

УДК 544.234.6:678.742.2:678.046.5/.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСТРАКТА КОЖУРЫ ЛУКА ДЛЯ ИНГИБИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМООКИСЛЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА

© *Е.В. Воробьева**, *Е.Л. Приходько*

*Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины,
ул. Советская, 104, Гомель, 246019 (Республика Беларусь),
e-mail: evorobyova@gsu.by*

В статье экспериментально изучена антиокислительная активность ацетоновых экстрактов кожуры лука трех сортов (Albion F1, Kaba, Red Baron) в процессе ингибирования термоокисления полиэтилена. Выбранные сорта лука различались не только по окраске поверхностных чешуй (бесцветная (белый лук), желто-оранжевая (желтый лук), красная (красный лук)), но и по антиокислительным свойствам их экстрактов: красный лук > желтый лук >> белый лук. Полученные результаты были соотнесены с массой извлекаемых веществ, получена другая последовательность сортов лука по ингибирующей эффективности их экстрактов: желтый лук > красный лук >> белый лук. Проведено сравнение извлекаемых экстрактов кожуры луков с промышленным антиоксидантом ирганоксом 1010 по ингибирующей эффективности. В работе представлены и проанализированы ИК-спектры извлекаемых экстрактов.

Увеличение времени экстракции с 24 часов до 56 дней привело к увеличению антиокислительных свойств экстрактов всех трех сортов, но увеличение эффективности ингибирования отмечено только для экстракта кожуры лука Albion F1. У сортов Red Baron и Kaba основная часть биологически активных веществ антиокислительного действия экстрагируются из кожуры в ацетон в течение первых суток экстракции.

Ключевые слова: антиокислительные свойства, полиэтилен, термоокисление, индукционный период окисления, кожура лука, эффективность ингибирования, Albion F1, Kaba, Red Baron.

Введение

Известно, что лук репчатый (*Allium cepa* L.) является ценной овощной культурой с ярко выраженными вкусовыми характеристиками и лекарственными свойствами. Специфический острый вкус и запах лука обусловлен присутствием в луковиче жирных эфирных масел (0.035–0.053%), сочные чешуи луковичи содержат углеводы, минеральные соли, витамины [1]. Лук богат биологически активными веществами, которые по своей структуре могут быть отнесены к разным классам соединений. В частности, в луке обнаружены стероидные и тритерпеновые сапонины [2], флавоноиды, фитонциды и др. [3, 4]. В целом богатый состав биологически активных веществ лука обуславливает его бактерицидные и антигельминтные свойства, антиоксидантную, антиастматическую и антитромботическую активность [5, 6].

Кожура (или покровные чешуи, шелуха) лука характеризуется низкой хозяйственной ценностью, представляет собой отходы пищевой промышленности. Однако это положение может быть пересмотрено. По результатам современных научных исследований, кроме углеводов (88.56%), белков (0.88%) и жиров (0.04%) [7], в кожуре лука содержатся высокие концентрации биологически активных веществ, обладающих антиокислительной активностью. В [4] показано, что сухие чешуи обладают большей антиоксидантной активностью по сравнению с сочной частью луковичи. В работе [7] при сравнении этанольных экстрактов кожуры лука, порошка кожуры лука, луковой мякоти, порошка луковой мякоти делается вывод о самом высоком антиоксидантном статусе кожуры лука. Следующим объектом по количественному показателю антиокислительной активности являлся экстракт порошка кожуры лука. По данным [7], изученные экстракты

Воробьева Елена Валерьевна – доцент кафедры химии,
e-mail: evorobyova@gsu.by

Приходько Елена Леонидовна – магистрант,
e-mail: himulika@gmail.com

кожуры лука и его порошка характеризовались самыми высокими концентрациями общих полифенолов и, собственно, кверцетина.

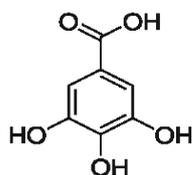
* Автор, с которым следует вести переписку.

Высокое содержание веществ антиокислительного характера открывает новые перспективы для использования кожуры лука или его экстрактов. Например, в работе [8] показано использование экстракта шелухи лука для ингибирования процесса окисления липидов в мясных продуктах. В [9] дана положительная оценка использования кожуры лука для производства биосахара и кверцетина. Возникает вопрос о возможности использования экстрактов кожуры лука в промышленности для ингибирования процессов окисления полиолефинов, по этой причине была поставлена данная работа.

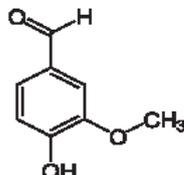
Цель работы – оценить антиокислительные свойства ацетоновых экстрактов кожуры лука для ингибирования процессов окисления полиэтилена, изучить влияние времени экстракции на антиокислительные свойства трех разных сортов лука, различающихся окраской кожуры.

Содержащиеся в кожуре лука биологически активные вещества, обладающие антиокислительной способностью, многочисленны и по своему химическому строению относятся к разным классам. Перечислим самые важные из них (химические формулы представлены на рисунке 1):

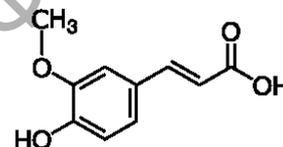
- фенольные (оксibenзойные) кислоты и их производные (галловая кислота, ванильная кислота);
- фенилпропаноиды (феруловая кислота);
- флавоноиды различных классов: флавонолы (кверцетин, кемпферол), проантоцианидины (лейкоцианидин), антоцианидины (цианидин, пеонидин, дельфинидин);
- каротиноиды (β -каротин).



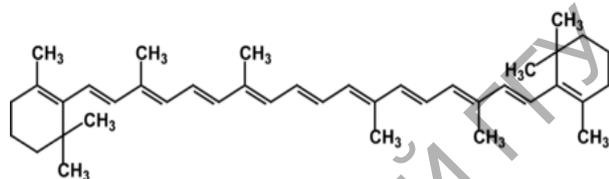
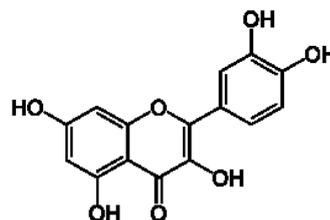
галловая кислота



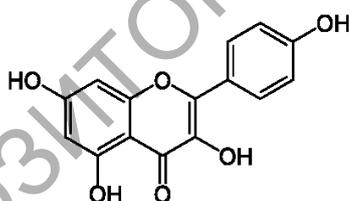
ванильная кислота



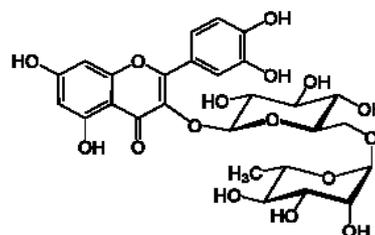
феруловая кислота

 β -каротин

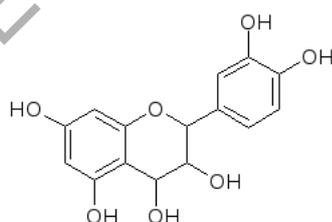
кверцетин



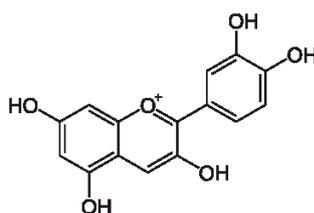
кемпферол



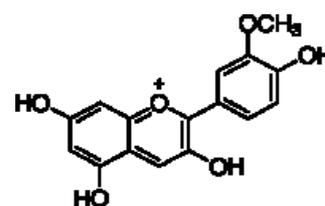
рутин



лейкоцианидин



цианидин



пеонидин

Рис. 1. Формулы биологически активных веществ, обладающих антиокислительными свойствами

Некоторые из перечисленных веществ кроме антиокислительных свойств участвуют в пигментации кожуры, к таким веществам в первую очередь относятся каротиноиды и флавонолы. Флавонолы обнаруживаются в высоких концентрациях в кожуре большинства луков, придавая желтый / коричневый цвет, если не скрыты красным пигментом, таким как цианидин [10]. В химической формуле антоцианов хромофором, обуславливающим окраску, является гетероароматическая система бензпирилиевого (хроменилиевого) цикла, в группе флавоноидов они являются наиболее глубоко окрашенными соединениями.

В научной литературе ведутся споры о приоритете отдельных соединений, содержащихся в луке или его кожуре, в осуществлении антиоксидантной защиты. В [11] утверждается, что с антиоксидантной активностью наиболее тесно связаны гидроксильные и фенольные функциональные группы биологически активных соединений, содержащиеся в луке и его экстракте. Это положение подтверждено данными работы [12], авторы которой методами фотометрии и ВЭЖХ изучали особенности содержания полифенолов, флавоноидов и проантоцианидинов в разных частях луковицы: от сердцевинки к наружным слоям, включая кожуру (для сортов желтого и красного луков). Так как антиокислительная активность экстрактов разных слоев луковиц коррелировала с содержанием полифенолов и флавоноидов, но не имела корреляционной зависимости с содержанием проантоцианидинов, был сделан вывод о том, что именно общее содержание полифенолов играет главную роль в проявлении антиоксидантной активности лука. Аоуата и Yamamoto в своей работе [13] показали, что флавоноиды, содержащиеся в красном луке, не только придают кожуре красный цвет, но и участвуют в их сильной антиоксидантной защите. Однако для зеленого листового лука валлийского была характерна повышенная антиоксидантная активность при пониженном содержании флавоноидов. Выявленный общий порядок антиоксидантной активности для луков был следующий: красный лук > желтый лук = зеленый лук валлийский >> белый лук валлийский, а порядок общего содержания флавоноидов немногим, но различался: красный лук > желтый лук > зеленый лук валлийский >> белый лук валлийский. В [14] показано, что антиоксидантная активность белого испанского лука выше, чем лука-кальсот, при этом белый лук содержал большее количество фенольных соединений от 2.57 до 6.53 мг/г (эквивалент галловой кислоты/сухой веса) и от 0.51 до 2.58 мг/г соответственно (в зависимости от используемого растворителя). То есть более высокое содержание фенольных соединений авторы связывают с более высокой антиоксидантной способностью. В работе [12] исследования были проведены для двух сортов лука: желтого и красного, они показали, что проантоцианидины относительно равномерно распределены в слоях луковицы, но в красном луке общее содержание их выше, чем в желтом. В красном луке обнаружено больше кверцетина и его гликозидов (кверцетин-3,4'-диглюкозид, кверцетин-4'-гликозид), но содержание основного полифенола – галловой кислоты – в красном луке было меньше по сравнению с экстрактами желтого лука (202.0±10.9 до 355.8±20.3 мг и 265.5±14.8 до 445.0±22.5 мг /на 100 г сухого веса соответственно). В [15] исследованы четыре сорта лука (красный, фиолетовый, белый и зеленый) и показано, что чешуи красных и фиолетовых сортов лука являлись лучшими ингибиторами перекисного окисления липидов и дегградации дезоксирибозы. Наружные сухие чешуи красного сорта лука содержали наибольшее количество кверцетина – 5110 мкг/г. По данным работы [8], этанольный экстракт луковой кожуры (500 мг/мл) содержал 98.52 мкг/мл флавоноидов (в пересчете на рутин) и 664.30 мкг/мл фенольных веществ (в пересчете на галловую кислоту), общая антиоксидантная активность – 1338.15 мкг/мл.

Следует отметить, что данные по содержанию биологически активных веществ разнятся по ряду объективных причин: разная сортовая принадлежность, морфометрические характеристики луковицы, условия выращивания, разные условия экстракции, разные растворители-экстрагенты. Так, в работе [8] в качестве экстрагента использовался 80% раствор этанола, в [16] – смесь метанола и 2% соляной кислоты. В [17] сделана попытка оценить эффективность пяти разных растворителей-экстрагентов: вода, 70% этанол, 99.9% этанол, 99.9% метанол и 96% бутанол. Более высокие экстрагирующие свойства среди исследуемых растворителей показал 70% раствор этанола [17]. Ацетон является не менее эффективным экстрагентом, что следует из проведенного анализа данных, представленного в виде таблицы 1. Отметим, что растворимость кверцетина в ацетоне выше, чем в спирте. Ограниченное использование ацетона на практике объясняется его быстрой испаряемостью. Однако в представляемой экспериментальной работе летучесть ацетона, наоборот, делает его приоритетным экстрагентом для получения сухих полимерных композиций [18].

Таблица 1. Характеристика растворимости биологически активных веществ

Биологически активное вещество	Растворимость в воде, г/100 мл	Растворимость в этаноле, г/100 мл	Растворимость в ацетоне, г/100 мл	Участие в пигментации кожуры лука	Литература
Галловая кислота	1.10	27.2	35.12	–	[19], [20]
Лейкоцианидин	хорошо растворим	хорошо растворим	хорошо растворим	–	[21]
Цианидин	0.049 г/л	растворим	растворим	красно-фиолетовый пигмент	[21]
β -каротин	нерастворим	малорастворим	0.021	желто-оранжевый пигмент	[22]
Кверцетин	0.6	0.345	хорошо растворим	желтый пигмент	[23], [24]
Рутин	12.5	малорастворим	малорастворим	желтый пигмент	[25], [26]

Объекты, материалы и методы исследований

В исследованиях использовали поверхностные сухие чешуи лука репчатого (*Allium cepa* L.) трех сортов: Red Baron (красная окраска кожуры), Kaba (желто-оранжевая окраска кожуры), Albion F1 (бесцветная окраска кожуры). В тексте статьи для удобного восприятия материала сорта лука кратко названы по цвету кожуры: красный, желтый, белый. В экспериментах был применен промышленный антиоксидант фенольного типа ирганокс 1010 4-окси-3,5-ди-*трет*-бутилпропионовой кислоты пентаэритриновый эфир или пентаэритрит тетраокси(3-(3,5-ди-*трет*-бутил-4-гидроксифенил) пропионат), он является одним из наиболее распространенных и эффективных антиоксидантов для полиолефиновых материалов [27].

Для получения экстрактов кожуры лука сухие поверхностные чешуи отделяли от лукович, механически измельчали, затем добавляли ацетон (ГОСТ 2603-79) в соотношении 0.5 : 6 (масс./объем, г/мл). Время экстракции в экспериментах составляла 24 ч и 56 суток. Полученный экстракт фильтровали и смешивали с порошком полиэтилена низкого давления (ГОСТ 16338-85, марка 20308-05) в соотношении 10 : 1 (объем/масс., мл/г). После испарения растворителя из полученной полимерной композиции прессовали пленки толщиной 100 мкм. Режим прессования: температура 150 °С, время выдержки в прессе 30–90 секунд.

Окисление полимерных пленок проводили в термошкафах при свободном доступе кислорода при температуре 150 °С. Пленки наплавливали на кристаллы KBr, материал прозрачный в ИК-области спектра.

Степень окисления полимерных образцов определяли методом ИК-спектроскопии, спектры снимали на Фурье-спектрофотометре Vertex 70 (фирма «Brüker», Германия). Степень окисления образцов определяли по оптической плотности полосы 1720 см⁻¹, относящуюся к валентным колебаниям карбонильных групп, в качестве внутреннего стандарта использовали полосу поглощения 1460 см⁻¹, относящуюся к деформационным колебаниям CH₃-групп (D_{1720/1460}).

Антиокислительные свойства ацетоновых экстрактов кожуры лука для ингибирования процессов окисления полиэтилена (или ингибирующую способность) оценивали по продолжительности индукционного периода окисления (ИПО) полимерных образцов [28]. Период индукции определяли, как промежуток времени от начала термоиспытаний до начала стадии активного накопления карбонильных групп в полимерном образце. В течение ИПО показатель D_{1720/1460} в ИК-спектрах образцов изменялся от стартовых значений на 0.04–0.05 ед.

В получаемых ацетоновых вытяжках после испарения растворителя определяли массу извлекаемых веществ – сухой остаток. Гравиметрический анализ проводили в четырех повторностях на аналитических весах ВЛ 220 М (дискретность 0.00001/0.0001 г).

Результаты исследований и их обсуждение

На рисунке 2 приведены экспериментальные данные по накоплению карбонильных групп в полиэтиленовых пленках, содержащих экстракты трех сортов лука (Albion F1, Kaba, Red Baron), в процессе их термоокисления (кривые 1, 2, 3). Кривые позволяют наглядно увидеть продолжительность ИПО полимерных образцов и оценить антиокислительные свойства ацетоновых экстрактов, введенных в полиэтилен. Полиэтиленовая пленка, не содержащая дополнительных веществ или экстрактов, ингибирующих процесс окисления, характеризуется очень низким значением ИПО – всего 1.5 ч (рис. 2, кривая 4). Введение в полимер синтетического фенольного антиоксиданта ирганокса 1010 увеличивает период индукции процесса окисления полимера до 31 ч (рис. 2, кривая 5). Как мы видим, при введении экстрактов лука сортов Kaba и Red Baron (время экстракции

биологически активных веществ составляло 24 ч) полимерный материал получил мощную термоокислительную стойкость, еще более высокую, чем при введении промышленного антиоксиданта: ИПО полимерных образцов с экстрактом Каба в среднем составили 115 ч (рис. 2, кривая 2), ИПО экспериментальных образцов содержащих экстракт кожуры лука сорта Red Baron составил 120 ч (рис. 2, кривая 3). Экстракт кожуры белого лука Albion F1 показал крайне низкую ингибирующую способность – продолжительность ИПО образцов полимерных пленок с его экстрактом всего 2 ч (рис. 2, кривая 1). По полученным данным для экстрактов кожуры трех сортов лука, полученных в течение 24 ч, можно составить ранжированный ряд, отражающий их антиокислительные свойства: красный лук > желтый лук >> белый лук.

Вводимые экстракты характеризовались разной концентрацией извлекаемых веществ, данные по сухому веществу приведены в таблице 2. В экстракте кожуры желтого лука Каба количество извлекаемых веществ оказалось в 2.23 раза меньше по сравнению с экстрактом кожуры красного лука Red Baron, при этом его ингибирующее действие было достаточно сильным, сравнимым с действием экстракта Red Baron. Антиокислительная способность экстракта красного лука обусловлена в основном за счет большого количества извлекаемых веществ, в которых доля антиокислительных веществ была меньшей по сравнению с экстрактом кожуры желтого лука сорта Каба. Таким образом, для более точной характеристики антиокислительной активности экстрактов необходимо ввести еще один показатель, соотносимый с массой извлекаемых веществ – эффективность ингибирования экстрактами или коэффициент f . Расчет эффективности ингибирования экстрактами при термоокислении полиэтилена проводили по формуле

$$f = \frac{t_{ИПО}}{w},$$

где $t_{ИПО}$ – продолжительность периода индукции полимерного образца, ч; w – массовая доля сухого вещества экстракта в полиэтиленовой пленке, %; f – эффективность ингибирования экстрактом, усл.ед.

Расчетное значение f для промышленного антиоксиданта ирганокса 1010 составляет 310 (31 ч/0.1%). При сравнении коэффициентов эффективности вводимых экстрактов (табл. 2), видно, что промышленный антиоксидант в 3.6 раза более эффективен, чем экстракт кожуры красного лука, несмотря на его высокую ингибирующую способность (рис. 2, кривые 3 и 4). В ряду эффективности ингибирования, составленному в соответствии со значениями коэффициента f , желтый лук сорта Каба занимает более высокую позицию: желтый лук > красный лук >> белый лук.

ИК-спектры сухого вещества трех сортов лука (для анализа использовано по 0.02 мл экстрактов) подтверждают положение о более высокой концентрации антиокислительных веществ в экстракте кожуры лука сорта Каба (рис. 3), спектр сухого остатка его экстракта характеризуется самой высокой интенсивностью (рис. 3, спектр 2). Отметим, что в ИК-спектрах сухих остатков экстрактов ярко выражены полосы поглощения ~ 3300 , ~ 1600 , ~ 1500 , ~ 1150 см^{-1} , которые подтверждают наличие в них химических структур приведенных на рисунке 1. Широкая полоса поглощения в области $3550\text{--}3200$ см^{-1} (~ 3300 см^{-1}) соответствует обертону валентных колебаний кето-группы $\nu(\text{C}=\text{O})$; полоса в области $1660\text{--}1580$ см^{-1} (~ 1600 см^{-1}) – скелетным колебаниям кратных связей $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}=\text{C}$; в области $1175\text{--}1150$ см^{-1} (~ 1150 см^{-1}) поглощают валентные колебания фенольных гидроксильных групп, а пульсационные колебания углеродного скелета ароматического кольца имеют полосы поглощения в области $1440\text{--}1600$ (полоса ~ 1500 см^{-1}) [29].

Результаты эксперимента, приведенные на рисунке 4, показывают, что увеличение времени экстракции с 24 ч до 56 суток привело к увеличению их ингибирующей способности – ИПО всех полимерных образцов, модифицированных долговременными экстрактами, увеличились. При этом «прирост» продолжительности ИПО экспериментальных полимерных образцов, модифицированных полученными экстрактами, был разным: экстракт кожуры белого лука Albion F1 увеличил антиокислительную стойкость полимера примерно в 30 раз – с 2 ч до 60 (рис. 4, кривая 1), экстракт кожуры желтого лука Каба в 1.7 раза – с 115 до 200 ч (рис. 4, кривая 2), а экстракт кожуры красного лука Red Baron всего в 1.2 раз – с 120 ч до 140 ч (рис. 4, кривая 3). Порядок антиокислительной способности для экстрактов, полученных в течение 56 ч, следующий: желтый лук > красный лук > белый лук.

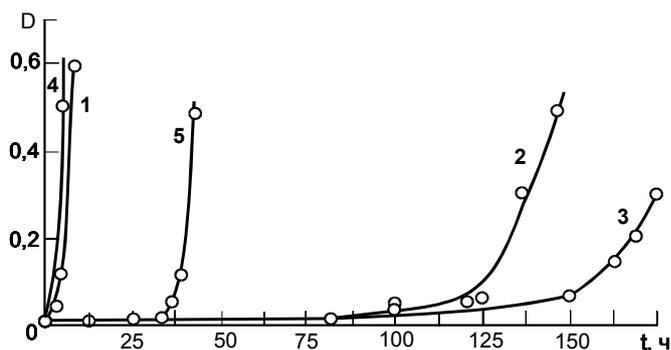


Рис. 2. Изменение оптической плотности полосы 1720 см^{-1} ($D_{1720/1460}$) в ИК-спектрах образцов полиэтиленовых пленок толщиной 100 мкм , содержащих ацетоновый экстракт кожуры лука белого Albion F1 (1), желтого Kaba (2), красного Red Baron (3), извлеченного в течение 24 ч. Кривая 4 – чистый полиэтилен без добавок, Кривая 5 – полиэтилен, содержащий 0.1% масс. фенольного антиоксиданта ирганокса 1010

Таблица 2. Характеристика полученных экстрактов кожуры лука

Сорт лука	Albion F1	Kaba	Red Baron
Время экстракции, ч	24	24	24
Масса сухого вещества в 1 мл ацетоновой вытяжки, г	0.00025	0.00065	0.00145
Массовая доля экстрагируемых веществ в полиэтиленовой композиции, %	0.25	0.65	1.45
Коэффициент эффективности ингибирования (f), усл.ед.	8.0	176.92	82.76
Время экстракции, сут	56	56	56
Масса сухого вещества в 1 мл ацетоновой вытяжки, г	0.00140	0.00200	0.00185
Массовая доля экстрагируемых веществ в полиэтиленовой композиции, %	1.4	2.0	1.85
Коэффициент эффективности ингибирования (f), усл.ед.	42.86	100.0	75.68

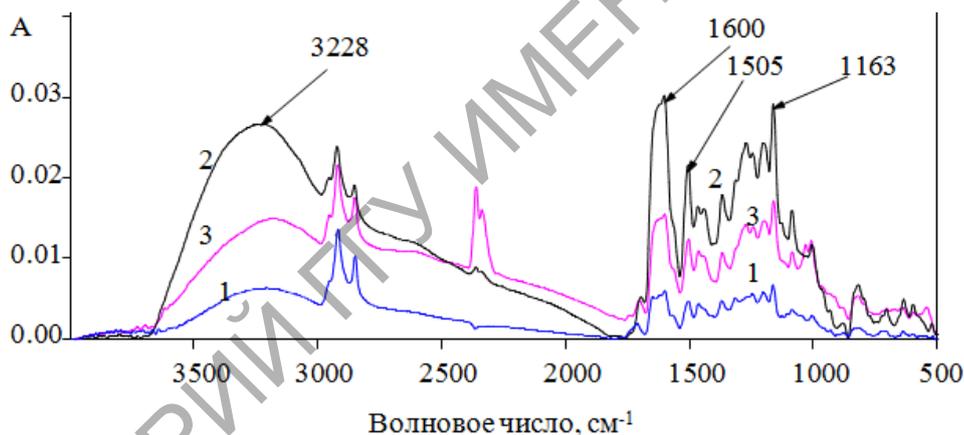


Рис. 3. ИК-спектры экстрактов кожуры лука белого Albion F1 (1); лука красного Red Baron (2), лука желтого Kaba (3). Экстракция проведена в течение 24 ч

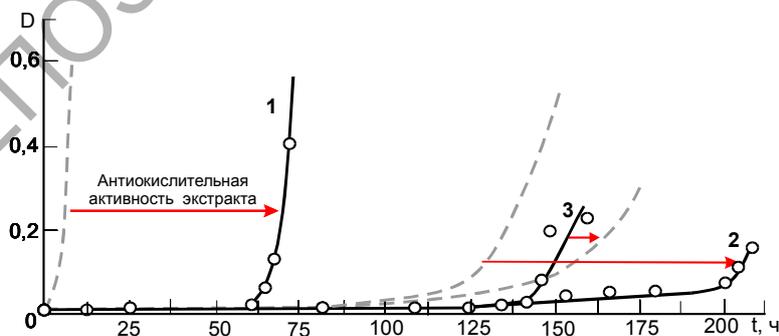


Рис. 4. Изменение оптической плотности полосы 1715 см^{-1} ($D_{1720/1460}$) в ИК-спектрах образцов полиэтиленовых пленок, содержащих ацетоновый экстракт (время экстракции 56 суток) кожуры лука белого Albion F1 (1), желтого Kaba (2), красного Red Baron (3). Пунктиром отмечены кривые окисления полиэтиленовых пленок, содержащих 24-часовой экстракт кожуры луков

По эффективности ингибирования термоокислительных процессов полиэтилена экстрактами (f) последовательность сортов лука аналогичная: желтый лук > красный лук > белый лук. Однако из данных таблицы 2 следует, что при увеличении времени экстракции коэффициент f увеличился только для экстракта кожуры белого лука Albion F1 (в 5.4 раза), экстракты двух других сортов, наоборот, уменьшили свою эффективность: для экстракта сорта Kaba f уменьшился в 1.8 раз, для Red Baron – в 1.1 раза.

Полученные результаты указывают на то, что в кожуре белого лука содержится комплекс антиокислительных веществ, который достаточно медленно извлекается в растворитель ацетон, также по своей ингибирующей способности он в 2–3 раза менее эффективен, чем комплекс антиокислительных веществ кожуры лука окрашенных сортов. Например, количество экстрагируемых веществ из кожуры Albion F1 при долговременной экстракции примерно сравнялось с количеством сухого вещества экстракта Red Baron, извлекаемого за 24 ч, однако разница в ИПО полимерных пленок, содержащих эти экстракты, существенная – 60 и 120 ч. Увеличение времени экстракции биологически активных веществ из кожуры сортов лука Red Baron и Kaba также привело к росту массы извлекаемых веществ (табл. 2), но в итоге дополнительно извлекаемая масса веществ снизила ингибирующую эффективность. Значит, из кожуры сортов Red Baron и Kaba доминирующая часть биологически активных веществ антиокислительного действия экстрагируются в ацетон в течение 24 ч.

Выводы

1. Исследование показало, что сухие поверхностные чешуи лука (кожура) имеющие низкую хозяйственную и пищевую ценность обладают выраженными антиоксидантными свойствами. Ацетоновые экстракты кожуры лука при условии ее яркой природной окраски могут рассматриваться в качестве потенциального источника антиоксидантов для стабилизации процесса окисления полимерных материалов, в частности для полиэтилена.

2. Установлено, что ацетоновые экстракты, извлеченные в течение суток из поверхностных чешуй трех сортовых разновидностей лука (Albion F1, Kaba, Red Baron), имеют существенные различия по антиокислительным свойствам при ингибировании окисления полиэтилена: красный лук > желтый лук >> белый лук. Однако учитывая количество извлекаемых веществ во время экстракции, эффективность экстрагируемых веществ выражается другой последовательностью: желтый лук > красный лук >> белый лук.

3. У сортов Red Baron и Kaba доминирующая часть биологически активных веществ антиокислительного действия экстрагируется из кожуры в ацетон в течение первых суток экстракции. В кожуре белого лука сорта Albion F1 вещества, обладающие антиокислительной способностью, извлекаются медленно, выраженными антиокислительными свойствами обладают только долговременные экстракты, при этом они уступают по своим свойствам и эффективности экстрактам кожуры лукович окрашенных сортов.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», подпрограмма «Лесохимия-2», задание 2.4.01.04.

Список литературы

1. Семёнов В.А., Любченко А.В., Добренков Е.А. Изменчивость химического состава лука репчатого сорта Догадка // Новые технологии. 2010. №1. С. 46–49.
2. Ульянова Т.Н. Целительные свойства лука. СПб., 1998. 160 с.
3. Bonaccorsi P., Caristi C., Gargiulli C., Leuzzi U. Flavonol glucosides in Allium species: A comparative study by means of HPLC-DAD-ESI-MS-MS // Food Chemistry. 2008. Vol. 107. N4. Pp. 1668–1673. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.09.053.
4. Benítez V., Mollá E., Martín-Cabrejas M.A., Aguilera Y., López-Andréu F.J., Cools K., Terry L., Esteban R.M. Characterization of industrial onion wastes (Allium cepa L.): dietary fibre and bioactive compounds // Plant foods for human nutrition. 2011. Vol. 66. N1. Pp. 48–57. DOI: 10.1007/s11130-011-0212-x.
5. Corzo-Martínez M., Corzo N., Villamiel M. Biological properties of onions and garlic // Trends Food Sci Tech. 2007. Vol. 18. Pp. 609–625. DOI: 10.1016/j.tifs.2007.07.011.
6. Vazquez-Prieto M.A., Rodriguez Lanzi C., Lembo C., Galmarini C.R., Miatello R.M. Garlic and onion attenuates vascular inflammation and oxidative stress in fructose-fed rats // Journal of nutrition and metabolism. 2011. Vol. 2011. Pp. 1–7. DOI: 10.1155/2011/475216.
7. Park J., Kim J., Kim M.K. Onion flesh and onion peel enhance antioxidant status in aged rats // Journal of nutritional science and vitaminology. 2007. Vol. 53. N1. Pp. 21–29. DOI: 10.3177/jnsv.53.21.
8. Beatrice A., Ifesan O.T. Chemical Composition of Onion Peel (Allium cepa) and its Ability to Serve as // Human. 2017. Vol. 7. N4. Pp. 25–34.

9. Choi I., Cho E., Moon J., Bae H. Onion skin waste as a valorization resource for the by-products quercetin and biosugar // *Food chemistry*. 2015. Vol. 188. Pp. 537–542. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.05.028.
10. Gorinstein S., Kruszevska H., Leontowicz M., Namieśnik J. Comparison of the main bioactive compounds and antioxidant activities in garlic and white and red onions after treatment protocols // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56. Pp. 4418–4426. DOI: 10.1021/jf800038h.
11. Lu X., Wang J., Al-Qadiri H., Ross C., Powers J., Tang J., Rasco B. Determination of total phenolic content and antioxidant capacity of onion (*Allium cepa*) and shallot (*Allium oschaninii*) using infrared spectroscopy // *Food Chemistry*. 2011. Vol. 129. N2. Pp. 637–644. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.04.105.
12. Cheng A., Chen X., Jin Q., Wang W., Shi J., Liu Y. Comparison of phenolic content and antioxidant capacity of red and yellow onions // *Czech Journal of Food Science*. 2013. Vol. 31. N5. Pp. 131–141. DOI: 10.17221/566/2012-CJFS.
13. Aoyama S., Yamamoto Y. Antioxidant activity and flavonoid content of Welsh onion (*Allium fistulosum*) and the effect of thermal treatment // *Food science and technology research*. 2007. Vol. 13. N1. Pp. 67–72.
14. Santas J., Carbó R., Gordon M., Almajano M. Comparison of the antioxidant activity of two Spanish onion varieties // *Food Chemistry*. 2008. Vol. 107. N3. Pp. 1210–1216. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.09.056.
15. Prakash D., Singh B.N., Upadhyay G. Antioxidant and free radical scavenging activities of phenols from onion (*Allium cepa*) // *Food chemistry*. 2007. Vol. 102. N4. Pp. 1389–1393. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.06.063.
16. Кузнецова В.Ю., Кисличенко В.С. Изучение антоцианов смородины черной плодов, клюквы мелкоплодной плодов и лука репчатого шелухи методом ВЭЖХ // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2019. Vol. 30. Pp. 49–52.
17. Bang H.A., Cho J.S. Antioxidant effects on various solvent extracts from onion peel and onion flesh // *J. Korean Diet. Assoc.* 1998. Vol. 4. N1. Pp. 14–15.
18. Приходько Е.Л., Воробьева Е.В. Эффективность органических растворителей в качестве экстрагентов вторичных метаболитов *Evernia prunastri* для стабилизации полиэтилена // *Современные материалы и технологии новых поколений: сборник научных трудов II Международного молодежного конгресса*. Томск, 2019. С. 49–51.
19. Daneshfar A., Hassan S., Homayoun G., Homayoun N. Solubility of Gallic Acid in Methanol, Ethanol, Water, and Ethyl Acetate // *J. Chem. Eng. Data*. 2008. Vol. 53. N3. Pp. 776–778. DOI: 10.1021/jc700633w.
20. Справочник химика. Т. 2. Основные свойства неорганических и органических соединений / гл. ред. Б.П. Никольский. Л.; М.: Госхимиздат, 1963. 1169 с.
21. Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н. *Природные антиоксиданты (экологический аспект)*. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. 111 с.
22. Рудаков О.Б., Перикова Л.И., Болотов В.М., Сташина Г.А. Хроматографическое определение натуральных и искусственных каротиноидов в пищевых продуктах // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2004. №1. С. 76–82.
23. Haynes W.M. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 95 ed. CRC Press, 2014. 478 p.
24. Бургер К. *Органические реагенты в неорганическом анализе*. М.: Мир, 1975. С. 132–133.
25. Pedriali C., Fernandes A., Bernusso L., Polakiewicz B. The synthesis of a water-soluble derivative of rutin as an anti-radical agent // *Quím. Nova*. 2008. Vol. 31. Pp. 2147–2151. DOI: 10.1590/S0100-40422008000800039.
26. Chebil L., Humeau C., Anthoni J., Dehez F., Engasser J.M., Ghoul M. Solubility of flavonoids in organic solvents // *Journal of Chemical and Engineering Data*. 2007. Vol. 52. N5. Pp. 1552–1556. DOI: 10.1021/jc7001094.
27. Ghaffari M., Ahmadian V. Investigation of antioxidant and electron beam radiation effects on the thermal oxidation stability of low-density polyethylene // *Radiation Physics and Chemistry*. 2007. Vol. 76. Pp. 1666–1670.
28. Фойгт И. Стабилизация синтетических полимеров против действия света и тепла. Л., 1972. 650 с.
29. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. 55 с.

Поступила в редакцию 27 июля 2020 г.

После переработки 2 ноября 2020 г.

Принята к публикации 2 ноября 2020 г.

Для цитирования: Воробьева Е.В., Приходько Е.Л. Использование экстракта кожуры лука для ингибирования процесса термоокисления полиэтилена // *Химия растительного сырья*. 2021. №1. С. 241–250. DOI: 10.14258/jcrpm.2021018262.

Vorobyova E.V.*, Prikhodko E.L. THE USE OF ONION PEEL EXTRACT TO INHIBIT THE THERMAL OXIDATION OF POLYETHYLENE

Francisk Skorina Gomel State University, ul. Sovetskaya, 104, Gomel, 246019 (Republic of Belarus),

e-mail: evorobyova@gsu.by

The paper studies experimentally the antioxidant activity of onion peel acetone extracts of three varieties (Albion F1, Kaba, Red Baron) in the inhibition process of polyethylene thermal oxidation. The onion varieties differ in the color of their surface scales (colorless (white onion), yellow-orange (yellow onion), red (red onion)) and in the antioxidant properties of their extracts: red onion > yellow onion >> white onion. The results correspond to the mass of the extracted substances. A different sequence of onion varieties has been obtained in terms of the inhibitory effectiveness of their extracts: yellow onion > red onion >> white onion. The comparison of the extracted onion peel extracts with the industrial antioxidant Irganox 1010 in terms of inhibitory efficiency has been carried out. The paper presents and analyzes the IR spectra of the extracts.

An increase in the extraction time from 24 hours to 56 days leads to an increase in the antioxidant properties of the extracts of all three varieties, but an increase in the inhibition efficiency is noted only for Albion F1 onion peel extract. In Red Baron and Kaba varieties, the main part of biologically active substances with antioxidant action is extracted from the peel into acetone during the first days of extraction.

Keywords: antioxidant properties, polyethylene, thermal oxidation, oxidation induction period, onion peel, inhibition efficiency, Albion F1, Kaba, Red Baron.

References

1. Semonov V.A., Lyubchenko A.V., Dobrenkov Ye.A. *Novyye tekhnologii*, 2010, no. 1, pp. 46–49. (in Russ.).
2. Ul'yanova T.N. *Tselitel'nyye svoystva luka*. [The healing properties of onions]. St.-Petersburg, 1998, 160 p. (in Russ.).
3. Bonaccorsi P., Caristi C., Gargiulli C., Leuzzi U. *Food Chemistry*, 2008, vol. 107, no. 4, pp. 1668–1673. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.09.053.
4. Benítez V., Mollá E., Martín-Cabrejas M.A., Aguilera Y., López-Andréu F.J., Cools K., Terry L., Esteban R.M. *Plant foods for human nutrition*, 2011, vol. 66, no. 1, pp. 48–57. DOI: 10.1007/s11130-011-0212-x.
5. Corzo-Martínez M., Corzo N., Villamiel M. *Trends Food Sci. Tech.*, 2007, vol. 18, pp. 609–625. DOI: 10.1016/j.tifs.2007.07.011.
6. Vazquez-Prieto M.A., Rodríguez Lanzi C., Lembo C., Galmarini C.R., Miatello R.M. *Journal of nutrition and metabolism*, 2011, vol. 2011, pp. 1–7. DOI: 10.1155/2011/475216.
7. Park J., Kim J., Kim M.K. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 2007, vol. 53, no. 1, pp. 21–29. DOI: 10.3177/jnsv.53.21.
8. Beatrice A., Ifesan O.T. *Human*, 2017, vol. 7, no. 4, pp. 25–34.
9. Choi I., Cho E., Moon J., Bae H. *Food chemistry*, 2015, vol. 188, pp. 537–542. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.05.028.
10. Gorinstein S., Kruszevska H., Leontowicz M., Namieśnik J. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, vol. 56, pp. 4418–4426. DOI: 10.1021/jf800038h.
11. Lu X., Wang J., Al-Qadiri H., Ross C., Powers J., Tang J., Rasco B. *Food Chemistry*, 2011, vol. 129, no. 2, pp. 637–644. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.04.105.
12. Cheng A., Chen X., Jin Q., Wang W., Shi J., Liu Y. *Czech Journal of Food Science*, 2013, vol. 31, no. 5, pp. 131–141. DOI: 10.17221/566/2012-CJFS.
13. Aoyama S., Yamamoto Y. *Food science and technology research*, 2007, vol. 13, no. 1, pp. 67–72.
14. Santas J., Carbó R., Gordon M., Almajano M. *Food Chemistry*, 2008, vol. 107, no. 3, pp. 1210–1216. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.09.056.
15. Prakash D., Singh B.N., Upadhyay G. *Food chemistry*, 2007, vol. 102, no. 4, pp. 1389–1393. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.06.063.
16. Kuznetsova V.Yu., Kislichenko V.S. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, 2019, vol. 30, pp. 49–52. (in Russ.).
17. Bang H.A., Cho J.S. *J. Korean Diet. Assoc.*, 1998, vol. 4, no. 1, pp. 14–15.
18. Prikhod'ko Ye.L., Vorob'yeva Ye.V. *Sovremennyye materialy i tekhnologii novykh pokoleniy: sbornik nauchnykh trudov II Mezhdunarodnogo molodezhnogo kongressa*. [Modern materials and technologies of new generations: collection of scientific papers of the II International Youth Congress]. Tomsk, 2019, pp. 49–51. (in Russ.).
19. Daneshfar A., Hassan S., Homayoun G., Homayoun N. *J. Chem. Eng. Data.*, 2008, vol. 53, no. 3, pp. 776–778. DOI: 10.1021/je700633w.
20. *Spravochnik khimika. T. 2. Osnovnyye svoystva neorganicheskikh i organicheskikh soyedineniy* [Handbook of a chemist. Vol. 2. Basic properties of inorganic and organic compounds], ed. B.P. Nikol'skiy. Leningrad; Moscow, 1963, 1169 p. (in Russ.).
21. Chupakhina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N. *Prirodnyye antioksidanty (ekologicheskyy aspekt)*. [Natural antioxidants (ecological aspect)]. Kaliningrad, 2011, 111 p. (in Russ.).
22. Rudakov O.B., Perikova L.I., Bolotov V.M., Stashina G.A. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2004, no. 1, pp. 76–82. (in Russ.).
23. Haynes W.M. *CRC Handbook of Chemistry and Physics. 95 ed.* CRC Press, 2014, 478 p.

* Corresponding author.

24. Burger K. *Organicheskiye reagenty v neorganicheskom analize*. [Organic reagents in inorganic analysis]. Moscow, 1975, pp. 132–133. (in Russ.).
25. Pedriali C., Fernandes A., Bernusso L., Polakiewicz B. *Quim. Nova.*, 2008, vol. 31, pp. 2147–2151. DOI:10.1590/S0100-40422008000800039.
26. Chebil L., Humeau C., Anthoni J., Dehez F., Engasser J.M., Ghoul M. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 2007, vol. 52, no. 5, pp. 1552–1556. DOI: 10.1021/jc7001094.
27. Ghaffari M., Ahmadian V. *Radiation Physics and Chemistry*, 2007, vol. 76, pp. 1666–1670.
28. Foygt I. *Stabilizatsiya sinteticheskikh polimerov protiv deystviya sveta i tepla*. [Stabilization of synthetic polymers against the action of light and heat]. Leningrad, 1972, 650 p. (in Russ.).
29. Tarasevich B.N. *IK spektry osnovnykh klassov organicheskikh soyedineniy*. [IR spectra of the main classes of organic compounds]. Moscow, 2012, 55 p. (in Russ.).

Received July 27, 2020

Revised November 2, 2020

Accepted November 2, 2020

For citing: Vorobyova E.V., Prihodko E.L. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 241–250. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021018262.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРНИЦЫ