



Статья

Оценка условий твердофазной ферментации отходов кожуры ананаса на высвобождение биоактивных соединений *Aspergillus niger* spp.А. Даница Касас-Родригес
Мигель А. Медина-Моралес¹ ID, Хуан А. Аскасио-Вальдес ¹ ID, Мириам Дезире Давила-Медина ¹ ID, Лилиана,
² ID, Лондоньо-Эрнандес ³ ID и Леонардо Сепульведа ^{1,*} ID¹ Департамент пищевых исследований, Химический факультет, Автономный университет Коауила, Сальтильо 25280, Мексика; danitza.casas@uadec.edu.mx (ADC-R.); alberto_ascaciovaldes@uadec.edu.mx (JAA-V.); Desireedavila@uadec.edu.mx (MDD-M.)² Лаборатория экологической биотехнологии, факультет биотехнологии, химический факультет, Автономный университет Коауила, Сальтильо 25280, Мексика; miguel.medina@uadec.edu.mx³ BIOTICS Group, Школа фундаментальных наук, технологий и инженерии, Национальный университет Abierta ya Distancia, Пальмира 763531, Колумбия; liliana.londono@unad.edu.co

* Переписка: leonardo_sepulveda@uadec.edu.mx

Аннотация: В настоящее время отходы агропромышленного комплекса можно использовать для получения биологически активных соединений. Твердофазная ферментация является альтернативой повышению ценности этих отходов и возможности высвобождения

биологически активных соединений, которые могут представлять интерес для различных отраслей промышленности. Целью этого исследования было оценить условия твердофазной ферментации с использованием отходов кожуры ананаса в качестве субстрата с видами *Aspergillus niger*, чтобы высвободить биологически активные соединения с использованием исследовательского дизайна Плакетта-Бермана. Оценивали температуру, влажность, условия инокулята, NaNO₃, MgSO₄, KCl и KH₂PO₄ в процессе ферментации. Определена антиоксидантная способность и идентифицированы основные соединения ферментативных экстрактов. Результаты показали, что штамм *Aspergillus niger* HT3 достиг высвобождения гидролизующего танина 10,00 мг/г, тогда как *Aspergillus niger* Aa20 достиг высвобождения конденсированного танина 82,59 мг/г. KH₂PO₄ влияет на высвобождение конденсированных танинов *A. niger* Aa20, а MgSO₄ влияет на высвобождение гидролизующих танинов *A. niger* HT3. Кроме того, для методик DPPH, ABTS и FRAP была продемонстрирована положительная антиоксидантная активность. Основными соединениями в ферментированной коже ананаса были, среди прочего, 3-ферулоилхиновая кислота, кофейная кислота, ларицирезинол и 3-гидроксифлоретин - 2'-О-ксилозилглюкозид. Процесс твердофазной ферментации является биотехнологической альтернативой высвобождения биологически активных соединений.

Ключевые слова: конденсированные танины; гидролизующие танины; антиоксидант; Плакетт-Берман; ДППГ; ФРАП



Ссылка: Касас-Родригес, AD; Аскасио-Вальдес, Ж.А.; Давила-Медина,

доктор медицинских наук; Медина-Моралес, Массанусетс;

Лондоньо-Эрнандес, Л.; Сепульведа,

L. Оценка твердотельного состояния

Условия ферментации от

Отходы кожуры ананаса для выделения

биоактивных соединений *Aspergillus niger* spp.Прим. Микробиол. 2024, 4, 934–947. [https://](https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4020063)doi.org/10.3390/applmicrobiol4020063

Академический редактор: Николаос

Копсахелис

Поступила: 15 марта 2024 г.

Пересмотрено: 4 июня 2024 г.

Принято: 5 июня 2024 г.

Опубликовано: 8 июня 2024 г.



Копирайт: © 2024 авторов.

Лицензиат MDPI, Базель, Швейцария.

Эта статья находится в открытом доступе. распространяется на условиях и условия Creative Commons

Лицензия с указанием авторства (CC BY)

([https://creativecommons.org/licenses/by/](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

4.0/).

1. Введение

В настоящее время биоактивные соединения вызывают большой интерес из-за важности их пользы для здоровья человека и их применения, среди прочего, в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности. Эти соединения называются танинами; они являются вторичными метаболитами, обнаруженными в растениях и фруктах [1]. Танины были разделены на несколько групп; среди них есть конденсированные, представляющие собой олигомеры или полимеры флаван-3-олов и флаван-3,4-диолов [2]. Внутри этих групп имеются также проантоцианидины, среди которых наиболее распространены эпикатехин, галлокатехин, катехин и эпигаллокатехин.

Кроме того, гидролизующие танины делятся на две большие группы: галлотаннины, являющиеся эфирами галловой кислоты, и эллаготаннины, являющиеся эфирами эллаговой кислоты [3,4].

Танины представляют большой интерес из-за их биологической активности, такой как антиоксидантная, противомикробная, противовоспалительная, химиотерапевтическая, антигликемическая и другие активности. Их также можно применять в лекарствах, продуктах питания, добавках, дерматологических продуктах и косметике [3,5]. В коже плодов обнаружены биологически активные

такие как виноград, апельсин, гранат и рамбутан. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО), мировое производство ананасов в 2022 году составило 29 361 138 т. Страны-производители включают Коста-Рику, Филиппины, Бразилию, Таиланд и Индию. Отходы ананаса могут варьироваться от 60 до 80% (в зависимости от сорта) и соответствуют кроне, кожуре, листьям, сердцевине и стеблям [7]. По этой причине ведется поиск альтернатив использованию этого типа отходов; среди возможных применений — производство текстиля, бумаги и кормов для животных [8], производство биоэтанола [9], производство переработанной упаковки [10] и получение натуральных пигментов [11] и другие.

Однако было показано, что отходы кожуры ананаса также являются потенциальным источником получения дубильных веществ [12]. Эти отходы богаты минералами (в частности, магнием, калием, цинком и натрием), различными витаминами, такими как А, С, К и Е [13], и ароматическими соединениями, такими как лимонен, этилгексаноат, бутилацетат, 1-бутанол, фурфурол и др. [14]. Для получения соединений этого типа было использовано несколько традиционных и новых технологий, включая экстракцию с помощью Сокслета, жидкостно-жидкостную экстракцию, паровую экстракцию, инфузию, ультразвуковую экстракцию [15], автогидролиз [16], микроволновую печь и сверхкритическую флюидную экстракцию [17].

В настоящее время ведется поиск новых экологически чистых альтернатив получения дубильных веществ; Твердофазное брожение — это биопроцесс, который происходит при низком уровне воды. В основном сообщалось об использовании дрожжей и мицелиальных грибов [18]. Очень важно изучить факторы, влияющие на процесс твердофазной ферментации, такие как, среди прочего, температура, влажность и pH [19].

Целью данной работы было оценить условия процесса твердофазной ферментации с использованием *Aspergillus niger* spp. по выделению полифенольных соединений из отходов кожуры ананаса и выявлению основных соединений, обладающих антиоксидантной активностью.

2. Материалы и методы 2.1.

Получение отходов кожуры ананаса и реагентов. Отходы

кожуры ананаса собирали на местном рынке, расположенном в центре города Сальтильо, Коауила. Отходы разрезали на мелкие кусочки, промывали, помещали в контейнеры и сушили в печи (Luzeren®, модель WGL-65B, Шанхай, Китай) при температуре 60 °C в течение 72. После высыхания их измельчали в блендере, затем получение порошка.

Галловая кислота (CAS 149-91-7), катехин (CAS 18829-70-4), тролокс (CAS 53188-07-1), DPPH (CAS 1898-66-4), ABTS (CAS 30931-67-0) и TPTZ (CAS 3682-36-7) были от Sigma-Aldrich® (Сент-Луис, Мичиган, США). Фенол (CAS 108-95-2), нитрат натрия (CAS 7631-99-4), хлорид калия (CAS 7447-40-7), сульфат магния (CAS 10034-99-8), ацетат натрия (CAS 127-09-3), персульфат калия (7727-21-1) и сульфат железа (CAS 7782-63-7) были от FAGA®Lab. Серная кислота (CAS 7664-93-9), соляная кислота (CAS 7647-01-0), монокалийфосфат (CAS 7778-77-0) от Analytika®. Этанол (CAS 64-17-5), карбонат натрия (CAS 497-19-8), изобутанол (CAS 78-83-1), метанол (CAS 67-56-1) и декстроза (50-99-7) были из Jalmek® (Нуэво-Леон, Мексика). Уксусная кислота (CAS 64-19-7) была произведена Macron Fine Chemicals™. Картофельно-декстрозный агар был от BD Bioxon™ (Kowale, Польша). Реактив Фолина был произведен компанией Godel BellMR Reagents. Дистиллированную воду предоставил факультет химических наук Автономного университета Коауилы.

2.2. Физико-химические свойства отходов кожуры ананаса.

Для определения характеристик субстрата отходы кожуры ананаса были подвергнуты двум анализам: индекс водопоглощения (WAI) и критическая точка влажности (CMP). Эти анализы были определены в соответствии с методологией, представленной Buenrostro-Figueroa et al. [20]. Для WAI 1,5 г сухого вещества помещали в центрифугальную пробирку емкостью 50 мл с 15 мл дистиллированной воды, вручную встряхивали в течение 1 минуты при комнатной температуре, а затем центрифугировали при 3000× g в течение 10 минут (Premiere®, модель XC-2450), Маскоги, Оклахома, США). Супернатант отбрасывали и WAI рассчитывали по оставшейся массе геля, выраженной в г геля/г сухой массы. CMP оценивали путем добавления 1 г образца на термовесы (OHAUS, модель MB23, Грайфензее, Швейцария).

где потерю веса в результате обезвоживания контролировали до тех пор, пока не была достигнута точка перегиба для определения параметров.

2.3. Экспресс-анализ отходов кожуры ананаса

Экспресс-анализ заключался в определении содержания влаги, золы и жира по методологии AOAC по Polania-Rivera et al. [20]. Общее содержание углеводов определяли фенол-серным методом по Polania-Rivera et al. [21] с некоторыми модификациями, где стандартную кривую строили для декстрозы в концентрации 0–140 ppm. Восстанавливающие сахара определяли по Сельвантану и Маснугу [22]. Содержание белка определяли спектрофотометрическим методом Лоури по методике, сообщенной Redmile-Gordon et al. [23]. Определение клетчатки определялось в соответствии с данными, сообщенными Púa et al. [24].

2.4. Оценка штаммов грибов с инвазивной способностью на отходах кожуры ананаса

Были оценены пять штаммов грибов из Департамента пищевых исследований Автономного университета Коауилы, которые были ранее идентифицированы и охарактеризованы (*Aspergillus* HT3, *Aspergillus niger* GH1 [MUM 23.16], *Aspergillus niger* Aa20, *Aspergillus* Aa120 и *Aspergillus oryzae*). Штаммы реактивировали на картофельно-декстрозном агаре (КПК) при 30 °C в течение 5 дней. Способность к инвазивному росту микроорганизма оценивали, используя в качестве субстрата отходы измельченной кожуры ананаса. Кинетику роста оценивали путем измерения каждые 24 часа в течение 5 дней и определения скорости роста [25]. Впоследствии экстракцию проводили путем извлечения 15 мл этанола (50%) для последующей

2.5. Количественное определение полифенольных соединений

Гидролизуемые танины (HT) определяли с использованием метода Фолина-Чиокальтеу, описанного Zaki et al. [26] с некоторыми изменениями. Аликвоту 20 мкл ферментационного экстракта (образцы разбавляли в соотношении 1:100) помещали в лунку микропланшета, затем добавляли 20 мкл реактива Фолина-Чиокальтеу и оставляли на 5 мин, а затем 20 мкл карбоната натрия. (0,01 M) добавляли и оставляли стоять на 5 минут и, наконец, разбавляли в 125 мкл дистиллированной воды и считывали при 750 нм в микропланшетном ридере (Thermo Scientific, Уолтем, Массачусетс, США). Значения рассчитывали с использованием калибровочной кривой галловой кислоты (0–200 ppm). Содержание гидролизуемого танина выражали в мг/г массы кожуры ананаса. Конденсированные танины (КТ) определяли в соответствии с методологией, описанной Palacios et al. [27] с некоторыми изменениями. HCl-изобутанол готовили растворением 70 мг FeSO₄·7H₂O в 10 мл 36% HCl, объем раствора достигал 200 мл с изобутанолом. Аликвоты по 333 мкл экстрактов добавляли к 2 мл реагента HCl-изобутанол в стеклянной пробирке с завинчивающейся крышкой при 100 °C в течение 1 часа. После охлаждения при комнатной температуре 180 мкл переносили пипеткой в лунки микропланшета и считывали при длине волны 460 нм с помощью устройства для считывания микропланшетов (Thermo Scientific, Уолтем, Массачусетс, США). Значения рассчитывали с использованием катехиновой калибровочной кривой (0–1500 ppm). Содержание СТ выражали в мг/г массы кожуры ананаса.

2.6. Оценка условий твердофазной ферментации (ТФФ) с использованием отходов кожуры ананаса для высвобождения биоактивных соединений

Для оценки условий SSF использовался исследовательский план Плакетта-Бермана по высвобождению полифенолов. В дизайне использовались два уровня (+1, -1): 7 факторов, которыми были температура, влажность, инокулят, NaNO₃, MgSO₄, KCl и KH₂PO₄, и 8 обработок, которые проводились в трех повторностях; факторы и лечение показаны в Таблице 1. Переменной ответа было количество ГТ и СТ; его количественная оценка проводилась в соответствии с методиками раздела 2.5. Экстракты извлекали добавлением 15 мл смеси этанол: вода (50% по объему), а затем фильтровали и хранили для дальнейшего анализа.

Таблица 1. Сокращенная матрица расчетных методов Плакетта-Бермана и уровни факторов для полифенолов выпускать.

Лечение	Температура (C)	Влажность (%)	Инокулят (спор/г)	NaNO3	MgSO4	KCl	X2PO4
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1
Факторы	Уровни						
	+1			1			
Температура (C)	30			25			
Влажность (%)	80			70			
Инокулят (спор/г)	1 × 107			1 × 106			
NaNO3 (г/л)	15,6			7,65			
MgSO4 (г/л)	3,04			1,52			
KCl (г/л)	3,04			1,52			
KN2PO4 (г/л)	6,08			3.04			

2.7. Анализ полифенольного содержания ферментативных экстрактов с помощью ОФ-ВЭЖХ-ESI-MS

Для идентификации полифенольного содержания ферментативных экстрактов они фильтровали через нейлоновую мембрану 0,45 мкм; затем отбирали 1,5 мл и помещали во флакон для хроматография. Идентификация была проведена в соответствии с описанной методологией. Диас-Эррера и др. [28]. Анализы с помощью обращенно-фазовой жидкости с высокими эксплуатационными характеристиками. Хроматографию проводили на системе Varian HPLC, включая автосамплер. (Varian ProStar 410, Пало-Альто, Калифорния, США), тройной насос (Varian ProStar 230I, США), и детектор PDA (Varian ProStar 330, США). Масса-ловушка для ионов жидкостного хроматографа спектрометр (Varian 500-MS IT Mass Spectrometer, США), оснащенный электрораспылителем Также использовался источник ионов.

2.8. Определение антиоксидантной способности

Анализ DPPH проводился с использованием методологии, описанной Sepúlveda. и другие. [16] с некоторыми изменениями. Радикал ДФПГ получали в концентрации 60 мкМ в метанольном растворе. Затем 193 мкл раствора DPPH-метанол и 7 мкл раствора ферментационный экстракт смешивали и помещали в микропланшет. В качестве холостого использовали метанол. и раствор ДФПГ-метанол использовали в качестве контроля поглощения. Стандартный раствор Тролокса готовили от 0 до 200 ppm. Образцы считывали при длине волны 540 нм в микропланшет-ридере. (Thermo Scientific, Уолтем, Массачусетс, США). Активность по удалению радикалов рассчитывали согласно уравнению (1):

RSA (%) =
$$\frac{(A_c - A_m)}{A_c} \times 100$$

(1)

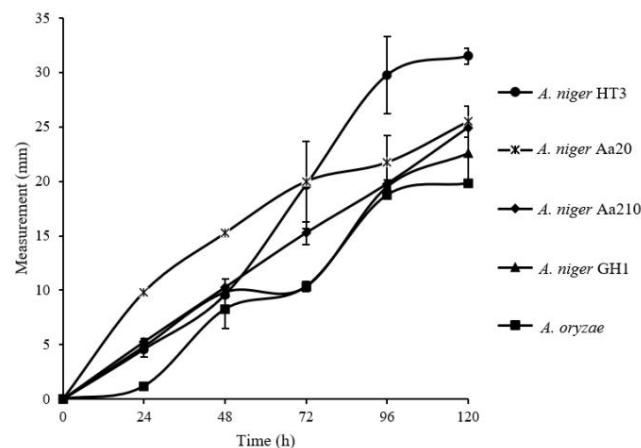
где Ac — контрольная оптическая плотность, а Am — оптическая плотность образца.

Анализ ABTS проводили с использованием методологии Sepulveda et al. [15], с некоторые модификации. Готовили раствор ABTS (7 мМ) и смешивали с раствором K2S2O8 (2,45 мМ). Оставляли стоять в темноте в течение 12 часов при комнатной температуре. Ан аликвоту 193 мкл раствора ABTS и 7 мкл ферментационного экстракта смешивали и помещали в микропланшете. Этанол использовался в качестве бланка для чтения, а ABTS-этанол - в качестве контроля. поглощение. Стандартный раствор Тролокса готовили в диапазоне концентраций от 0 до 200 частей на миллион. Образцы считывали при 750 нм в микропланшетном ридере (Thermo Scientific, Уолтем, Массачусетс, США). Результаты выражали согласно уравнению (1).

антиоксидантная активность.

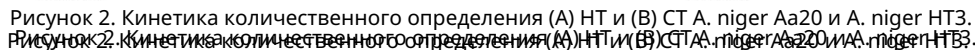
Физико-химическая характеристика кожуры ананаса

3.2. Оценка штаммов грибов, обладающих способностью к инвазивному росту

[illegible]

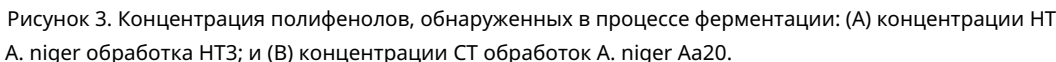
ОЧИСТИТЬ ОТХОДЫ.

Штамм *A. niger* Aa20 высвободил 6,02 мг/г НТ за 48 часов. Однако *A. niger* НТ3, высвободилось 10,00 мг/г НТ за 72 часа. Согласно этим результатам, *A. niger* НТ3 оказался штамм, который способствовал высвобождению НТ. На рисунке 2В показана количественная оценка КТ с *A. niger*. Аа20 и *A. niger* НТ3. Штамм *A. niger* Аа20 высвободил 82,59 мг/г ЦТ за 48 часов.



показаны обработки, используемые для высвобождения НТ₃ для A. niger HT₃ — Фер. На рис. 3А показаны обработки, используемые для высвобождения НТ₃ для A. niger HT₃, использовались время ферментации и 7 часов; обработка Б имела самые высокие высвобождение НТ₃ со временем ферментации в течение времени 7 часов; обработка Г имела наибольшее выделение НТ₃. Концентрация сухого вещества из образцов А до 0,5 мг/г, образцы В, С, Д, Е, Ж, З концентрация сухих веществ от 0,6 до 1,8 мг/г. Образец К сухой образец кожиры анаанаса. Условиями концентрации обрабатываемых материалов были температура 30 °C с влажностью 70 %, инокулят, 1% к 107.

обработка б: температура 30 °C, влажность 70 % полевой материал 1 × 10⁷; концентрация солей NaSO₄ (3,04 г/л), MgSO₄ (3,04 г/л) KCl (1,52 г/л). , KH₂PО4 (3,04 г/л) концентрация солей NaNO₃ (7,65 г/л), трация солей NaNO₃ (7,65 г/л), MgSO₄ (3,04 г/л), KCl (1,52 г/л) и KNHPO₄ (3,04 г/л). По сравнению с неферментированным образом SWF ферментация способствует высвобождению полифенольных соединений до 2,1 раза. Выделение полифенольных соединений для образца Ст; для A. niger AszD использовали время ферментации 48 часов, а обработка 4 имела отпустить KI₋ для A. niger Azso использовать время ферментации 48 ч, а обработка 4 имела лучшее высвобождение. По концентрации сухих веществ образцы мкг сухого вещества лучшего высвобождения C с лучшей способностью соединения. Обработка 9-0,6 мг/г сухой образец кожуре ананаса. Условия обработки 4: температура 30 °С, влажность 80 %, кожара кожура ананаса. условия обработки 4: температура 30 °C, влажность 80 %, полевой материал 1 × 10⁶; концентраты солей NaNO₃ (1,52 г/л), MgSO₄ (1,52 г/л), KCl и концентрация полевой материал 1 × 10⁶, концентрация солей NaNO₃ (15,6 г/л), MgSO₄ (1,52 г/л), KCl (1,52 г/л) и KH₂Pо4 (3,04 г/л). По сравнению с SWF ферментация способствует выделению KCl (1,52 г/л) и KNHPO₄ (3,04 г/л). По сравнению с SWF ферментация способствует выделению полифенольных соединений до 2,1 раза. выделение полифенольных полифенольных соединений до 2,1 раза.



На рисунке 4А показано стандартизированное влияние факторов, влияющих на высвобождение НТ у *A. niger*. Штамм НТ3. $MgSO_4$ напрямую влияет на высвобождение НТ. Остальные факторы, которые не превышающие пунктирную линию, не влияют на высвобождение НТ. На рисунке 4В показан стандартизированный влияние факторов, влияющих на высвобождение ЦТ, у штамма *A. niger* Aa20. KH_2PO_4 напрямую влияет

выпуск КТ. Остальные факторы, не выходящие за пунктирную линию, не оказывают влияния на выпуск КТ.

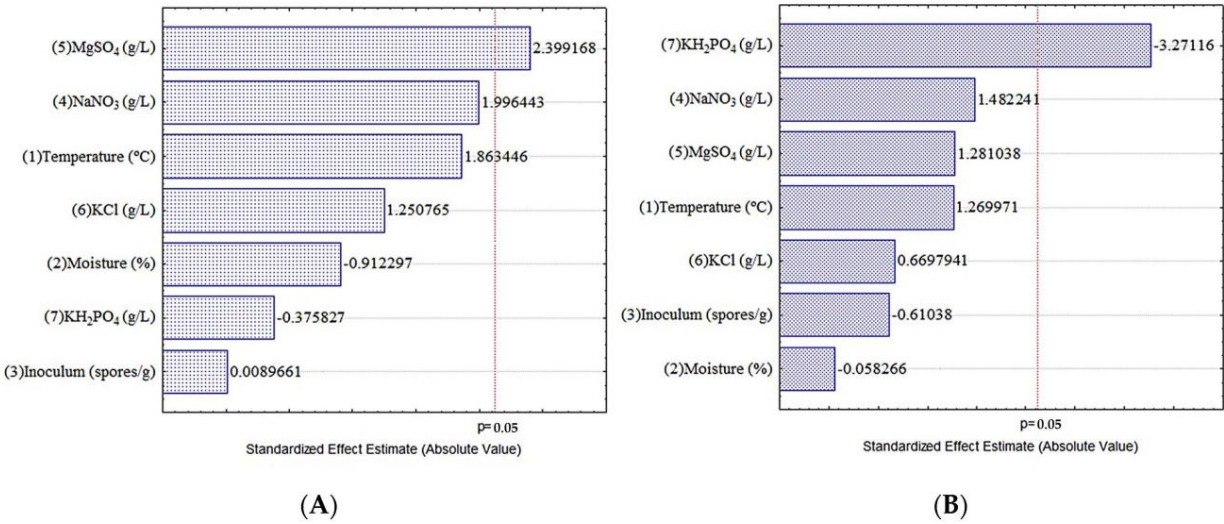


Рисунок 4. Диаграмма Парето переменных, влияющих на процесс ферментации: (A) НТ для A. niger NT3; и (B) КТ для A. niger Aa20.

3.5. Идентификация НТ и СТ с помощью ВЭЖХ-МС

Содержание полифенолов (табл. 2) в неферментированном образце и экстрактах SSF кожура ананаса с A. niger Aa20 (обработка 4) и A. niger NT3 (обработка 6) определяли методом ВЭЖХ-МС. В неферментированном образце обнаружено 10 соединений, принадлежащих к семействам гидроксикоричные кислоты, метоксифлавоны, стильбены, гидроксibenзойные кислоты, флавоны и были обнаружены изофлавоны. В обработке 4 с A. niger Aa20 пять соединений, принадлежащих к семействам куркуминоидов, гидроксикоричных кислот, лигнанов, метоксикоричных кислот, и флавоны были идентифицированы. В обработке 6 с A. niger NT3 10 соединений, принадлежащих к семействам лигнанов, гидроксикоричных кислот, метоксифлавонов, катехинов, флаванонов, Идентифицированы метоксикоричные кислоты, гидроксibenзойные кислоты и антоцианы.

Таблица 2. Полифенольные соединения, выявленные в обработке 6 с A. niger NT3 и обработке 4 с A. Нигер Aa20.

Неферментированный образец				
Нет.	Молекулярная масса	Химическая формула	Молекула	Семья
1	341,0	C15H18O9	Кофейная кислота 4-O-глюкозид	Гидроксикоричные кислоты
2	314,9	C16H12O7	Рамнетин	Метоксифлавоны
3	389,0	C20H22O8	Ресвератрол 3-O-глюкозид	Стильбены
4	322,9		Галловая кислота 3-O-галлат	Гидроксibenзойные кислоты
5	252,9	C15H10O4	7,4'- дигидроксифлавоны	Флавоны
6	352,8	C16H18O9	1-кофеилхиновая кислота	Гидроксикоричные кислоты
7	370,8	C20H20O7	Синенсетин	Метоксифлавоны
8	336,8	C16H18O8	3-п-кумароилхиновая кислота	Гидроксикоричные кислоты
9	622,8	C28H32O16	Изорхамнетин 3-O-глюкозид	Метоксифлавоны
10	414,9	C21H20O9	7-O-рамнозид	Изофлавоны
			Дайдзин	

Обработка 4 штамма A. niger Aa20									
Нет.	Молекулярный вес 368,8		Химическая формула		Молекула		Семья		
1			C21H20O6	куркумином 4 штамма A. niger №20				Куркуминоиды	
Нет.	352,9		C16H18O9	химическая формула	1-кофеоилхинолиновая кислота	Молекула		Гидроксикоричные кислоты	
2	1	359,8	368,8	C20H24O6	Ларицирезинол	Молекула		Куркуминоиды	
3		366,8	352,9	C17H20O9	3-Ферулоилхиноная кислота 1-Кофеоилхинолиновая кислота	Молекула		Метоксикоричные кислоты	
4	2	380,5	359,8	сульфат 3-Ферулоилхиноной кислоты C15H10O10S	Кверцетин 3'	Молекула		Флавонолы	
5	3	300,8	366,8	C15H10O10S	Кверцетин 3'	Молекула		Метоксикоричные кислоты	
4			380,5	Молекулярная	Кверцетин №	Молекула		Флавонолы	
5			300,8	6 штамма A. niger H13	Молекула	Обработка		Флавонолы	
Семья									
1 № 2		358,6		C20H24O6	Ларицирезинол	Химическая формула	Молекула		лигнаны
		352,9		C16H18O9	1-кофеоилхиноная кислота	C20H24O6			Семья
				C16H18O9	C15H14O7	C16H18O9	C15H14O7		Гидроксикоричные кислоты
3	1	283,9	358,6		Ларицирезинол				лигнаны
4	2		352,9		Метилгалангин				Метоксифлавонолы
4	3	306,8	283,9		1-кофеоилхиноная кислота				Гидроксикоричные кислоты
5	4		256,7	306,8	(+)-Галлокатехин				катехины
					Метилгалангин				Метоксифлавонолы
					Пиноцембрин				Флаваноны
					(+)-Галлокатехин				катехины
6	5	311,9	256,7		Пиннаембрин				Флаваноны
7	6	588,9	311,9		Кофеоилвинная кислота				Гидроксикоричные кислоты
8	7		588,9		Шоттенол ферулат				Гидроксикоричные кислоты
8	8	600,9	588,9		Шоттенол ферулат				Метоксикоричные кислоты
9		289,0	289,0		Галлаговая кислота				Гидроксикоричные кислоты
					Галлаговая кислота				Гидроксикоричные кислоты
					Галлаговая кислота				Гидроксикоричные кислоты
9	10	289,0	289,0		(+)-Катехин				катехины
					(+)-Катехин				катехины
9	10	286,6	286,6		Цианидин				Антоцианы
					C15H11O6				Антоцианы

3.6. Антиоксидантная активность ферментативных экстрактов

На фигуре 5 показаны обработки каждого из использованных штаммов по сравнению с неферментированным образцом на активность DPPH. Обработка 6, которая соответствует *A. niger* НТЗ, неферментированному образцу на активность DPPH. Обработка 6, которая соответствует *A. niger* НТЗ, получила более высокий процент ингибирования, достигнув 60,28% $\pm$ 1,74. Этот результат позволил получить более высокий процент ингибирования, достигнув 60,28 $\pm$ 1,74%. Этот результат по сравнению с неферментированным образцом представляет собой улучшение DPPH до 1,5 раз, по сравнению с неферментированным образцом представляет улучшение DPPH до 1,5 раз.

активность: Обработка 6, которая соответствует *A. niger* Аз20, позволила получить более высокий процент ингибирования, достигнув 57,82% $\pm$ 0,46. Этот результат позволил получить более высокий процент ингибирования, достигнув 57,82 $\pm$ 0,46%. Этот результат по сравнению с неферментированным образцом представляет собой улучшение активности DPPH до 1,5 раз, представляет собой улучшение активности DPPH до 1,5 раз.

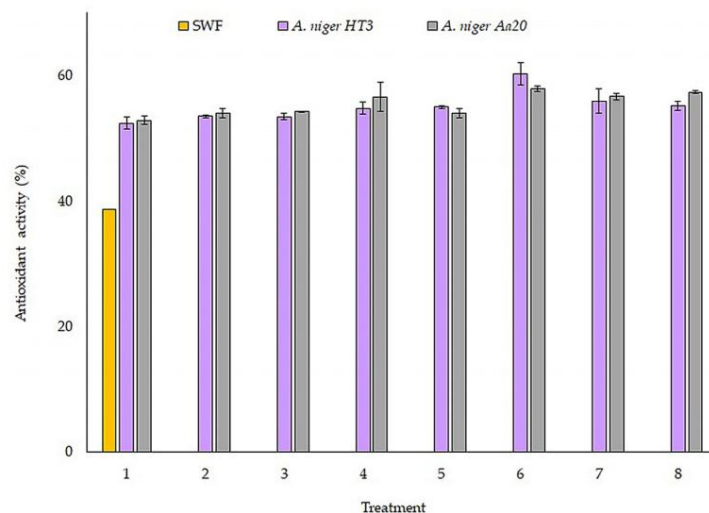


Рисунок 5. Антиоксидантная активность отходов ферментации экстрактов кожры на наса в отношении ДФПГ.

На рисунке 6 показаны обработки каждого из использованных штаммов по сравнению с образцом на предмет активности ABTS. Обработка 7, соответствующая *A. niger* HT3, позволила получить более высокий процент ингибирования, достигнув 77,38 $\pm$ 6,64%. Этот результат по сравнению с неферментированным образцом представляет улучшение ABTS до 2,6 раз. Обработка 6, которая соответствует *A. niger* Aa20, позволила получить более высокий процент

получили более высокий процент ингибирования, достигнув $77,38\% \pm 6,64$. Этот результат по сравнению с неферментированным образцом представляет собой улучшение до 2,6 раз, в ABTS получен более высокий процент ингибирования, достигающий $77,38\% \pm 6,64$. Это результат ком- 942

процент по сравнению с неферментированным образцом, что представляет собой улучшение ABTS

ингибирования до 2,6 раз, достигая $81,41\% \pm 4,06$. Этот результат по сравнению с неферментированной сам-активностью: Обработка 6, которая соответствует A. niger Aa20, позволила получить более высокий процент p_e , что представляет собой улучшение активности ABTS до 2,8 раз.

торможения, достигая $81,41\% \pm 4,06$. Этот результат по сравнению с неферментированным сам-ингибированием достигал $81,41 \pm 4,06\%$. Этот результат по сравнению с неферментированным образцом p_e представляет собой улучшение активности ABTS до 2,8 раз. представляет

собой улучшение активности ABTS до 2,8 раз.

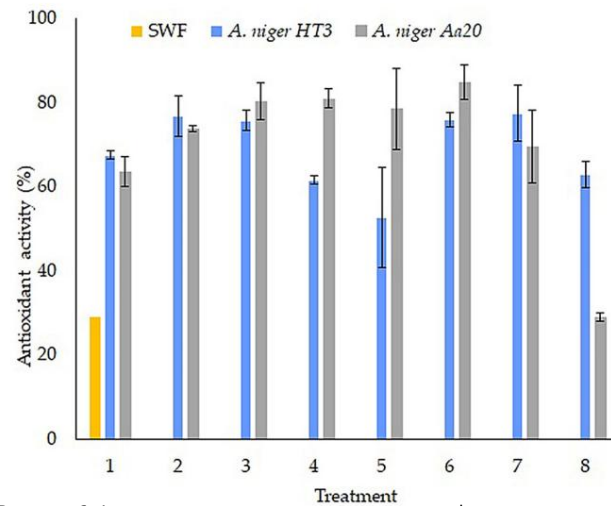


Рисунок 6. Антиоксидантная активность отходов ферментации экстрактов кожуры ананаса для ABTS.

Рисунок 6. Антиоксидантная активность отходов ферментации экстрактов кожуры ананаса для ABTS.

Рисунок 6. Антиоксидантная активность отходов ферментации экстрактов кожуры ананаса для ABTS.

На рисунке 7 показаны обработки каждого из использованных штаммов по сравнению с ферментированным образцом. Активность FRAP обработки 8, которая соответствует штамму A. niger HT3, на ферментированном образце была в 1,4 раза выше, активная температура была 39,5 °C, что соответствует A. niger HT3, получили антиоксидант более высокой мощности, достигая значений 76,64 ± 2,8 мг-экв. тролокса/г. Это результат обработки 1,3, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 81

Неферментированный образец демонстрирует улучшение активности FRAP до 1,8 раз.

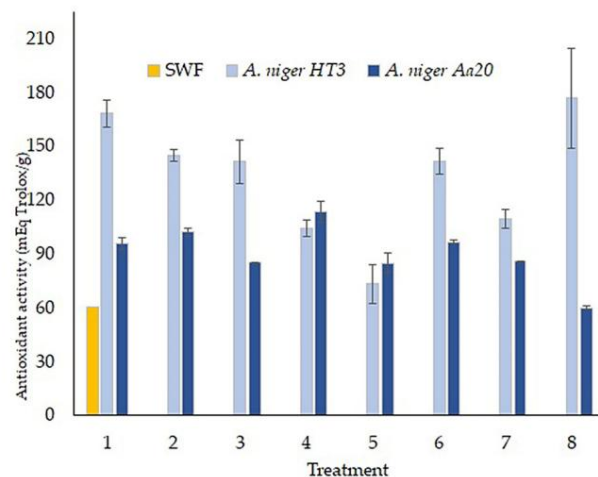


Рисунок 7. Антиоксидантная активность отходов ферментации экстрактов кожуры ананаса для FRAP.

Рисунок 7. Антиоксидантная активность отходов ферментации экстрактов кожуры ананаса для FRAP.

4. Дискуссия

Рисунок 7. Антиоксидантная активность отходов ферментации экстрактов кожуры ананаса для FRAP.

4.4. Убежденность: личностная характеристика

4.10. Результаты WA1 были аналогичны тем, о которых сообщили Polania-Rivera et al. [21] в кожуре ананаса (5,61 г/г сухой кожуры). Существуют подобные работы; например, виноградные выжимки Физии. Результаты WA1 были аналогичны тем, о которых сообщили Polania-Rivera et al. [21] у сосны. 4.1. достигла значений 3,38 г/г сухого материала [22], а семян манго - 3,4–4 г/г сухого материала [31]. Кожура яблока (5,61 г/г сухой кожуры). Существуют подобные работы; например, виноградные [21] и яблоки [31]. В результате анализа было получено, что как у сосны, так и у ананаса Polania-Rivera et al. на рис. виноградных выжимок (4,63 г/г) и кожуры ананаса (5,61 г/г) существуют подобные работы с виноградными выжимками (14,37%). Благодаря этим результатам отходы кожуры ананаса являются многообещающим субстратом для SSF.

Содержание влаги было выше, чем сообщалось Selani et al. [32] (3,77%) в ананасовые выжимки. Значения, указанные Morais et al. [33] (8,8%) в цедре, высушенной в духовке

были похожи. Однако значения, указанные Huang et al. [34] (10,47–16,1%) в кожуре ананаса у разных сортов были выше. Содержание золы было аналогично тому, о котором сообщили Санчес-Прадо и др. [35] в размере 1,5% для отходов кожуры ананаса. Однако Селани и др. [32] сообщили о более высоком содержании золы - 2,24% в лиофилизированных выжимках ананаса. Значения, указанные Aparacida-Damasceno et al. [36] на 4,57% в муке из кожуры ананаса были выше. С другой стороны, некоторые авторы отмечают, что эти результаты можно объяснить тем фактом, что это разные сорта ананасов, которые выращиваются в разных регионах мира; кроме того, они могут зависеть от типа почвы и срока созревания плодов [37]. Содержание жира, указанное в этой работе, находится в пределах значений, сообщаемых разными авторами; например, Хуанг и др. [34] сообщили о 2,8% жира в кожуре ананаса (гладкий сорт кайенского перца), а Закария и др. [38] сообщили о 1,8% жира в кожуре ананаса.

Общее содержание сахара находится в пределах, указанных в различных исследованиях. Диас-Вела и др. [39] сообщили о 22,59% муки из кожуры ананаса. С другой стороны, Хуанг и др. [34] сообщили о значениях 69,5% в кожуре ананаса — гладком сорте кайенского перца. Результаты, полученные для восстановления сахара, были ниже, чем результаты, полученные Huang et al. [34] 38 % в кожуре ананаса — гладкой разновидности кайенского перца. Было обнаружено, что агропромышленные отходы ананасов содержат несколько типов сахаров. По данным Sepulveda et al. [16] и Полания-Ривера и др. [21], обнаруженные сахара представлены в основном глюкозой, фруктозой и сахарозой.

Содержание белка находится в пределах, указанных разными авторами; например, Диас-Вела и др. [39] сообщили о значениях 0,32% в муке из кожуры ананаса. Селани и др. [32] сообщили о значениях 4,71% в ананасовых выжимках. Содержание клетчатки находится в пределах, ранее сообщенных разными авторами. Хуанг и др. [34] сообщили о значениях 7–8% в кожуре ананаса сорта Тайнунг. Мораис и др. [33] сообщили о значениях 14–16% для кожуры ананаса при различных обработках, тогда как Апаресида-Дамасцено [36] сообщил о значениях 4,92% в муке из кожуры ананаса.

4.2. Адаптация штаммов *Aspergillus* в кинетике ферментации

Андраде-Дамиан и др. [25] отметили, что штаммы *Aspergillus* могут адаптироваться к сложным субстратам, таким как *Curcuma longa* L. С другой стороны, Buenrostro-Figueroa et al. [30] отметили, что мицелиальные грибы наиболее широко используются в SSF из-за их способности адаптироваться к субстрату, который имеет сходство со средой, в которой они растут, а также имеют большой потенциал для высвобождения биологически активных соединений. Другое исследование продемонстрировало способность гриба *A. niger* развивать и разлагать соединения, присутствующие в агропромышленных остатках ананаса [40].

4.3. Высвобождение танинов посредством твердофазной

ферментации Polania-Rivera et al. [21] упомянули, что они провели процесс SSF с помощью *Rhizopus oryzae* на кожуре ананаса в качестве субстрата; полученные результаты составили 83,77 мг GAE/г НТ и 66,5 мг QE/г СТ. Некоторые авторы отмечают, что низкое содержание полифенолов при ферментации остатков ананаса в сочетании с соевым шротом и *Rhizopus oligosporus* может быть связано с тем, что большая часть соединений связана с внутренней мембраной [41]. В другом исследовании упоминается, что штаммы *Aspergillus*, использующие SSF, помогают высвобождать полифенолы и естественным образом вырабатывать ферменты, которые разрушают клеточную стенку. Торрес-Леон и др. [31] использовали семена манго SSF с *A. niger* GH1, где наблюдалось увеличение общего содержания фенолов в 3,3 раза. С другой стороны, Buenrostro-Figueroa et al. [30] использовали остатки инжира в SSF с *A. niger* HT4, и результаты продемонстрировали увеличение общего содержания полифенолов на $10,19 \pm 0,04$ мг GAE/г. В другой исследовательской работе были изучены общие фенольные соединения и флавоноиды мякоти плодов джамболана после обработки SSF в разное время с использованием *Aspergillus niger* и *Aspergillus flavus*. Результаты показывают, что ферментированная фруктовая мякоть *A. flavus* показала повышенное общее содержание фенолов (685,88 мг GAE/100 г) и флавоноидов (388 мг QE/100 г) [42]. Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что SSF является перспективным биотехнологическим процессом получения биоактивных соединений. Кожура ананаса оказалась подходящим субстратом для использования в качестве источника углерода и энергии для нитчатого гриба.

4.4. Оценка антиоксидантной активности ферментативных экстрактов

При автогидролизе экстракты отходов ананаса могут иметь до 80% и 94% антиоксидантного анализа DPPH и ABTS соответственно [16]. Полания и др. [43] использовали SSF *Rhizopus oryzae* на отходах ананаса, и в результате полученные ферментированные экстракты показали 61,46 и 77,39% по антиоксидантным анализам DPPH и ABTS соответственно. Кроме того, были оценены персиковые выжимки из SSF с использованием *A. niger* и *R. oligosporus*, и экстракты продемонстрировали, что антиоксидантный потенциал, определенный с помощью анализа удаления радикалов DPPH, значительно увеличивается (> 18%) на протяжении роста грибов. Более того, Торрес-Леон и др. [31] обнаружили корреляцию между полифенолами, полученными из семян манго из SSF с помощью *A. niger* GH1, и их антиоксидантной активностью, что было связано с процессом ферментации, что, по-видимому, увеличивает антиоксидантную активность за счет улучшения биодоступности биоактивных молекул. Пас-Артега и др. [40] оценили твердый биопроцесс *A. niger* GH1 на сердцевине и кожуре ананаса, и результаты указывают на положительную корреляцию с высвобождением полифенолов и антиоксидантной активностью DPPH, наблюдая увеличение на 25%.

С другой стороны, Chiet et al. [44] оценили содержание биологически активных соединений и антиоксидантную способность ананаса Джозапина, Морриса и Саравака (*Ananas comosus*). Результаты показали, что активность по удалению FRAP в образцах жозапина показала самую высокую антиоксидантную способность, за ней следовал Моррис, а затем Саравак, имеющий самое низкое значение. Брито и др. [45] путем мацерации из крон ананаса получили метанольные и этанольные экстракты, где экстракты показали положительный антиоксидантный эффект с использованием Лариос-Круз и др. [46] отметили, что повышение ценности побочных продуктов грейпфрута может осуществляться в процессе ферментации из-за высвобождения антиоксидантных соединений. Авторы заметили, что содержание воды оказывает важное влияние на SSF; увеличение этого параметра способствовало высвобождению биоактивных молекул. Таким образом, SSF полезен для высвобождения большого количества биологически активных соединений и улучшения антиоксидантной активности; это было связано с микробным ферментативным гидролизом [47].

4.5. Идентификация полифенольных соединений методом ВЭЖХ-МС

По данным Банерджи и др. [48] в отходах ананаса были обнаружены различные биоактивные соединения, такие как фенольные кислоты, флавоноиды, катехин, галловая кислота и феруловая кислота. Другие авторы отметили, что благодаря использованию SSF с *Rhizopus oryzae* на отходах ананаса были идентифицированы некоторые соединения, такие как галловая кислота, хлорогеновая кислота, катехин, кофейная кислота, эпикатех, эпикатех, кумаровая кислота, скополетин и кверцетин [21]. С другой стороны, Пас-Артега и др. [40], используя SSF с *A. niger* GH1, идентифицировали 15 соединений, например, кофеилгексозид, 5-кофеилхиновую кислоту, спинацетин, 3-О-глюкозил-(1->6)-[апиозил(1->2)] - глюкозид, этиловый эфир п-кумаровой кислоты, банзойная кислота, п-кумароил тирозин, гексозид п-кумарилового спирта, 4-винилфенол, п-кумароилгликолевая кислота, ферулоил альдарат, псорален, кофейная кислота, 4-О-глюксид, п-кумароил гексозид, (+)-галлокатехин и галлагилгексозид.

5. Выводы

Результаты, полученные в настоящем исследовании, показывают, что твердофазная ферментация с использованием *Aspergillus niger* spp. штаммы и кожура ананаса в качестве субстрата эффективны для получения большего высвобождения биологически активных соединений и, следовательно, благоприятной антиоксидантной активности. Штамм *A. niger* HT3 способствовал высвобождению гидролизуемых танинов, а штамм *A. niger* Aa20 способствовал высвобождению конденсированных танинов. При ВЭЖХ-анализе идентифицировано до 33 соединений, из которых три являются основными: 3-ферулоилхиновая кислота, кофейная кислота, ларицирезинол и 3-гидроксифлоретин-2'-О-ксилозилглюкозид. Процесс SSF с кожурой ананаса в качестве субстрата является альтернативой высвобождения молекул с потенциальным применением в фармацевтической и пищевой промышленности.

Вклад автора: Концептуализация, ADC-R. и ЛС; методология АЦП-Р.; программное обеспечение, ЛС; проверка, АЦП-Р. и ЛС; формальный анализ, ADC-R. и ЛС; расследование, АДК-Р.; ресурсы, JAA-V. и ЛС; курирование данных, ADC-R.; письменность – подготовка первоначального проекта, АЦП-Р.; написание — рецензирование и редактирование, ADC-R., JAA-V., MDD-M., LL-H., MAM-M. и LS; визуально-

изация, АЦП-Р.; руководство Л.С. Все авторы прочитали и согласились с опубликованным вариантом рукописи.

Финансирование: А.Д. Касас Родригес благодарит CONAHCYT за стипендию для аспирантов (№ 1150329).

Заявление о доступности данных: данные, подтверждающие выводы этого исследования, доступны по запросу.

Благодарности: А.Д. Касас Родригес благодарит CONAHCYT за стипендию для аспирантов (№ 1150329). Все авторы благодарят Автономный университет Коауилы за предоставленные возможности.

Конфликты интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Рекомендации

1. Тешоме, Э.; Тека, штат Техас; Нандасири, Р.; Раут, младший; Харуна, Д.В.; Астатки, Т.; Уруго, М.М. Субпродукты фруктов и их промышленное применение для улучшения питания и укрепления здоровья: всесторонний обзор. Устойчивое развитие 2023, 15, 7840. [\[CrossRef\]](#)

2. Ту, К.; Лю, С.; Ли, Ю.; Чжан, Л.; Ван, З.; Юань, К. Влияние регионов и периодов выдержки вина на профиль конденсированных танинов и восприятие терпкости вин Каберне Совиньон. Пищевая хим. X 2022, 15, 100409. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)

3. Дас, А.К.; Ислам, Н.; Фарук, О.; Ашадуцзаман; Дунгани, Р. Обзор танинов: процессы экстракции, применение и возможности. С. Афр. Дж. Бот. 2020, 135, 58–70. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

4. Шарма, К.П. Разрушение танина под действием танназы фитопатогена: перспектива защиты растений. Биокатал. Сельское хозяйство. Биотехнология. 2019, 21, 101342. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

5. Муанда, ФН; Дико, А.; Сулимани, Р. Оценка полифенольных соединений, антиоксидантных и противовоспалительных свойств коры корня Securidaca longepedunculata in vitro . Comptes Rendus Biol. 2010, 333, 663–669. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)

6. ФАО. База данных ФАОСТАТ. Доступно онлайн: <http://www.fao.org/faostat>. (по состоянию на 3 июня 2024 г.).

7. Хамза, АФА; Хамза, Миннесота; Мужчина, ХК; Джамали, Н.С.; Сиаджам, СИ; Исмаил, М.Х. Последние новости о переработке ананасовых отходов (Ananas comosus) в продукты с добавленной стоимостью, будущие перспективы и проблемы. Агрономия 2021, 11, 2221. [\[CrossRef\]](#)

8. Прадо, Канзас; Спиноса, М.А. Выделение и характеристика нанокристаллов целлюлозы из отходов кроны ананаса и их потенциальное использование. Межд. Ж. Биол. Макромо. 2019, 122, 410–416. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

9. Касабар, Дж.Т.; Рамарадж, Р.; Типни, С.; Уннапром, Ю. Усиление гидролиза биоэтанола с помощью Trichoderma harzianum. Производство обработанной ультразвуком кожуры плодов ананаса. Топливо 2020, 279, 118437. [\[CrossRef\]](#)

10. Мамани, округ Колумбия; Ноле, КСО; Монтойя, ЕЭС; Уиза, плотина; Альта, RYP; Виторино, штат Калифорния. Минимизация органических отходов, образующихся в кроне ананаса: простой процесс получения целлюлозы для изготовления пригодных для вторичной переработки контейнеров. Переработка 2020, 5, 24. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

11. Хамидин, НАН; Абдулла, С.; И не FNM; Хадибарата, Т. Выделение и идентификация натуральных зеленых и желтых пигментов из мякоти и кожуры ананаса. Матер. Сегодня Проц. 2022, 63, C406–C410. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

12. Ли, Т.; Шен, П.; Лю, В.; Лю, К.; Лян, Р.; Ян, Н.; Чен, Дж. Основные полифенолы в кожуре ананаса и их антиоксидантные взаимодействия. Межд. J. Food Prop. 2014, 17, 1805–1817. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

13. В, Г.-М.; Чжан, Х.-М.; Солер, А.; Мари-Альфонсина П. Пищевой состав ананаса (Ananas comosus (L.) Merr.). В питательном составе фруктовых сортов; Симмондс, MSJ, Приди, VR, ред.; Elsevier: Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, США, 2016 г.; стр. 609–637.

14. Элс, С.; Престон, К.; Герциг, К.; Хекель, Ф.; Ричлинг, Э.; Шрайер, П. Ароматические профили плодов ананаса (Ananas comosus [L.] Merr.) и ананасовые продукты. LWT-Food Sci. Технол. 2005, 38, 263–274. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

15. Зампар, Г.Г.; Зампар, IC; Бесерра да Силва де Соуза, С.; да Силва, К.; Баррос, ВСВ Влияние смесей растворителей на ультразвук. вспомогательная экстракция соединений из побочного продукта ананаса. Пищевая бионаука. 2022, 50, 102098. [\[CrossRef\]](#)

16. Сепульведа, Л.; Романи, А.; Агилар, Китай; Тейшейра, Дж. Валоризация ананасовых отходов для извлечения биологически активных соединений. и гликозиды с использованием автогидролиза. Иннов. Пищевая наука. Экстрен. Технол. 2018, 47, 38–45. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

17. Вонг-Пас, Дж. Э.; Агилар-Сарате, П.; Веана, Ф.; Муньис-Маркес, Д.Б. Влияние технологий экологически чистой экстракции на получение биоактивных веществ соединения из остатков цитрусовых. СОВЕТ Ред. Спец. наук. Ким.-Биол. 2020, 23, 1–11. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

18. Шело, Г.; Планинич, М.; Тишма, М.; Мартинович, Дж.; Перкович, Г.; Бучик-Кожик, А. Биоконверсия виноградных выжимок с помощью Rhizopus oryzae в твердофазных условиях: изменения в химическом составе и профиле фенольных соединений. Микроорганизмы 2023, 11, 956. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)

19. Ханда, CL; де Лима, ФС; Гуэльфи, МФГ; да Силва Фернандес, М.; Джорджетти, СР; Ида, Е.И. Показатели ферментации соевой муки Monascus purpureus или Aspergillus oryzae по продукции биоактивных соединений и антиоксидантной активности. Пищевая хим. 2019, 271, 274–283. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)

20. Буэнростро-Фигероа, Дж.; Аскасио-Вальдес, А.; Сепульведа, Л.; Де ла Круз, Р.; Прадо-Барраган, А.; Агилар-Гонсалес, Массачусетс; Родригес, Р.; Агилар, К.Н. Возможное использование различных побочных продуктов агропромышленного комплекса в качестве подложек для производства грибковой эллагитанзы при твердофазной ферментации. Пищевая Биопрод. Процесс. 2014, 92, 376–382. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

21. Поланья-Ривера, АМ; Торо, ЧР; Лондоньо, Л.; Боливар, Г.; Аскацио, JA; Агилар, К.Н. Биопереработка биомассы отходов ананаса для устойчивого производства биологически активных соединений с высокой антиоксидантной активностью. J. Измерение пищевых продуктов. Характер. 2023, 17, 586–606. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

22. Сельванатан, Ю.; Маснгут, Н. Оптимизация технологических факторов и характеристика производства уксусоподобных напитков с помощью самопроизвольное брожение из отходов кожуры ананаса. LWT 2023, 182, 114818. [\[CrossRef\]](#)
23. Редмэйл-Гордон, М.; Армения, Э.; Уайт, Р.; Хирш, П.; Гулдинг, К. Сравнение двух колориметрических анализов, основанных на методах Лоури и Брэдфорда, для оценки общего белка в экстрактах почвы. Почвенная биол. Биохим. 2013, 67, 166–173. [\[Перекрестная ссылка\]](#) [\[ПабМед\]](#)
24. Пуа, Алабама; Баррето, GE; Сулета, Дж.Л.; Эррера, OD Анализ питательных веществ де ла Райс де ла Маланга (*Colocasia esculenta* Schott) ru Эль-Тропико-Секо-де-Колумбия. Инф. Технол. 2019, 30, 69–76. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
25. Андраде-Дамиан, МФ; Муньис-Маркес, Д.Б.; Вонг-Пас, JE; Веана-Эрнандес, Ф.; Рейес-Луна, К.; Агилар-Зарате, П. Исследовательское исследование экстракции пигмента из *Curcuma longa* L. путем ферментации в скользящем состоянии с использованием пяти штаммов грибов. Мексика. Дж. Биотехнология. 2019, 4, 1–11. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
26. Заки, ДН; Алви, Х.; Хашиб, ЮАР; Ибрагим, Великобритания; Джай, Дж. Характеристики сушки в микроволновой печи и качество кожуры, сердцевины и мякоти *Ananas comosus*. Матер. Сегодня Проц. 2023, 87, 8–12. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
27. Паласиос, СЕ; Нагай, А.; Торрес, П.; Родригес, JA; Салатино, А. Содержание дубильных веществ в сортах сорго, выращиваемых в Бразилии, как определено четырьмя методами количественного определения. Пищевая хим. 2020, 337, 127970. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
28. Диас-Эррера, Р.; Альварес-Перес, ОБ; Вентура-Собревилла, Дж.; Аскасио-Вальдес, А.; Агилар-Гонсалес, Массачусетс; Буэнростро-Фигероа, Дж.; Агилар, К.Н. Полифенолы кожуры граната как антиоксидантная добавка для разработки и характеристики новой активной пектиновой съедобной пленки. электронная еда 2023, 4, e115. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
29. Мала, Т.; Пианюра, С.; Иттивадханапонг, П. Характеристика сушеного порошка кожуры ананаса (*Ananas comosus* L.) и его применение в качестве нового функционального пищевого ингредиента в крекерах. Future Foods 2024, 9, 100322. [\[CrossRef\]](#)
30. Буэнростро-Фигероа, Ж.; Веласкес, М.; Флорес-Ортега, О.; Аскасио-Вальдес, Ж.; Уэрта-Очоа, С.; Агилар, К.; Прадо-Барраган, Л. Твердофазная ферментация побочных продуктов инжира (*Ficus carica* L.) с использованием грибов для получения фенольных соединений с антиоксидантной активностью и качественная оценка полученных фенольных соединений. Процесс. Биохим. 2017, 62, 16–23. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
31. Торрес-Леон, К.; Рамирес-Гусман, Н.; Аскасио-Вальдес, Ж.; Серна-Кок, Л.; дос Сантос Коррейя, Монтана; Контрерас-Эскивель, Х.К.; Агилар, К.Н. Твердофазная ферментация с использованием *Aspergillus niger* для повышения фенольного содержания и антиоксидантной активности семян мексиканского манго: многообещающий источник природных антиоксидантов. LWT 2019, 112, 108236. [\[CrossRef\]](#)
32. Селани, ММ; Бразака, ЮГК; дос Сантос Диас, Коннектикут; Ратнаяке, штат Вашингтон; Флорес, РА; Бьянкини, А. Характеристика и потенциальное применение ананасовых выжимок в экструдированных продуктах для улучшения качества волокна. Пищевая хим. 2014, 163, 23–30. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
33. Мораис, Д.Р.; Ротта, Э.М.; Сарги, Южная Каролина; Бонафе, Е.Г.; Сузуки, РМ; Соуза, Невада; Мацусита, М.; Visentainer, JV Примерный состав, минеральное содержание и состав жирных кислот различных частей и сушеной кожуры тропических фруктов, выращиваемых в Бразилии. Ж. Браз. хим. Соц. 2016, 28, 308–318. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
34. Хуанг, CW; Лин, Эй Джей; Лю, Ю.; Мау, Дж.Л. Состав, ферментная и антиоксидантная активность ананаса. Межд. Ж. Положение о продовольствии 2021, 24, 1244–1251. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
35. Санчес Пардо, МЧС; Касселлис, MER; Эскобедо, РМ; Гарсиа, Э.Дж. Химическая характеристика промышленных остатков Ананас (*Ananas comosus*). Дж. Агрик. хим. Окружающая среда. 2014, 3, 53–56. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
36. Апаресиды Дамасцено, К.; Альваренга Гонсалвес, Калифорния; Дос Сантос Перейра, Г.; Ласерда Коста, Л.; Бастианелло Кампаньола, ПК; Леаль Де Алмейда, П.; Арантес-Перейра, Л. Разработка зерновых батончиков, содержащих муку из ананасовой кожуры (*Ananas comosus* L. Merrill). J. Качество еды. 2016, 39, 417–424. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
37. Хасан А.; Отман, З.; Сирифанич, Дж. Ананас (*Ananas comosus* L. Merr.). Послеуборочная биология и технология тропических и субтропических фруктов; Яхия, Э.М., Ред.; Elsevier: Амстердам, Нидерланды, 2011.
38. Закария, Н.А.; Рахман, РА; Зайдель, ДНК; Дайлин, диджей; Джусо, М. Экстракция пектина из кожуры ананаса с помощью микроволновой печи. Малайцы. Дж. Фундам. Прил. наук. 2021, 17, 33–38. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
39. Диас-Вела, Дж.; Тотозаус, А.; Круз-Герреро, А.Е.; де Лурдес Перес-Чабела, М. Оценка *in vitro* ферментации побочных продуктов агропромышленного производства с добавленной стоимостью: кожуры кактусовой груши (*Opuntia ficus-indica* L.) и кожуры ананаса (*Ananas comosus*) в качестве функциональных ингредиентов. Межд. Дж. Пищевая наука. Технол. 2013, 48, 1460–1467. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
40. Пас-Артеага, СЛ; Аскасио-Вальдес, JA; Агилар, Китай; Кадена-Чаморро, Э.; Серна-Кок, Л.; Агилар-Гонсалес, Массачусетс; Рамирес-Гузман, Н.; Торрес-Леон, К. Биопереработка отходов ананаса для устойчивого производства биологически активных соединений с использованием твердофазной ферментации. Иннов. Пищевая наука. Экстрен. Технол. 2023, 85, 103313. [\[CrossRef\]](#)
41. Коррейя, RT; МакКью, П.; Магальяйнс, ММ; Маседо, Греция; Шетти, К. Производство фенольных антиоксидантов путем твердофазной биоконверсии ананасовых отходов, смешанных с соевой мукой, с использованием *Rhizopus oligosporus*. Процесс. Биохим. 2004, 39, 2167–2172. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
42. Раджан, М.; Сантана Андраде, Дж. К.; Чагас Баррос, RG; Фариас Лима Гедес, Ти Джей; Нараин, Н. Повышение полифенолов и антиоксидантной активности фруктовой мякоти джамболана (*Syzygium cumini*) с использованием твердофазной ферментации *Aspergillus niger* и *A. flavus*. Биокатал. Сельское хозяйство. Биотехнология. 2023, 47, 102589. [\[CrossRef\]](#)
43. Полания, А.М.; Лондоньо, Л.; Рамирес, К.; Боливар, Г. Влияние применения ультразвука в ферментированной коже ананаса на общее содержание фенолов и антиоксидантную активность. Ферментация 2022, 8, 314. [\[CrossRef\]](#)
44. Чьет, Швейцария; Зулкифли, РМ; Хидаят, Т.; Яакоб, Х. Анализ биологически активных соединений и антиоксидантной активности малайзийских сортов ананаса. Конференция АИП. Учеб. 2014, 1589, 398–399. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

45. Брито, ТБН; Лима, LRS; Сантос, MCB; Мореира, RFA; Кэмерон, ЖК; Фай, АЭК; Феррейра, MSL. Антимикробные, антиоксидантные, летучие и фенольные профили муки из капустных стеблей и кроны ананаса, выявленные методами ГХ-МС и UPLC-MSE. Пищевая хим. 2021, 339, 127882. [\[CrossRef\]](#) [\[ПабМед\]](#)
46. Лариос-Крус, Р.; Буэнростро-Фигероа, Дж.; Прадо-Барраган, А.; Родригес-Хассо, РМ; Родригес-Эррера, Р.; Монтаньес, Х.К.; Агилар, К.Н. Повышение ценности побочных продуктов грейпфрута как твердой поддержки твердофазной ферментации для производства антиоксидантных биоактивных экстрактов. Валоризация биомассы отходов 2019, 10, 763–769. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
47. Эркин, Э.; Озкан, Г.; Лу, Б.; Капаноглу, Э. Влияние процесса ферментации на антиоксидантную способность фруктовых субпродуктов. АСУ Омега 2023, 8, 4543–4553. [\[Перекрестная ссылка\]](#)
48. Банерджи, С.; Ранганатан, В.; Патти, А.; Арора, А. Повышение ценности ананасовых отходов для пищевых и терапевтических целей. Тенденции Пищевая наука. Технол. 2018, 82, 60–70. [\[Перекрестная ссылка\]](#)

Отказ от ответственности/Примечание издателя: Заявления, мнения и данные, содержащиеся во всех публикациях, принадлежат исключительно отдельному автору(ам) и соавторам(ам), а не MDPI и/или редактору(ам). MDPI и/или редактор(ы) не несут ответственности за любой вред людям или имуществу, возникший в результате любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.