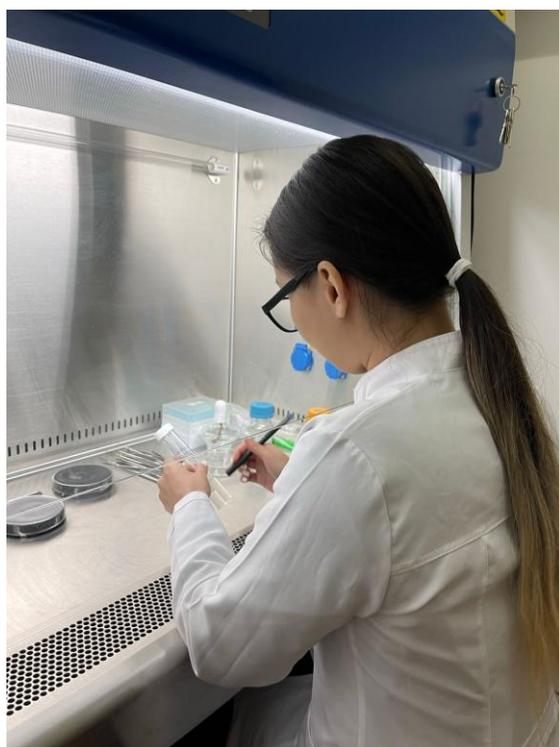


Рисунок — 9. Работа в ламинарном боксе.

### 3 Результаты и их обсуждение

При культивировании соматических клеток сахарного сорго наблюдалось, что частота образования каллусных клеток и их морфология существенно зависят от исходного генотипа донорного растения и состава питательной среды (Рисунок 10).

Установлено, что для SAB-1 частота образования каллусных тканей составляет 60% (MC) и 50% (B5), в то время как для SAB-3 эти показатели составляют 25% (MC) и 65% (B5).

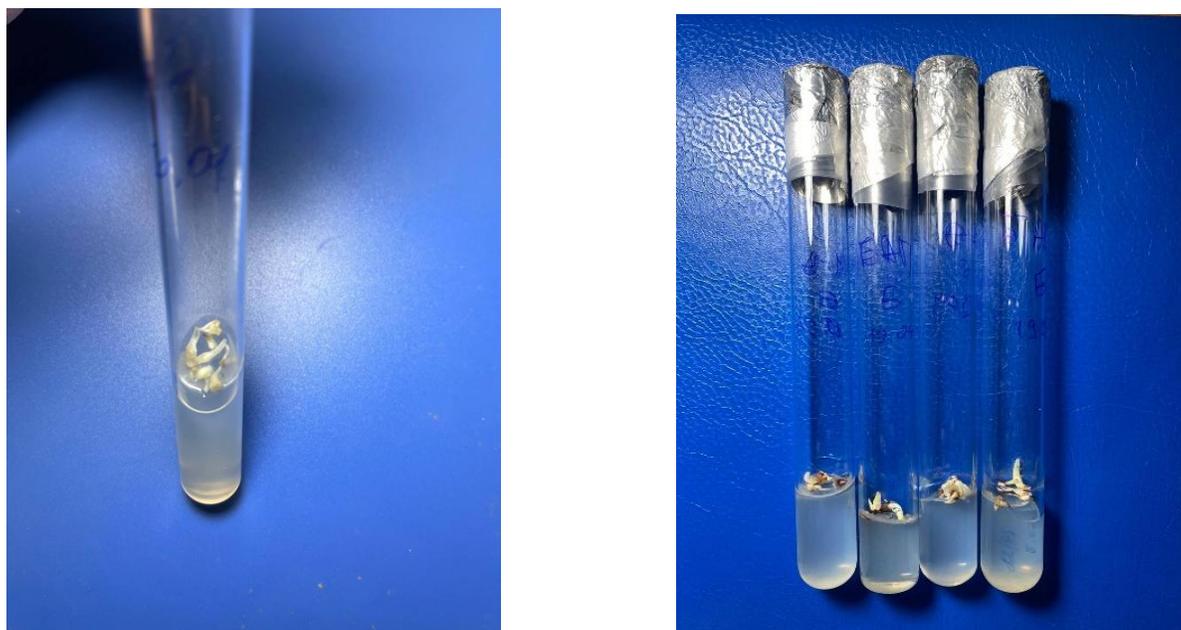


Рисунок — 10. Культивирование исходных эксплантов сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) в условиях *in vitro*.

Данные об эксперименте приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Процессы каллусогенеза в культуре соматических клеток сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) в условиях *in vitro*.

№	Генотип	Питательная среда	Кол-во введенных в культуру эксплантов	Кол-во полученных каллусов	Процесс каллусогенеза, %
1	SAB-1	MC	20	12	60
2	SAB-1	B5	20	10	50
3	SAB-3	MC	20	5	25
4	SAB-3	B5	20	13	65



Рисунок — 11. Индукция процессов каллусогенеза в культуре соматических клеток сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) под микроскопом.

Таким образом, для генотипа сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) SAB-1 оптимальной была среда МС, где частота процессов каллусогенеза составила 60 %. Для генотипа сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) SAB-3 максимальные показатели частоты каллусогенеза было обнаружено в питательной среде ГВ5, где частота каллусогенеза составила 65 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведенных исследований были изучены факторы, влияющие на частоту процессов каллусогенеза в культуре соматических клеток сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) в условиях *in vitro*.

На частоту процессов каллусогенеза в культуре соматических клеток оказывали влияние исходный генотип сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) и состав питательных сред.

Для генотипа сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) SAB-1 оптимальной была среда МС, где частота процессов каллусогенеза составила 60 %. Для генотипа сахарного сорго (*Sorghum bicolor L.*) SAB-3 максимальные показатели частоты каллусогенеза было обнаружено в питательной среде ГВ5, где частота каллусогенеза составила 65 %.

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

МС – среда Мурасиге-Скуга

В5 – среда Гамборга (В5)

БАП – 6-бензиламинопурин

2,4-Д – 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота

SE – соматический эмбриоидогенез

В1 – тиамин

В2 – рибофлавин

В4 – холин

В5 – пантотеновая кислота

В6 – пиридоксин

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исакова К.М., Анапияев Б.Б., Бейсенбек Е.Б., Омарова А.Ш., Тузелбаева Ш.Р. Культура соматических клеток *Sorghum bicolor* L. in vitro // Сборник материалов (2 часть) «Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды». — Иркутск, 2018. — 1248 с.
2. Пигорев И.Я. Сахарное сорго — перспективная кормовая культура // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2010.- № 93. — С. 28-29
3. Алабушев А.В., Шишова Е.А., Романюкин А.Е., Ермолина Г.М., Горпиниченко С.И. Происхождение сорго и развитие его селекции // Научный журнал КубГАУ, №127(03), 2017 — С. 1-2.
4. Москвичёва Е.Н., Дышкантюк О.В. Фенольные соединения сорго как источник функциональных ингредиентов пищевых продуктов // Научно-практический журнал «Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов». – РФ, 2015. – № 3(32). — 29 с.
5. Абдиева Г.М., Аймуратов У.Д. Технология возделывания, ценность и применение сахарного сорго // Eurasian journal of academic research №2(12), 2022 — 668-669 p.
6. Махатов Ж.Б., Латиф А.С., Сапарбекова А.А., Исаев Е.Б., Махатов Б.К., Бухарбаева А.Е. Ботанико-географическая характеристика видов сорго // “Vestnik” of the South-Kazakhstan state pharmaceutical academy republican scientific journal №2(79), 2017 — 74 с.
7. Ковтунов В.В., Горпиниченко С.И. Основные направления использования сорго зернового // Научная статья «Зерновое хозяйство России» — г.Зерноград, 2011.— С. 28-32.
8. Махатов Ж.Б., Латиф А.С., Сапарбекова А.А., Исаев Е.Б., Махатов Б.К., Бухарбаева А.Е. Ботанико-географическая характеристика видов сорго // “Vestnik” of the South-Kazakhstan state pharmaceutical academy republican scientific journal №2(79), 2017 — 76 с.
9. Абдиева Г.М., Аймуратов У.Д. Технология возделывания, ценность и применение сахарного сорго // Eurasian journal of academic research №2(12), 2022 — 668p.
10. Махатов Ж.Б., Латиф А.С., Сапарбекова А.А., Исаев Е.Б., Махатов Б.К., Бухарбаева А.Е. Ботанико-географическая характеристика видов сорго // “Vestnik” of the South-Kazakhstan state pharmaceutical academy republican scientific journal №2(79), 2017 — 80 с.
11. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Использование сорго и основные направления селекционной работы во вниизк им. И.Г. Калининко // Научная статья «Таврический вестник аграрной науки» — Крым, 2016.— С. 60-70.

12. Махатов Ж.Б., Латиф А.С., Сапарбекова А.А., Исаев Е.Б., Махатов Б.К., Бухарбаева А.Е. Ботанико-географическая характеристика видов сорго // “Vestnik” of the South-Kazakhstan state pharmaceutical academy republican scientific journal №2(79), 2017 — 90 с.
13. Шишова Е.А., Горпиниченко С.И., Романюкин А.Е., Ермолина Г.М. Основные направления и результаты селекции сорго травянистого // Научная статья «Зерновое хозяйство России»—г.Зерноград,2016.— С. 2-3.
14. Анапияев Б.Б., Искакова К.М., Бейсенбек Е.Б., Капалова С.К., Сагимбаева А.М., Омарова А.Ш. Особенности устойчивости *Sorghum bicolor* L. к биотическим стрессовым факторам в аридных условиях юго-востока Казахстана. Аграрная наука. 2019; 1:166-170.
15. Чумикина Л.В., Арабова Л.И., Колпакова В.В., Топунов А.Ф. Фитогормоны и абиотические стрессы (обзор) // Химия растительного сырья. 2021. №4. — С. 5-30.
16. Кибальник О. П., Ларина Т. В., Каменева О. Б., Семин Д. С. Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):9-17. — 9 с.
17. Badigannavar A., Teme N., de Olivera A.C., Li G., Vaksman M., Viana V.E. et al. Physiological, genetic and molecular basis of drought resilience in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Indian Journal of Plant Physiology. 2018;23(4):670-688. DOI: 10.1007/s40502-018-0416-2
18. Amelework B., Shimelis H., Tongoona P., Laing M. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: A review. African Journal of Agricultural Research. 2015;10(31):3029-3040. DOI: 10.5897/AJAR2015.9595
19. Blum A., Sullivan C.Y. The comparative drought resistance of landraces of sorghum and millet from dry and humid regions. Annals of Botany. 1986;57(6):835-846. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aob.a087168
20. Phuong N., Afolayan G., El Soda M., Stützel H., Wenzel W., Uptmoor R. Genetic dissection of pre-flowering growth and development in *Sorghum bicolor* (L.) Moench under wellwatered and drought stress conditions. Agricultural Sciences. 2014;5(11):923-934. DOI: 10.4236/as.2014.511100
21. Amelework B., Shimelis H., Tongoona P., Laing M. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: A review. African Journal of Agricultural Research. 2015;10(31):3029-3040. DOI: 10.5897/AJAR2015.9595
22. Beck E.H., Fettig S., Knake C., Hartig K., Bhattarai T. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. Journal of Biosciences. 2007;32(3):501-510. DOI: 10.1007/s12038-007-0049-5

23. Emendack Y., Burke J., Sanchez J., Laza H.E., Hayes C. Agromorphological characterization of diverse sorghum lines for pre- and post-flowering drought tolerance. *Australian Journal of Crop Science*. 2018;12(01):135-150. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.01.pne790
24. Радченко Е.Е., Алпатьева Н.В., Карабицина Ю.И., Рязанова М.К., Кузнецова Е.Б., Романова О.И., Анисимова И.Н. Разработка и валидация CAPS-маркера, ассоциированного с геном Rf2 у сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Биотехнология и селекция растений*, 2021. – №4(2). – С. 38-47.  
<https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-04>
25. Лисицын Е. М. Использование маркерной селекции в создании моделей сортов зерновых культур, устойчивых к абиотическим стрессам // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018, том 64. – №3. – С. 4-12.
26. Aniskina Yu.V., Malinovskaya E.V., Mitsurova V.S., Velishaeva N.S., Kolobova O.S., Shilov I.A. The study of the sorghum genetic diversity using the mul-tiplex microsatellite analysis. *Plant Biotechnology and Breeding*, 2019. – №2(3). – С. 20-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-3-01>
27. Гарафутдинов Р.Р., Чемерис Д.А., Сахабутдинова А.Р., Кулуев Б.Р., Чемерис А.В. Разнообразие методов детекции полиморфных нуклеотидов в известных снипах. I. Термины и краткий перечень подходов // *Биомика*, 2021. – №13(4). – С.434-443. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2021-30
28. Robert C W. Restriction fragment length polymorphism (RFLP) // *American Journal of Physical Anthropology* 32 (S10), 1989. – PP. 159-184.
29. Эльконин Л.А., Панин В.М., Кенжегулов О.А., Геращенко Г.А. Улучшение питательных свойств зернового сорго на основе методов современной генетики и биотехнологии. *Биотехнология и селекция растений*, 2019. №2(3). — С. 41-48. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2019-3-06>
30. Чесноков Ю.В. Генетические маркеры: Сравнительная классификация молекулярных маркеров, 2018; (3). — С.11-15. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-3-11-15>
31. Александр В.З. Геном растений // *Вестник Российской академии наук*, №73 (9), 2003. — С. 796-806.
32. Бадаева Е.Д., Салина Е.А. Структура генома и хромосомный анализ растений // *Вавиловский журнал генетики и селекции* 17 (4/2), 2015. — С. 1017-1043.
33. Сарсенбаев Б.А., Киршибаев Е.А., Камунур М., Байсеитова Г.А., Сарыбаева Э.А., Нокербекова Н.К. Биотехнология получения биоэтанола из стеблей сорго сахарное (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.) // *Биотехнология. Теория и практика*. 2013, №3, стр. 61-64 DOI: 10.11134/btp.3.2013.10
34. Назаренко Л.В., Биотопливо: история и классификация его видов // *Научный журнал «Вестник»*, №2 (10). 2012 — 16 с.

35. Радченко Е.Е., Алпатьева Н.В., Карабицина Ю.И., Рязанова М.К., Кузнецова Е.Б., Романова О.И., Анисимова И.Н. Биотехнология и селекция растений // Биотехнология, №4 (2), 2021. — С. 38-47.

36. Добровольская О.Б., Дресвянникова А.Е. Соцветие злаков: особенности строения, развития и генетической регуляции морфогенеза. Вавиловский журнал генетики и селекции, 2018. – №22(7). – С. 766-775.

DoI 10.18699/VJ18.420

37. Решетников В.Н., Титок В.В., Носов А.М. Биология клеток растений *in vitro* и биотехнология // XI Международная конференция «Биология клеток растений *in vitro* и биотехнология» г.Минск. 2018. — С. 8-14.

38. Широков А.И., Крюков Л.А. Основы биотехнологии растений // Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 49 с.

39. Дитченко Т.И. Культура тканей и органов растений // курс лекций. – БГУ–Минск. 2007. – 102с.

40. <https://aadvark.livejournal.com/65101.html>

41. <https://www.agroone.info/publication/preimushhestva-vnedrenija-saharnogo-sorgo-socialnye-i-jekonomicheskie-factory/>

42. <https://oooalex.com.ua/ua/p30010291-sorgo-venichnoe-semena.html>

43. [https://garden.hozvo.ru/zachem\\_rossiyanam\\_nuzhna\\_sudanskaya\\_trava-95574?utm\\_referrer=mirtesen.ru](https://garden.hozvo.ru/zachem_rossiyanam_nuzhna_sudanskaya_trava-95574?utm_referrer=mirtesen.ru)

## РЕЦЕНЗИЯ

НА ДИПЛОМНУЮ РАБОТУ

АБДУЛЛАЕВОЙ ЗАРИНЫ АЗАМАТОВНЫ

6B05101 – «Химическая и биохимическая инженерия»

На тему: «Культивирование соматических клеток *Sorghum bicolor* L.»

Выполнено:

- а) графическая часть на 7 листах
- б) пояснительная записка на 30 страницах

## ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа Абдуллаевой З.А. представляет собой исследование, состоящие из следующих ключевых разделов: введение, обзор литературы, материал и методы исследования, результаты исследования и заключение. Тема данной дипломной работы актуальна в биотехнологии растений, а также в сельском хозяйстве.

В введении автором, четко сформулированы цели и задачи исследования.

В литературном обзоре описаны использование биотехнологических методов, молекулярных маркеров в селекции *Sorghum bicolor* L., также устойчивость к абиотическим и биотическим стрессовым факторам окружающей среды. В работе также было описано биотехнология получения биоэтанола из *Sorghum bicolor* L.

Во втором разделе описаны условия культивирования растений *in vitro*.

В третьем разделе автором были описаны методы введения двух генотипов *Sorghum bicolor* L. в культуру *in vitro*. По результатам исследования были сделаны выводы по подбору оптимального состава питательной среды для увеличения частоты каллусогенеза в культуре соматических клеток сахарного сорго. Заключение работы соответствует цели и задачам работы.

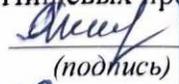
Дипломная работа Абдуллаевой З.А. существенных недостатков не имеет.

## Оценка работы

Дипломная работа соответствует предъявленным требованиям и заслуживает оценки «отлично» 95%, автор Абдуллаева Зарина Азаматовна достойна степени бакалавра по специальности 6B05101 – «Химическая и биохимическая инженерия».

## Рецензент

Доктор Ph.D., профессор  
Кафедры «технология и безопасность  
Пищевых продуктов»

  
(подпись)  
«08» июля 2025 г.

«КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» КЕАҚ
«ЗООИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ТАҒАМ ӨНДІРІСІНІҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫ» ФАКУЛЬТЕТІ

## ОТЗЫВ

### НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

НА ДИПЛОМНУЮ РАБОТУ

АБДУЛЛАЕВОЙ ЗАРИНЫ АЗАМАТОВНЫ

6B05101 – «Химическая и биохимическая инженерия»

Тема: «Культивирование соматических клеток *Sorghum bicolor* L.»

Тема дипломной работы Абдуллаевой З.А. является очень актуальной и посвящена изучению факторов влияющих на частоту процессов каллусогенеза в культуре соматических клеток сахарного сорго *Sorghum bicolor* L. в условиях *in vitro*. Дипломная работа логически структурирована и последовательна. Сформулированы цели и задачи, соответствующие теме заданной работе и заключающиеся в подборе оптимального состава питательной среды для культивирования семени *Sorghum bicolor* L. в условиях *in vitro*.

В литературном обзоре Абдуллаева Зарина продемонстрировала умение обрабатывать и анализировать большое количество литературных источников и выделять первостепенно важную информацию.

Абдуллаева Зарина показала компетентность в процессе работы в биотехнологической лаборатории, выказывала инициативность и самостоятельность при выполнении исследовательской работы. По окончанию лабораторных экспериментов, результаты были проанализированы и были сделаны конкретные выводы на их основе.

Оформление и содержание дипломной работы соответствует нормативным требованиям.

В соответствии с вышесказанным, считаю, что работа отвечает всем требованиям и заслуживает присвоения квалификации «бакалавр» Абдуллаевой Зарины. Работа допускается к защите. Рекомендуемая оценка – «отлично» 95%.

**Научный руководитель**

Доктор биологических наук,  
ассоц. профессор

 Анапияев Б.Б.

(подпись)

«05» июня 2023 г.



## Metadata

Title

**Культивирование соматических клеток Sorghum bicolor L.docx**

Author(s)

**Зарина Абдуллаева**

Coordinator

**Бакытжан Анапияев**

Organizational unit

**ИГИНГД**

## List of possible text manipulation attempts

In this section, you can find information regarding text modifications that may aim at temper with the analysis results. Invisible to the person evaluating the content of the document on a printout or in a file, they influence the phrases compared during text analysis (by causing intended misspellings) to conceal borrowings as well as to falsify values in the Similarity Report. It should be assessed whether the modifications are intentional or not.

Characters from another alphabet		0
Spreads		0
Micro spaces		0
Hidden characters		0
Paraphrases (SmartMarks)		7

## Record of similarities

Please note that high coefficient values do not automatically mean plagiarism. The report must be analyzed by an authorized person.

**25**

The phrase length for the SC 2

**4429**

Length in words

**33805**

Length in characters

## Active lists of similarities

Scroll the list and analyze especially the fragments that exceed the SC 2 (marked in bold). Use the link "Mark fragment" and see if they are short phrases scattered in the document (coincidental similarities), numerous short phrases near each other (mosaic plagiarism) or extensive fragments without indicating the source (direct plagiarism).

### The 10 longest fragments

Color of the text

NO	TITLE OR SOURCE URL (DATABASE)	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
1	<a href="http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf">http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf</a>	18	0.41 %
2	<a href="http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf">http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf</a>	14	0.32 %
3	<a href="https://ryazanameli.ru/mnogoletnie-tsvety/sorga-rastenie-primenenie.html">https://ryazanameli.ru/mnogoletnie-tsvety/sorga-rastenie-primenenie.html</a>	14	0.32 %
4	<a href="http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf">http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf</a>	11	0.25 %
5	<a href="https://www.vetpress.ru/jour/article/viewFile/732/716">https://www.vetpress.ru/jour/article/viewFile/732/716</a>	10	0.23 %
6	<a href="http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf">http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf</a>	7	0.16 %
7	<a href="http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf">http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf</a>	6	0.14 %

8	<a href="http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf">http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf</a>	6	0.14 %
9	<a href="https://mydocx.ru/2-33460.html">https://mydocx.ru/2-33460.html</a>	6	0.14 %
10	<a href="https://www.public.asu.edu/~mfwojci/HGsupertree/HGstudies.html">https://www.public.asu.edu/~mfwojci/HGsupertree/HGstudies.html</a>	5	0.11 %

from RefBooks database (0.00 %) 

NO	TITLE	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)
----	-------	---------------------------------------

from the home database (0.11 %) 

NO	TITLE	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
1	Отчет общий годовой (ПЦФ за 2019)_BR05236302.doc 2/18/2020 Satbayev University (ИХИБТ)	5 (1)	0.11 %

from the Database Exchange Program (0.00 %) 

NO	TITLE	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)
----	-------	---------------------------------------

from the Internet (2.98 %) 

NO	SOURCE URL	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
1	<a href="http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf">http://www.bio.bsu.by/fbr/files/kurs_lectures_plant_cell_culture.pdf</a>	67 (7)	1.51 %
2	<a href="https://www.vetpress.ru/jour/article/viewFile/732/716">https://www.vetpress.ru/jour/article/viewFile/732/716</a>	40 (7)	0.90 %
3	<a href="https://ryazanameli.ru/mnogoletnie-tsvety/sorga-rastenie-primenenie.html">https://ryazanameli.ru/mnogoletnie-tsvety/sorga-rastenie-primenenie.html</a>	14 (1)	0.32 %
4	<a href="https://mydocx.ru/2-33460.html">https://mydocx.ru/2-33460.html</a>	6 (1)	0.14 %
5	<a href="https://www.public.asu.edu/~mfwojci/HGsupertree/HGstudies.html">https://www.public.asu.edu/~mfwojci/HGsupertree/HGstudies.html</a>	5 (1)	0.11 %

**List of accepted fragments** (no accepted fragments)

NO	CONTENTS	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)
----	----------	---------------------------------------