

ГУО «Гимназия №40 имени Янки Лучины г. Минска», 220112 г. Минск, ул.
Янки Лучины, 40, (8017) 291 75 26

Природные антиоксиданты как средства продления срока годности льняного масла

Секция: Химия

Авторы:

Красная Мария Сергеевна
ГУО «Гимназия №40 имени Янки
Лучины г. Минска»
11 класс

Сташкевич Евгения Валерьевна
ГУО «Гимназия №40 имени Янки
Лучины г. Минска»
10 класс

Сташкевич Полина Валерьевна
ГУО «Гимназия №40 имени Янки
Лучины г. Минска»
10 класс

Научные руководители:

Сташкевич Юлия Дмитриевна
ГУО «Гимназия № 40 г. Минска»
учитель химии
тел. моб. 8029 395-20-33

Флейшер Вячеслав Леонидович
заведующий кафедрой химической
переработки древесины БГТУ,
кандидат технических наук, доцент
тел. моб. 8029 646-05-71

Минск, 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	5
1.1. Химический состав льняного масла	5
1.2. Изучение антиоксидантного состава растений Беларуси	5
1.3. Механизмы окисления компонентов льняного масла.....	6
ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	9
2.1. методика определения перекисного числа	9
2.2. Методика определения кислотного числа.....	10
2.3. Метод «ускоренного окисления»	11
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	13
3.1. Подготовка образцов масла с добавками.....	13
3.2. Титриметрическое определение перекисного числа (ПЧ).....	14
3.3. Титриметрическое определение кислотного числа (КЧ).....	15
3.4. Расчет эффективности ингибирования и срока хранения образцов	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	18
ЛИТЕРАТУРА	19

ВВЕДЕНИЕ

Республика Беларусь – одна из крупнейших стран-производителей льна, а продукция местных льнозаводов востребована не только на внутреннем, но и на внешнем рынке [1]. В Республике Беларусь лен масличный в последние годы возделывается не более чем на 1,5–2,5 тыс. га.

Это ценная сельскохозяйственная культура, используется для пищевых, медицинских и технических целей.

Преимущество продукта в идеальном соотношении Омега-6 и Омега-3 (1:3), что определяет его пользу в отношении сердечно-сосудистых, когнитивных, воспалительных и даже онкологических проблем [2].

Льняное масло – оказывает положительное влияние на кожу, мозг и кровеносную систему. Это лучшее средство при болезнях желудочно-кишечного тракта, гастритах или проблемах с печенью. Масло проявляет терапевтический эффект при лечении диабета II типа, склероза, ревматического артрита, астмы, экземы, псориаза и многих других хронических и воспалительных процессов [2].

К сожалению, льняное масло редко встречается в рационе белорусов из-за наличия большого количества ненасыщенных жиров, входящих в его состав, что вызывает быстрое прогоркание масла и его порчу. Поэтому для масложировой отрасли пищевой промышленности стратегически важным является разработка способа повышения срока хранения масла за счет ингибирования в нем окислительных процессов.

Для этих целей были разработаны такие синтетические антиоксиданты, как трет-бутилгидрохинон (ТБГХ), 2,5-ди-трет-бутилгидрохинон (ДТБГХ), пропилгаллат (ПГ), агидол-2, 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол (БОТ) [3]. Однако в настоящее время их применение в ряде стран ограничено из-за возможных токсических последствий, что делает актуальной замену синтетических антиоксидантов на натуральные, которые являются более безопасными, не оказывают негативного воздействия на организм человека даже при длительном употреблении [3].

Именно в последние годы наметилась тенденция к производству и использованию антиоксидантов из натурального пищевого сырья. В качестве таких натуральных антиоксидантов предлагается использовать куркумин для кукурузного масла, экстракты зеленого чая, ликопин, ресвератрол, γ -оризанол для арахисового масла, экстракт кожуры граната для кокосового масла для фритюрной жарки, инкапсулированные экстракты цитрусовых, брокколи, розмарина, а также листья оливкового дерева для подсолнечного масла [3].

К сожалению, многие растения, перечисленные выше, не характерны для флоры Беларуси, поэтому актуальным является поиск более доступного отечественного сырья с высокими антиоксидантными свойствами.

Цель: разработать способ повышения срока хранения льняного масла за счет использования доступного отечественного растительного сырья,

произрастающего в Республике Беларусь, содержащего природные антиоксиданты.

Задачи:

1. Изучить химический состав льняного масла.
2. Выявить механизмы окислительных процессов, лежащих в основе прогоркания растительных масел.
3. Выявить растения, произрастающие на территории Республики Беларусь, богатые антиоксидантами; ранжировать их по содержанию полезных веществ
4. Научно обосновать выбор растений и их частей, содержащих наибольшее количество антиоксидантов, для ингибирования окислительных процессов в льняном масле.
5. Исследовать антиоксидантную способность растительных компонентов и рассчитать эффективность их ингибирования окислительных процессов в масле.
6. Рассчитать срок хранения льняного масла, содержащего введенные растительные компоненты.

Гипотеза: введение в льняное масло растительных компонентов, содержащих природные антиоксиданты, обеспечивает повышение срока его хранения.

Объекты исследования: льняное масло холодного отжима, компоненты растений Беларуси (семена).

Методы исследования:

- метод ускоренного старения;
- титриметрический метод анализа;
- определение кислотного числа;
- определение перекисного числа.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Химический состав льняного масла

Наиболее важной составной частью масличных семян являются липиды, а основной маслосодержащей частью – ядро. Жирное масло составляет примерно 30–48% от массы семени и состоит из триглицеридов (природных органических соединений, полных сложных эфиров глицерина и одноосновных жирных кислот) и смеси жирных кислот, таких как: линолевая; линоленовая; олеиновая; пальмитиновая; стеариновая [4].

Ценность льняного масла состоит в следующем:

- высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот: линолевой и α -линоленовой (от 20 до 50%);
- низкое содержание насыщенных жирных кислот (от 8 до 10%).

Линолевая (омега-6) и α -линоленовая (омега-3) кислоты – это незаменимые жирные кислоты, т. е. они не синтезируются в организме человека и поступают только с пищей.

Одними из важных биологически активных компонентов семян льна являются токоферолы (витамин Е). Витамин Е представляет собой маслянистую жидкость, не растворимую в воде, но растворимую в спирте и эфире, является термически стабильным до 170°C [5].

Токоферол называют витамином размножения, потому что он благотворно влияет на работу половых и некоторых других желез, является природным антиоксидантом, препятствует окислению витамина А и положительно влияет на его накопление в печени, способствует усвоению жиров и белков.

1.2. Изучение антиоксидантного состава растений Беларуси

Суть нашей гипотезы состояла в подборе доступных растительных компонентов таким образом, чтобы содержащиеся в них антиоксиданты были липофильными. На основании данного критерия наиболее целесообразным является выбор семян растений, поскольку содержащаяся в сочных плодах и побегах вода препятствует проникновению в их структуру масла и экстракции антиоксидантов. Использование сухих частей растений облегчает процесс экстракции антиоксидантов, что позволяет контролировать себестоимость производства масла.

Таким образом, при изучении литературных источников были выбраны наиболее доступные и произрастающие на территории Республики Беларусь растения и их части, наиболее богатые антиоксидантами (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Содержание природных антиоксидантов в растениях Беларуси

Наименование растения или его части	Присутствующий антиоксидант	Содержание антиоксиданта и литературный источник
1	2	3
Морковь (сорт «Дордон»)	Каротиноиды	156,7 мг/г [6]
Рябина обыкновенная	β -Каротин	0.178 мг/г [7]

Красная смородина	Каротин	2-5 мкг/г [8]
-------------------	---------	---------------

Продолжение таблицы 1.1.

1	2	3
Виноградные листья	Каротин	0,111 мг/г [9]
Яблоки	Полифенолы, флавоноиды (катехин)	2 мг/г [10]
Лук красный	Кверцетин (флавоноид)	0,24–0,49 мг/г [11]
Шиповник плоды (экстракт из шрота)	Флавоноиды	10,15–74,0 мг% [12]
Шиповник плоды	Витамин С	0,668 мг/г [13]
Шиповник плоды	Антоцианы	0,544 мг/г [13]
Шиповник семена (масло)	Каротиноиды	0,01% [14]
Шиповник семена (масло)	Витамин Е (токоферол)	0,17–0,20% [14]
Облепиха (сорт «Стартовая»)	Каротиноиды	0,153 мг/г [15]

Анализ данных таблицы 1.1 позволил выбрать в качестве объекта исследования семена облепихи, шиповника и моркови. Это обусловлено тем, что указанные семена содержат в своем составе растительное масло, в котором растворены природные антиоксиданты. Введение измельченных семян в льняное масло обеспечит диффузию антиоксидантов и их равномерное распределение по всему объему. Другие виды растительного сырья содержат достаточное количество воды, которая будет препятствовать проникновению льняного масла в их структуру.

1.3. Механизмы окисления компонентов льняного масла

Для понимания действия природных антиоксидантов необходимым являлось установление причины и путей окисления полиненасыщенных жирных кислот в составе льняного масла.

Прогоркание масла происходит при окислении ненасыщенных жиров кислородом воздуха, в результате чего образуются перекиси и гидроперекиси, которые придают продукту горький вкус и неприятный запах. Образующиеся соединения являются источниками свободных радикалов, которые негативно влияют на структуру клеток организма и вызывают предрасположенность к онкологическим заболеваниям.

Интенсивность прогоркания масел можно снизить при хранении продуктов в темноте, непрозрачных или темноокрашенных упаковках, при пониженных температурах [16].

Первичными продуктами окисления являются перекиси, активирующие окисление других молекул. Благодаря этому реакция окисления носит цепной характер. Окислению подвергаются, в первую очередь, ненасыщенные жирные кислоты, но могут окисляться также и насыщенные кислоты с образованием гидроперекисей. При глубоком окислении масел возможно

образование гидроперекисей и эпоксидных соединений. Окисление непредельных кислот происходит при реакции с молекулярным кислородом в возбужденном состоянии. При окислении ненасыщенных веществ молекула кислорода присоединяется по месту двойных связей с образованием циклической перекиси. Данный процесс происходит по следующему механизму [17] (рисунок 1).

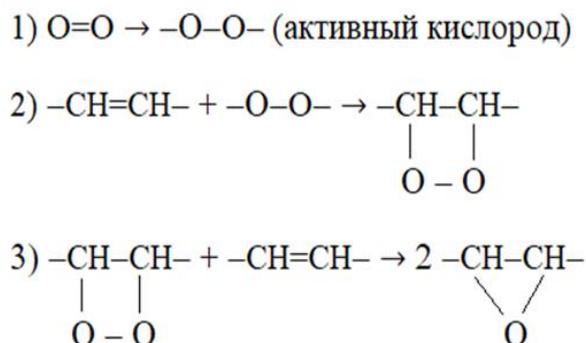


Рисунок 1.1 – Механизм окисления ненасыщенных соединений кислородом

Характерные реакции, протекающие при окислении углеводорода (липида) RH в присутствии кислорода и ингибитора (InH) [19]:

- зарождение цепей окисления: (0) $\text{RH} \rightarrow \text{R}^\bullet$
- продолжение цепей окисления: (1) $\text{R}^\bullet + \text{O}_2 \rightarrow \text{RO}_2^\bullet$
(2) $\text{RO}_2^\bullet + \text{RH} \rightarrow \text{ROOH} + \text{R}^\bullet$
- вырожденное разветвление цепей: (3) $\text{ROOH} \rightarrow \text{RO}^\bullet + \bullet\text{OH}$
(3') $\text{ROOR}' \rightarrow \text{RO}^\bullet + \bullet\text{OR}'$
- обрыв цепей окисления: (4) $\text{R}^\bullet + \text{R}^\bullet \rightarrow \text{RR}$
(5) $\text{RO}_2^\bullet + \text{R}^\bullet \rightarrow \text{ROOR}$
(6) $\text{RO}_2^\bullet + \text{RO}_2^\bullet \rightarrow \text{ROOR} + \text{O}_2$
(7) $\text{RO}_2^\bullet + \text{InH} \rightarrow \text{ROOH} + \text{In}^\bullet$
(7') $\text{RO}^\bullet + \text{InH} \rightarrow \text{ROH} + \text{In}^\bullet$
(7'') $\text{R}^\bullet + \text{InH} \rightarrow \text{RH} + \text{In}^\bullet$
(8) $\text{RO}_2^\bullet + \text{In}^\bullet \rightarrow \text{ROOIn}$
- прочие реакции с участием ингибитора и продуктов его превращений:
(9) $\text{In}^\bullet + \text{In}^\bullet \rightarrow \text{молекулярные продукты}$

продукты

- (10) $\text{In}^\bullet + \text{RH} \rightarrow \text{InH} + \text{R}^\bullet$
- (11) $\text{InH} + \text{ROOH} \rightarrow \text{In}^\bullet + \text{RO}^\bullet + \text{H}_2\text{O}$
- (12) $\text{InH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{In}^\bullet + \text{HO}_2^\bullet$
- (13) $\text{ROOIn} \rightarrow \text{RO}^\bullet + \text{InO}^\bullet$

где R^\bullet , RO^\bullet и RO_2^\bullet – алкильный, алкоксильный и перекисный (пероксидный) радикалы, соответственно;

ROOH – органический гидропероксид;

InH – ингибитор;

In^\bullet – радикал ингибитора.

Принципиальное значение для протекания перекисного окисления липидов имеет накопление в процессе окисления перекисных соединений ROOH . Энергия пероксидной связи $\text{O}-\text{O}$ в 2–3 раза меньше, чем энергия связей $\text{C}-\text{C}$ или $\text{C}=\text{C}$, поэтому липидные перекиси – неустойчивые соединения, легко подвергающиеся дальнейшим превращениям с образованием более стабильных продуктов окисления: альдегидов, кетонов, спиртов, низкомолекулярных кислот, а также эпоксисоединений, многие из которых токсичны для клеток.

Прогоркание масел. Процесс прогоркания обусловлен накоплением в маслах, в первую очередь, короткоцепочечных альдегидов и кетонов (рисунок 1.2 и 1.3), являющихся вторичными продуктами окисления гидроперекисей [18].

Интенсивность прогоркания масел можно снизить за счет хранения продуктов в темноте, непрозрачных или темноокрашенных упаковках, при пониженных температурах [19].

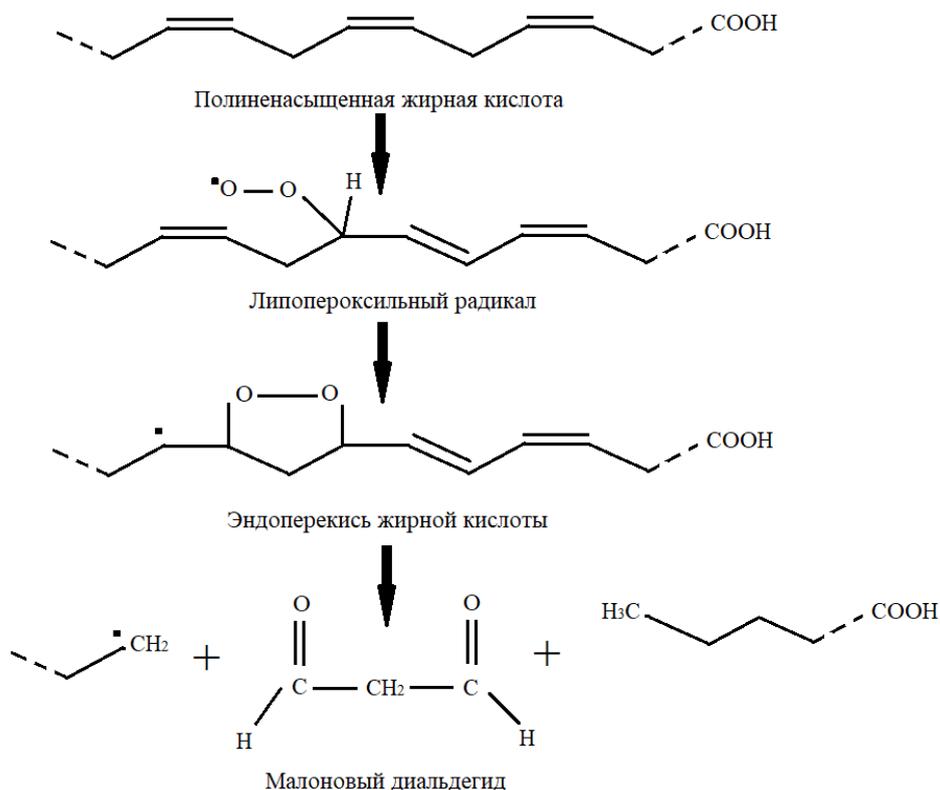


Рисунок 1.2 – Окисление жирных кислот до образования альдегидов на примере получения малонового диальдегида [19]

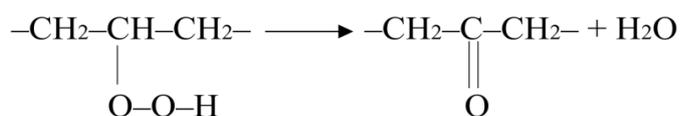


Рисунок 1.3 – Вторичное окисление жирных кислот до образования кетонов

ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. методика определения перекисного числа

Перекисное число (ПЧ) отражает степень окисленности жиров или масел, обусловленную накоплением перекисей и гидроперекисей при окислении жира или масла в процессе хранения. Согласно требованиям к растительным маслам (ТР ТС 024/2011), значение ПЧ не должно превышать 10 ммоль $\frac{1}{2}$ O/кг.

Метод определения перекисного числа в растительных маслах основан на реакции взаимодействия продуктов окисления растительных масел (перекисей и гидроперекисей) с йодистым калием в растворе уксусной кислоты и изооктана или хлороформа с последующим количественным определением выделившегося йода раствором тиосульфата натрия титриметрическим методом. [21].

Приборы и химическая посуда: весы лабораторные 2-го класса точности; конические колбы вместимостью 250 см³; колба мерная вместимостью 1000 см³; бюретка вместимостью 25 см³; цилиндры емкостью 25 и 100 см³; пипетка вместимостью 1 см³; пипетка Пастера.

Реактивы и материалы: кислота уксусная, ледяная, не содержащая кислорода; хлороформ, свежеперегнанный, не содержащий кислорода; смесь уксусной кислоты с хлороформом, приготовленная смешиванием 3 объемов уксусной кислоты и 2 объемов хлороформа; калий йодистый, раствор насыщенный и раствор массовой долей 50–55%; водный раствор тиосульфата натрия молярной концентрации 0,00025 М; стандарт-титры тиосульфата натрия по нормативному документу массой вещества в ампуле 0,1 г-экв. (0,1 г-моль); раствор крахмала массовой долей 0,5%; вода дистиллированная.

Порядок выполнения работы. Раствор крахмала готовили следующим образом: 0,1 г растворимого крахмала смешивали с 5 см³ воды, добавляли эту смесь к 15 см³ кипящей воды и кипятили в течение 3 мин.

Раствор тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,00025 М готовили из стандарт-титра (фиксанала) серноватистокислового натрия.

В мерную колбу вместимостью 1 дм³ вставляли специальную воронку с вложенным в нее стеклянным бойком, острый конец которого обращен вверх. Дно ампулы разбивали при ударе об острый конец бойка. После этого пробивали верхнее углубление ампулы и все содержимое ее осторожным встряхиванием высыпали в колбу. Ампулу, не изменяя ее положения, промывали дистиллированной водой. Промыв ампулу, ее удаляли, а раствор доливали дистиллированной водой до метки, закрывали колбу пробкой и тщательно встряхивали до полного растворения вещества.

Подготовка испытуемой пробы. Испытуемую пробу масла отбирали пипеткой из середины лабораторной пробы.

В коническую колбу вместимостью 250 см³ взвешивали навеску масла массой 2–5 г с точностью до 0,01 г. В колбу с навеской приливали 10 см³ хлороформа, быстро растворяли пробу, приливали 15 см³ уксусной кислоты и 1 см³ 50–55%-ного раствора йодистого калия, после чего колбу сразу же закрывали, перемешивали содержимое в течение 1 мин и оставляли на 5 мин в темном месте при температуре 15–25°С. Затем в колбу приливали 75 см³ воды, тщательно перемешивали и добавляли раствор крахмала до появления слабой однородной фиолетово-синей окраски. Выделившийся йод титровали 0,002 М раствором тиосульфата натрия до молочно-белой окраски, устойчивой в течение 5 с.

Перекисное число (ПЧ, ммоль ½О/кг) рассчитывали по формуле:

$$\text{ПЧ} = \frac{1000 \cdot (V - V_0) \cdot c}{m}, \quad (2.1)$$

где V – объем раствора тиосульфата натрия, использованный при определении, см³;

V_0 – объем раствора тиосульфата натрия, использованный при контрольном определении, см³;

c – действительная концентрация использованного раствора тиосульфата натрия, моль/дм³;

m – масса навески продукта, г.

2.2. Методика определения кислотного числа

Кислотное число (КЧ) – это основной показатель качества масел и жиров, который характеризует содержание в жирах и маслах свободных жирных кислот, накапливающихся в продукте при их гидролизе и окислении [22]. Согласно требованиям к растительным маслам (ТР ТС 024/2011), значение КЧ не должно превышать 4 мг КОН/г.

Суть метода заключалась в растворении определенной массы растительного масла в спиртоэфирной смеси с последующим титрованием имеющихся свободных жирных кислот водным раствором гидроокиси натрия. Индикатором конечной точки титрования служил спиртовой раствор фенолфталеина.

Приборы и химическая посуда: весы лабораторные 2-го класса точности; цилиндры емкостью 50 см³ и 100 см³; коническая колба емкостью 250 см³; бюретки вместимостью 25 см³; химические стаканы вместимостью 50 см³.

Реактивы и материалы: спирт этиловый; эфир этиловый очищенный; фенолфталеин, спиртовой раствор массовой долей 1%; гидроокись натрия молярной концентрации 0,1 моль/дм³; вода дистиллированная.

Порядок выполнения работы. Спиртоэфирную смесь готовили по объему из двух частей этилового эфира и одной части этилового спирта с добавлением пяти капель раствора фенолфталеина на 50 см³. Спиртоэфирную

смесь нейтрализовывали раствором гидроокиси натрия молярной концентрации 0,1 моль/дм³ до едва заметной розовой окраски.

Проведение измерения. В коническую колбу вместимостью 250 см³ взвешивали навеску массой 3–5 г с точностью до 0,01 г. Затем к навеске приливали 50 см³ спиртоэфирной нейтрализованной смеси. Содержимое колбы перемешивали взбалтыванием. К раствору добавляли несколько капель фенолфталеина. Полученный раствор масла при постоянном взбалтывании быстро титровали раствором гидроокиси натрия молярной концентрации 0,1 моль/дм³ до получения слабо-розовой окраски, устойчивой в течение 30 с.

КЧ, мг КОН/ г масла, рассчитывали по формуле:

$$КЧ = \frac{5,611 \cdot V \cdot K}{m}, \quad (2.2)$$

где 5,611 – коэффициент для выражения КЧ в мг КОН/ г при титровании раствором гидроокиси калия или гидроокиси натрия молярной концентрации c (КОН или NaOH) = 0,1 моль/дм³;

K – отношение действительной концентрации раствора гидроокиси калия или гидроокиси натрия к номинальной;

V – объем раствора гидроокиси калия или натрия молярной концентрации c (КОН или NaOH) = 0,1 моль/дм³ израсходованного на титрование, см³;

m – масса навески, г.

2.3. Метод «ускоренного окисления»

Метод «ускоренного окисления» преимущественно используется для определения сроков годности продуктов. Он заключается в выдерживании испытуемых образцов чистого и стабилизированного льняного масла при температурах, превышающих температуру его хранения. При повышенных температурах, как правило, ускоряются протекающие физико-химические процессы, приводящие со временем к нежелательным изменениям качества – порче масла. Таким образом, при повышенной температуре промежутки времени, в течение которого контролируемые показатели качества образцов сохраняются в допустимых пределах (экспериментальный срок годности), искусственно сокращаются в сравнении со сроком годности при температуре хранения. Это позволяет значительно сократить время, необходимое для установления срока годности.

По результатам, полученным в процессе «ускоренного окисления», можно решить также обратную задачу, т. е. установить температуру хранения, обеспечивающую какой-либо заданный срок годности.

Срок годности C при температуре хранения t_{xp} связан с экспериментальным сроком годности C_3 при повышенной температуре экспериментального хранения t_3 следующей зависимостью:

$$C = K \cdot C_3, \quad (2.3)$$

где K – коэффициент соответствия, определяемый по формуле:

$$K = A^{\frac{t_{\text{э}} - t_{\text{хр}}}{10}}, \quad (2.4)$$

где A – температурный коэффициент скорости химической реакции (принят равным 2,5).

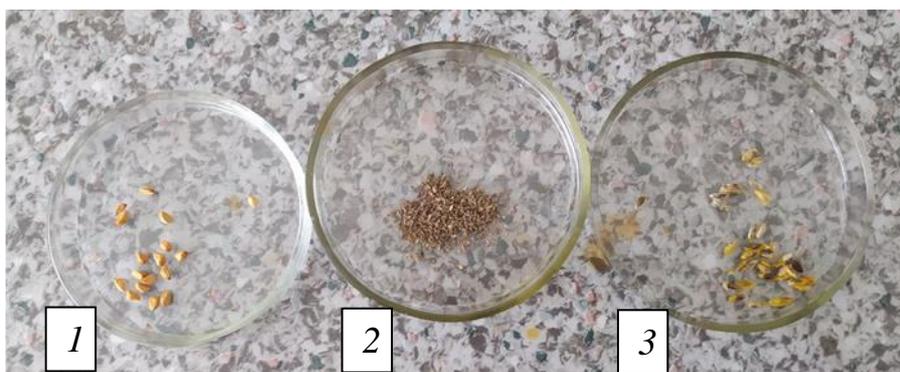
Для $t_{\text{э}}=40^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{хр}}=20^{\circ}$ значение $K=6,25$.

Приведенная зависимость (2.3) основана на правиле Вант-Гоффа: увеличение скорости реакции с ростом температуры характеризуется температурным коэффициентом скорости реакции – числом, показывающим, во сколько раз возрастает скорость данной реакции при повышении температуры на 10°C .

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Подготовка образцов масла с добавками

В качестве растительного сырья, содержащего антиоксиданты, были выбраны семена моркови, облепихи и шиповника (рисунок 3.1), которые вводили в количестве 0,5 масс. % и 1,0 масс. %. Для каждого эксперимента на масло массой 46 г приходилось 0,23 и 0,46 г семян соответственно. Перед добавлением семена измельчили в порошок при помощи фарфоровой ступки и пестика.



1 – семена шиповника; 2 – семена моркови; 3 – семена облепихи

Рисунок 3.1– Образцы цельных семян

В семь пробирок с пробками вместимостью 45 мл поместили образцы семян (по одной навеске в каждую пробирку) и налили льняное масло холодного отжима (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Образцы масла с добавками семян

Для сравнения использовали образец масла без добавок (чистое). С момента пробоподготовки измерения проводились в течение 25 дней с регулярностью в 5 дней.

3.2. Титриметрическое определение перекисного числа (ПЧ)

Титриметрический анализ проводился каждые 5 дней по методике, изложенной в главе 2.1. Свежеприготовленная смесь для титрования имела насыщенную коричневую окраску (рисунок 3.3). Конечную точку титрования определяли по полному обесцвечиванию раствора над масляной эмульсией (рисунок 3.4). Все промежуточные измерения представлены в Приложении 1.

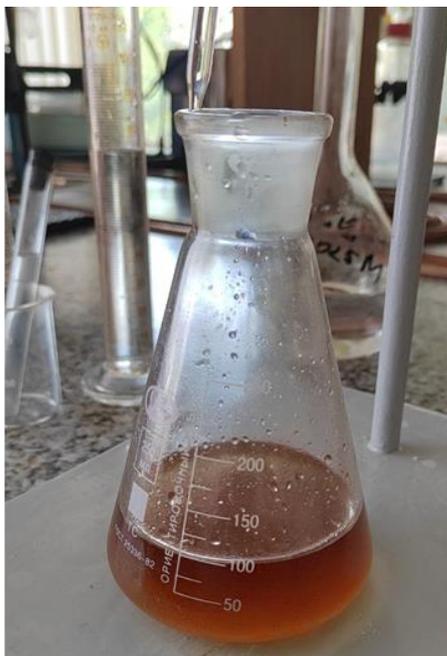


Рисунок 3.3 – Смесь для определения ПЧ до начала титрования



Рисунок 3.4 – Конечная точка титрования при определении ПЧ

После эксперимента были получены следующие данные (рисунок 3.5), отражающие динамику изменения перекисного числа.

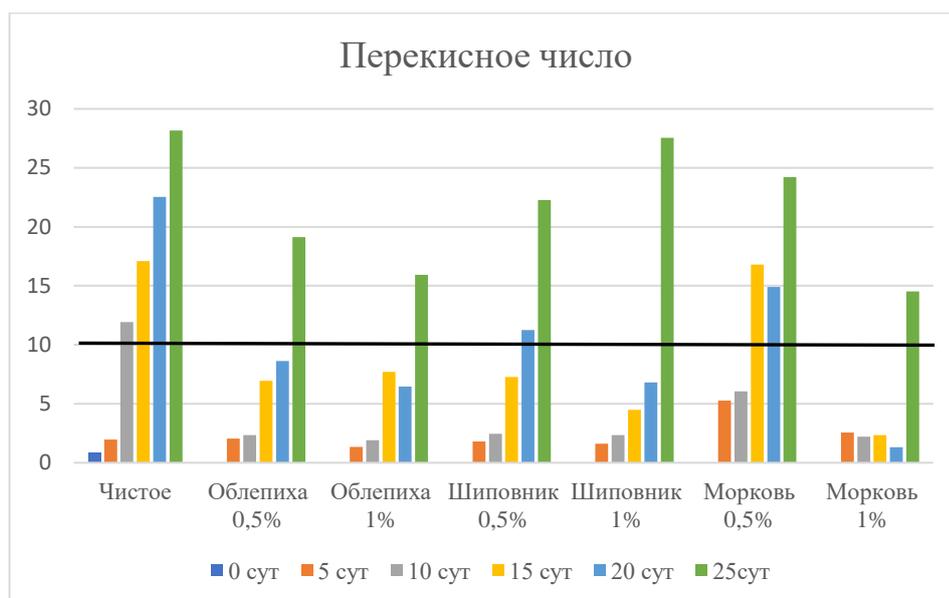


Рисунок 3.5 – Перекисное число образцов льняного масла, ммоль $\frac{1}{2}O_2$ /кг в зависимости от вида стабилизатора и продолжительности хранения, сут

При сравнении образцов с одинаковыми видами растительного сырья, но в различном количестве установлено, что предпочтительнее использовать большее количество семян, поскольку концентрация антиоксидантов получается выше, благодаря чему достигается лучший эффект ингибирования окислительных процессов. На 25 сут наблюдается резкое увеличение значений ПЧ за счет накопления продуктов окисления с течением времени. Как видно из графика, при добавлении облепихи в количестве 1 масс.% и моркови в количестве 1 масс.% наблюдается наименьшее значение ПЧ среди всех образцов.

Данный антиоксидантный эффект, на наш взгляд, достигается за счет содержания в семенах облепихи таких веществ, как каротины и ксантофиллы.

3.3. Титриметрическое определение кислотного числа (КЧ)

Титриметрическое определение показателей КЧ проводилось каждые 5 дней по методике, изложенной в главе 2.2. Смесь до начала титрования представлена на рисунке 3.6. Титрование заканчивали при достижении светло-розовой окраски раствора (рисунок 3.7). Все промежуточные измерения представлены в Приложении 2.



Рисунок 3.6 – Смесь для определения КЧ до начала титрования

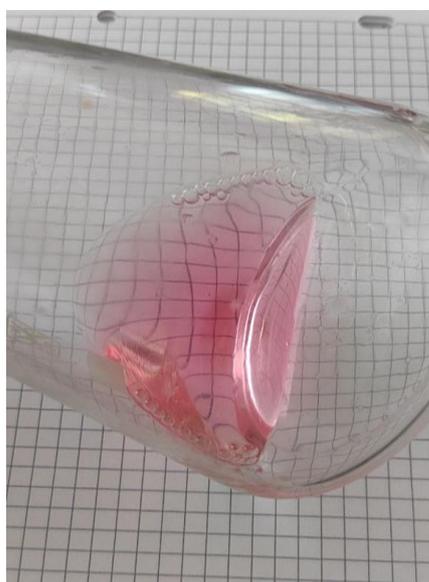


Рисунок 3.7 – Конечная точка титрования при определении КЧ

После титрования были получены результаты (рисунок 3.8), отражающие изменения кислотного числа.

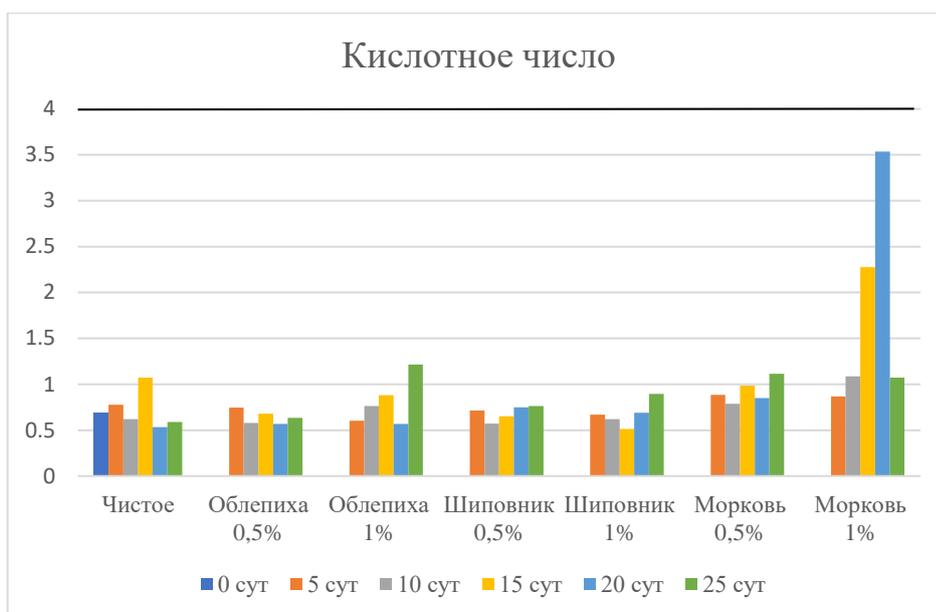


Рисунок 3.8 – Кислотное число образцов льняного масла в зависимости от вида стабилизатора и продолжительности хранения, сут

Из полученных результатов (рисунок 3.8) следует, что все добавки растительных материалов сохраняют кислотное число в пределах нормы несмотря на то, что наблюдается его незначительное увеличение в обработанных образцах масла по сравнению с чистым. Наиболее хорошие показатели наблюдаются при введении облепихи в количестве 0,5 масс.%. Экспериментально доказано, что все изготовленные образцы масла содержат жирные кислоты в количестве, безопасном для здоровья человека.

Однако, при использовании семян моркови в количестве 1 масс.% показатели кислотного числа значительно возрастают на 15-20 сутки проведения эксперимента, в связи с чем их применение становится невозможным.

3.4. Расчет эффективности ингибирования и срока хранения образцов масла с добавками

Вычисления срока хранения (C) проводились по формуле 3.1.

$$C = K \cdot C_3, \quad (3.1)$$

где K – коэффициент соответствия, рассчитанный в главе 2.3;

C_3 – экспериментальный срок хранения. Значение C_3 приравнивалось к периоду индукции образца.

Период индукции – время, за которое в условиях эксперимента перекисное число достигает максимального значения, допустимого по ТР ТС 024/2011 (не более 10,0 мэкв/кг).

Эффективность ингибирования (ε) рассчитывали по формуле

$$\varepsilon = \frac{\tau_{\text{доб}}}{\tau_{\text{чист}}}, \quad (3.2)$$

где $\tau_{\text{чист}}$ – период индукции чистого масла;

$\tau_{\text{доб}}$ – период индукции масла с добавками.

Таблица 3.1 – Эффективность ингибирования и срок хранения образцов масла с добавками

Наличие растительного материала	Период индукции τ , сут	Эффективность ингибирования ε	Срок хранения, сут
Отсутствует	9,03	-	56,438
Облепиха 0,5 масс.%	21,86	2,421	136,625
Облепиха 1 масс.%	20,65	2,287	129,074
Шиповник 0,5 масс.%	18,43	2,041	115,190
Шиповник 1 масс.%	20,77	2,300	129,807
Морковь 0,5 масс.%	11,84	1,311	73,990
Морковь 1 масс.%	23,29	2,579	145,554

Из таблицы 3.1 следует, что наибольшую эффективность ингибирования окислительных процессов показывает добавка семян облепихи в количестве 0,5 масс.% и семян моркови в количестве 1 масс.%. При добавлении облепихи и моркови удалось увеличить срок хранения в 2,421 и 2,579 раз соответственно по сравнению с маслом без добавок. Однако, использование моркови нецелесообразно из-за резкого возрастания кислотного числа на 15-20 сутки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был изучен химический состав льняного масла, семян и плодов некоторых растений, произрастающих в Республике Беларусь, а также механизмы образования продуктов окисления льняного масла и антиоксидантные свойства компонентов растений. Экспериментально проверили антиоксидантную способность добавок растительного материала на основе природного сырья и сравнили их ингибирующие эффективности.

По результатам проведенного эксперимента лучшей добавкой оказались семена облепихи, при этом органолептические показатели обработанного масла не отличались от таковых у необработанного. Кроме того, семена облепихи богаты витаминами А и Е, что наделяет льняное масло еще большей пользой.

Использование облепихи в качестве антиоксиданта позволяет продлить срок хранения льняного масла в 2,4 раза за счет снижения скорости накопления продуктов окисления, благодаря чему можно решить проблему порчи продукта и увеличить потребление льняного масла в рационе белорусов.

Добавление моркови увеличивает срок хранения в 2,6 раза по сравнению с маслом без добавок, однако, ее использование нецелесообразно из-за резкого возрастания кислотного числа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лен в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrovesti.net/lib/tech/vyrashchivanie-lna/len-v-belarusi.html>
2. Льняное масло. Состав, использование, польза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fitomarket.com.ua/fitoblog/ljnjanoe-maslo-sostav-ispolzovanie-polza>
3. Шадыро О.И., Сосновская А.А., Едимечева И.П. Разработка эффективных методов стабилизации льняного масла и продуктов на его основе. Пищевая промышленность: наука и технологии. – Минск. – 2017. – С.315–335.
4. Лечебные свойства льняного масла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://omasle.ru/lnyanoe-maslo/lnyanoe-maslo-lechebnye-svoystva-polza-vred-pravila-primeneniya/>
5. Султаева Н.Л. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий. Науковедение – 2015. – Т.7. – № 1. – С. 4–8.
6. Е. Н. Зеленкова, к.т.н. З. Е. Егорова//Анализ каротиноидов методом ВЭЖХ в отдельных сортах моркови/ВЕСТНИК МАХ №4, 2015 – с.13
7. К. В. Евтерева, А. В. Агафонова//Химический состав и биологическая ценность плодов рябины Калининградской области и перспективы использования их в функциональных продуктах питания
8. Красная смородина – полезные и опасные свойства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edaplus.info/produce/redcurrant.html>
9. Г.Н. Терентьева, В.Ф. Каражия, Л.Д. Юшан, Т.А. Саранди//. Виноградный лист и способы его консервирования
10. Н. В. Макарова, А. В. Зюзина //Содержание флавоноидов и антиоксидантная активность яблок
11. Луковая шелуха – уникальное лекарство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://onko-stop.lt/index.php/ru/kniga/lukovaya-sheluha-unikalnoe-lekarstvo/>
12. В. А. Куркин, О. В. Шарова, П. В. Афанасьева // Совершенствование методики количественного определения суммы каротиноидов в сырье "шиповника плоды"
13. С. А. Матасова, Г. Л. Рыжова, К. А. Дычко//. Химический состав сухого водного экстракта из шрота шиповника
14. Комплексная переработка плодов шиповника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bibliotekar.ru/4-1-56-biologicheskii-aktivnye-veschestva/21.htm>
15. М. А. Макаркина, Н. И. Богомолова, С. Е. Соколова//. Содержание витамина С и каротиноидов в плодах различных сортов облепихи в условиях Средней России
16. Резго Г. Я., Николаева, М. А.//. Химические и биохимические процессы, быстрое при хранении продовольственных товаров. Сибирский торгово-экономический журнал – 2010. – выпуск 10. – С. 88–90.

17. Теории окисления жиров. Антиокислители. Природа. Мероприятия по предотвращению порчи жиров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2482086/page:5>

18. Прогоркание и осаливание жира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/2010593/tovarovedenie/progorkanie_osalivanie_zhira

19. Как хранить льняное масло [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://oleynitsa.com.ua/kak-khranit-lyanoe-maslo/>

20. Биохимические и физико-химические изменения жиров в процессе переработки и хранения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2465039/page:4>.

21. СТБ ГОСТ Р 51487–2001. Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа. – Введен: 30.05.2001. – Минск: БелГИСС, 2001.

22. ГОСТ 31933–2012. Масла растительные. Методы определения кислотного числа и кислотности. – Введен: 01.01.2014. – Переиздан: декабрь, 2019. – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Росстандарт.