

Chromatographic Determination of the Chemical Composition of Apple Chips Extract

O.I. Hulai[†], V.Ya. Shemet^{**†}, O.S. Klimovych[‡]

[†] Lutsk National Technical University, Lvivska Str., 75, Lutsk, Ukraine, 43018; *e-mail: shemet5@i.ua

[‡] Volyn research expert-forensic center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Vynnychenka Street, 43, Lutsk, Ukraine

Received: May 02, 2022; Accepted: April 18, 2023

DOI: 10.17721/moca.2023.33-41

The qualitative composition of the extraction of dried apples of green (Golden, Mutsu) and red (Florina, Aidaired) varieties by gas-liquid chromatography with mass-selective detection has been established. The chips were obtained by convective drying at the temperature of +(63–70) °C to a final dampness of 6–8 %. Water-alcohol extract was analyzed on the Shimadzu GCMS-QP2020 gas chromatomass-spectrometer with a full ion current (SCAN), the scanning range of 40–1000 Da. The peaks were processed and identified based on the open source data (NIST 2017 and Wiley 5th Edition). In the studied samples of apple extraction, 30 characteristic components were found, among which carbohydrates predominate – mono- and disaccharides, their derivatives and products of dehydration and oxidation. The apple extract contains higher fatty acids: n-hexadecanoic acid, tetradecanoic acid, octadecanoic acid, oleic acid. Compounds formed as a result of drying (5-hydroxymethylfurfural, 3,5-dihydroxy-6-methyl-2,3-dihydro-4H-pyran-4-one), as well as flavonoids and anthocyanins, which perform antioxidant and weak antibiotic functions in the body, were identified. Vitamins could not be determined using this method.

Keywords: chemical composition, apple chips, metabolites, gas-liquid chromatography

Хроматографічне визначення хімічного складу витягу яблучних чипсів

O.I. Гулай[†], В.Я. Шемет^{**†}, О.С. Климович[‡]

[†] Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018; *e-mail: shemet5@i.ua

[‡] Волинський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, вул. Винниченка, 43, м. Луцьк, Україна

Надійшла: 02 травня 2022 р.; Прийнята: 18 квітня 2023 р

DOI: 10.17721/moca.2023.33-41

Встановлено якісний склад витягу сушених яблук зелених (Голден, Муцу) і червоних (Флоріна, Айдаред) сортів методом газорідинної хроматографії з мас-селективним детектуванням. Чипси яблук отримано способом конвективного сушіння за температури +(63–70) °C до кінцевої вологості 6–8 %. Водно-спиртовий витяг аналізували на газовому хроматомас-спектрометрі Shimadzu GCMS-QP2020 за повним іонним струмом (SCAN), діапазон сканування 40–1000 а.о.м. Обробку та ідентифікацію піків проводили на підставі даних відкритих джерел (NIST 2017 і Wiley 5th Edition). В досліджених зразках витягу яблук виявлено 30 характерних складових, серед яких переважають вуглеводи – моно- та дисахариди, їх похідні та продукти дегідратації та окиснення. У яблучному витягу присутні вищі жирні кислоти: н-гексадеканова кислота, тетрадеканова кислота, октадеканова кислота, олеїнова кислота. Виявлено сполуки, що утворюються у результаті сушіння (5-гідроксиметилфурфурол, 3,5-дигідрокси-6-метил-2,3-дигідро-4Н-піран-4-он), а також флавоноїди та антоціани, які виконують в організмі антиоксидантні та слабкі антибіотичні функції. Вітаміни дослідженим методом встановити не вдалося.

Ключові слова: хімічний склад, чипси яблучні, метаболіти, газорідинна хроматографія

Яблука, або плоди *Malus domestica*, є одними з найбільш споживаних фруктів у всьому світі завдяки доступності протягом усього року, приємному смаку та вмісту харчових волокон та фітохімічних речовин, зокрема антиоксидантів [1–3]. Їх широко використовують у харчовій промисловості для виробництва кондитерських

виробів та напоїв. Понад 84 % ваги плодів яблук становить вода, у якій розчинені макро- (К, Mg, Ca і Na) і мікроелементи (Zn, Mn, Cu, Fe, B, F, Se і Mo) [4]. Плоди яблуні містять первинні (здебільшого вуглеводи, значно менше білків та ліпідів) та вторинні (каротиноїди, поліфеноли, органічні кислоти і тритерпеноїди) метаболіти [5,6].

Основний енергетичний внесок складають цукри (глюкоза, фруктоза, сахароза, сорбіт), однак їх вплив на організм збалансований високою (порівняно з іншими фруктами) концентрацією волокон (складних полісахаридів), таких як пектин, целюлози, геміцелюлози і лігнін [7]. Основними активними фітохімічними складовими є вторинні метаболіти [2; 8–10]. Важливими для здоров'я людини вважають тритерпенові сполуки [3, 11].

Хімічний склад яблук залежить від біологічних особливостей сорту, факторів дозрівання, кліматичних умов, ґрунту, ґрунтів і системи їх утримання, водного режиму, внесення добрив, підщепи, способу формування крони, ступеня стиглості [12–14]. Смак плодів залежить від концентрації органічних кислот і цукрів, колір (жовтий/білий) та консистенція м'якоті (хрустка, пастоподібна або борошніста) визначається вмістом пектину та целюлози [1].

Для дослідження хімічного складу яблук та продуктів на їхній основі застосовують різні фізико-хімічні методи: рефрактометричний метод – для визначення вмісту сухих речовин [12–14]; феріціанідний метод – для визначення загального вмісту цукрів; алкаліметрію – для визначення вмісту титрованих кислот [12]; йодометричний метод – для визначення аскорбінової кислоти [13; 14]; Сu-спектральний метод – для визначення пектинових речовин [13].

Для попереднього скринінгу основних класів метаболітів, що зустрічаються в плодах яблук, зазвичай використовують спектрофотометричні методи аналізу [15–17]. Детальніший аналіз виконують за допомогою таких методів, як мас-спектрометрія, газова або рідинна хроматографія, пов'язані з мас-спектрометрією (LC–MS) [9–11]. Останній метод – один із найбільш використовуваних у харчовій хімії, а також в аналізі лікарських речовин [6].

Дослідники використовують також і специфічні методи аналізу. Зокрема, у дослідженні [18] встановлена доцільність використання мульти-спектрального зображення для кількісної оцінки профілів зворотного розсіювання світла від плодів яблуні для прогнозування твердості та вмісту розчинних твердих речовин. У [19] визначено флуоресцентні характеристики поверхневих тканин яблук сортів з різним забарвленням екзокарпії методом флуоресцентної спектроскопії у зеленій ділянці спектру.

Підготовку проб плодів до аналізу найчастіше здійснюють методами екстракції Сокслета, мацерації або гідроперегонки [20]. Фітохімічні сполуки з яблук вилучають за допомогою різних розчинників (вода, метанол, етанол, гексан, ацетон, дихлорметан тощо). Нові методи ґрунтуються на мікрохвильовій екстракції (MAE) та екстракції з ультразвуковою обробкою (OAE), прискореній екстракції розчинника (ASE), екстракції

надкритичними рідинами (SFE) та твердофазній мікроекстракції (SPME) [6].

Більшість публікацій стосуються аналізу певних складових яблук, зокрема шкірки, м'якоті та соку окремих сортів, однак науковий інтерес становить також інформація про вміст і перетворення метаболітів при технологічній обробці плодів, зокрема, при сушінні. У роботі [21] наведено результати дослідження впливу конвекційного та сублімаційного сушіння на хімічний склад і антиоксидантні властивості яблучних чипсів, встановлено загальний вміст фенолів, флавоноїдів, антоціанів, однак аналіз індивідуальних сполук не виконувався. Актуальним є саме повний якісний аналіз складу, що дає інформацію про збереження природних інгредієнтів та утворення нових (не завжди корисних для здоров'я людини) у результаті впливу технологічних чинників. Враховуючи зростаючий попит на сухофрукти як продукт харчування, наукову і практичну цінність мають дослідження якісного і кількісного складу сухих яблук у розрізі сорту сировини і технології переробки.

Мета дослідження – встановлення якісного складу витягу сушених яблук сортів Голден, Муцу, Флоріна та Айдаред методом газорідинної хроматографії з мас-селективним детектуванням задля визначення харчової цінності продукту.

Матеріали та методи дослідження

Для одержання сухих яблук (чипсів) використано фрукти технічного ступеня стиглості зі щільним м'якоттю, зокрема плоди 4 сортів яблунь: Голден (жовті), Муцу (зелені), Флоріна (червоні) та Айдаред (червоні). Усі зразки сировини зібрані у Волинській області, висушені та збережені відповідно до вимог зберігання. Технологічний процес виробництва яблучних чипсів реалізовано на кафедрі технологій і обладнання переробних виробництв Луцького національного технічного університету [22, 23].

Плоди очищали від бруду водою, видаляли неїстівні частини (плодоніжки, насінніві камери), нарізали шматками товщиною 2–3 мм. Застосовували контактне сушіння сформованих напівфабрикатів при температурі сушильного агента $+(63\text{--}70)^{\circ}\text{C}$ до рівня вологості чипсів 6–8%, за якої забезпечується хрусткість готового продукту. Температура сушильного агента не перевищувала $+80^{\circ}\text{C}$, оскільки за вищих температур інтенсифікуються біохімічні процеси і разом із парами води втрачаються леткі речовини (альдегіди, спирти, складні ефіри та інші речовини), які забезпечують аромат та смак готового продукту. Для зниження температури готових виробів перед фасуванням чипси охолоджували до температури $+(15\text{--}20)^{\circ}\text{C}$ та фасували у герметичну тару, щоб уникнути його зволоження та погіршення смаку.

Приготування витягу яблук здійснювали

методом мацерації [24, 25]. Для цього 10 г сухих яблук (чипсів) певного сорту заливали 100 мл розчинника (50 % водний розчин етилового спирту), настоювали за температури 18–20 °С протягом 144 год. Екстракт фільтрували і використовували для подальшого аналізу. Водно-спиртові розчини дозволяють вилучити із сировини як вуглеводи, так і низку вторинних метаболітів [3, 6, 26].

Якісний склад витягу яблук визначали методом газової хроматографії з мас-селективним детектуванням (GC/MS). Умови проведення дослідження наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Умови проведення дослідження методом газорідної хроматографії

Газовий хроматограф	Shimadzu GCMS-QP2020
Колонка	Rxi®-5ms
довжина, діаметр, товщина покриття	30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм
Газ-носіє	Гелій
Потік газу-носія	1.0 мл/хв (крізь колонку)
Температурна програма термостата хроматографа	$T_{\text{поч.}} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, тримати 2 хвилини, нагрівання 20 $^{\circ}\text{C}$ /хв до $T = 280\text{ }^{\circ}\text{C}$, тримати 8 хвилин, нагрівання 20 $^{\circ}\text{C}$ /хв до $T_{\text{кінц.}} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$, тримати 15 хвилин
Режим вводу проби	Автосамплер AOC-20i+s
Поділ потоку	Split 20:1
Об'єм проби	1 мкл
Детектор МСД	QP2020NX EI
Режим роботи	Scan, 40-1000 а.о.м.
Затримка виходу розчинника	2.5 хвилини
Напруга на помножувачі	0.1 кВ
Температура іонного джерела	250 °С
Температура інжектора	250 °С
Температура інтерфейсу	300 °С

Результати дослідження та їх обговорення.

Отримані хроматограми зображено на рис. 1. Обробку та ідентифікацію піків виконували на підставі порівняння хроматографічних та мас-спектральних даних із даними бібліотек з відкритих джерел (NIST 2017 і Wiley 5th Edition). Всі досліді проводилися тричі. Істотними вважалися розбіжності при $p < 0.05$.

В досліджених зразках витягу яблук сортів Голден, Муцу, Флоріна та Айдаред виявлено

30 характерних складових, наведених у табл. 2. Якісний склад усіх витягів відрізняється несуттєво.

Більшість складових досліджених витягів є вуглеводами – моно- та дисахаридами, та їх похідними (природними або утвореними у процесі переробки [27]). Наприклад, виявлений в усіх витягах дигідроксиацетон є проміжним продуктом метаболізму фруктози. Фуранеол – продукт зневоднення глюкози, зумовлює аромат полуниці та ананаса [20]. Наявність 5-гідроксиметилфурфуролу, що утворюється в процесі сушіння, є показником безпечності продукту. Сорбіт та маніт, виявлені у яблучному витягу, разом з фруктозою, глюкозою і сахарозою формують солодкий смак плодів [27], широко використовуються в фармації, косметичних засобах і харчових продуктах [28].

У яблучному витягу присутні вищі жирні кислоти: н-гексадеканова і октадеканова кислоти (витяги усіх сортів), тетрадеканова кислота (сорт Айдарет), олеїнова кислота (сорт Флоріна). Вищі жирні кислоти і ліпіди часто відіграють вирішальну роль як попередники важливих летких ароматичних і регуляторних сполук клітин. Однак, як зазначено у [29], вміст ліпідів у мезокарпі яблук є невисоким (0.2-0.6 %).

Виявлено низку похідних фенольних сполук, що належать до флавоноїдів – природних речовин, які акумулюються в усіх органах рослин у формі глікозидів. Вони мають широкий спектр біологічної дії: беруть участь в окиснювально-відновлювальних процесах, виконуючи антиоксидантні функції; поглинають УФ-світло; запобігають руйнуванню хлорофілу тощо. Флавоноїди проявляють протинавміну активність, жовчогінну, спазмолітичну, діуретичну, гіпоазотемічну, гіпоглікемічну, седативну, естрогенну та інші види фармакологічної дії [6, 8, 10]. У витягах яблук сортів Голден і Муцу ідентифіковано 3-метил-1,2-бензендіол та бензойну кислоту, 4-метил-1,2-бензендіол – у витягу сорту Айдаред.

У дослідженому яблучному витягу присутні представники флавоноїдів антоціани. Це пігментні речовини, які належать до біохімічної групи глікозидів, і містяться в червоній шкірці яблук. Антоціани є потужними антиоксидантами, вони зміцнюють сітківку ока, зменшують ламкості капілярів, нормалізують внутрішньоочний тиск і допомагають боротися з захворюваннями очей [30]. Завдяки антибіотичним властивостям антоціанів яблука рекомендують вживати для загального зміцнення імунітету.

У всіх досліджених витягах виявлено 3,5-дигідрокси-6-метил-2,3-дигідро-4Н-піран-4-он, що утворюється у процесі сушіння яблук і має антиоксидантні властивості [31,32] та протипухлинну і імуномодулюючу дію [21].



Рис. 1. Хроматограми спиртового екстракту яблук сортів Голден (а), Муцу (б), Флоріна (в) та Айдаред (г).

Таблиця 2. Якісний склад екстракту яблук сортів Голден, Муцу, Флоріна та Айдаред

Назва сполуки	Голден час утримування, хв (ймовірність ідентифікації, %) m/z, базовий; {номер піка}	Муцу	Флоріна	Айдаред
Дигідроксиацетон	3.013 (83) 43.05; {1}	3.017 (78) 42.05; {1}	3.017 (78) 42.05; {1}	3.017 (78) 42.05; {1}
N-Гідрокси-N-метил-метанамін	3.090 (73) 42.05; {2}	—	—	—
1,2-Циклопентандіон	—	3.387 (92) 98.05; {2}	3.387 (91) 98.05; {2}	—
2,4-Дигідрокси-2,5-диметил-3(2H)-фуран-3-он	4.007 (91) 101.05; {3}	4.020 (91) 101.05; {3}	4.023 (91) 101.05; {3}	4.020 (91) 101.05; {2}
2-Гідрокси-гамма-бутиролактон	4.110 (94) 57.05; {4}	4.113 (95) 57.05; {4}	4.113 (94) 57.05; {4}	4.120 (94) 57.05; {3}
4-Гідрокси-5-метил-3(2H)-фуранон	—	4.717(91) 43.05; {5}	4.717(92) 43.05; {5}	4.720 (91) 43.05; {4}
4-Оксо-пентанова кислота	—	4.903 (87) 43.05; {6}	—	4.900 (86) 43.05; {5}
Метилацетоксиацетат	—	—	4.903 (87) 43.05; {6}	—
Фуранеол	—	4.980 (90) 128.05; {7}	4.983 (86) 57.05; {7}	4.987 (88) 57.05; {6}
1,3,5-Триазин-2,4,6-триамін	5.263 (85) 43.05; {8}	5.253 (85) 43.05; {8}	—	5.263 (86) 126.10; {7}
Мальтол	—	—	5.267 (84) 126.05; {8}	—
Етиловий ефір 2-пропенової кислоти	—	5.420 (84) 55.05; {9}	5.417 (84) 55.05; {9}	5.423 (83) 55.05; {8}
Циклопропілкарбінол	5.633 (86) 44.05; {6}	5.637 (86) 44.05; {10}	—	—
Пентаналь	—	—	5.623 (83) 44.05; {10}	—
2-Метил-3-оксо-етилловий ефір бутанової кислоти	6.220 (83) 43.05; {7}	6.220 (83) 43.05; {11}	6.223 (83) 43.05; {11}	6.183 (83) 43.05; {9}
3,5-Дигідрокси-6-метил-2,3-дигідро-4H-піран-4-он	6.370 (95) 43.05; {8}	6.373 (96) 43.05; {12}	6.393 (96) 43.05; {12}	6.380 (96) 43.05; {10}
Гександіамід-N,N'-диоксибензоїл	—	—	6.523 (77) 44.05; {13}	6.533 (76) 44.05; {11}
4-Пропокси-2-бутанон	—	—	—	6.687 (75) 43.05; {12}
Бензойна кислота	6.540 (87) 105.05; {9}	6.537 (81) 105.05; {13}	—	—
(R)-N-(3-Оксо-4-ізоксазолідиніл)-ацетамід	—	—	—	6.730 (71) 43.05; {13}
(S)-5-Гідроксиметил-2[5H]-фуранон	6.873 (93) 84.05; {10}	6.897 (88) 84.05; {14}	—	6.893 (87) 84.05; {14}
(S)-(+)-2',3'-Дидезоксирибонолактон	7.053 (94) 85.05; {11}	7.067 (92) 85.05; {15}	7.093 (95) 85.05; {14}	—
Катехол	7.227 (94) 110.10; {12}	—	—	—
4-(Гідроксиметил)-3-оксабіцикло[3,1,0]гексан	7.527 (79)	—	—	—

Таблиця 2. (продовження).

2,4,4-Триметил циклопентанол	—	—	7.527 (77) 85.05; {15}	—
4-Метил-6-(тетрагідропі- ран-2-ілокси)гекс-4-еналь	—	—	—	7.527 (77) 85.05; {15}
Метилловий ефір 3-метил-2-пен- тенової кислоти	—	7.387 (77) 97.05; {16}	—	—
5-Гідроксиметилфурфурол	7.707 (94) 97.05; {14}	7.717 (94) 97.05; {17}	7.723 (93) 97.05; {16}; 7.877 (87) 97.05; {17}	7.720 (94) 97.05; {16}; 7.873 (77) 97.05; {17}
1-Ацетат-1,2,3-пропантриол	7.887 (92) 43.05; {15}	7.897 (92) 43.05; {18}	7.957 (92) 43.05; {18}	7.957 (92) 43.05; {18}
N-Ацетилциклооксепан	8.613 (73) 43.05; {16}	—	—	—
n-Деканова кислота	9.860 (89) 73.05; {17}	—	—	—
2-(Гідроксиметил)-2-нітро-1,3- пропандіол	11.200 (83) 57.05; {18}	—	—	—
Додеканова кислота	12.873 (95) 73.05; {19}	—	—	—
2-Метил-октиловий ефір бутанової кислоти	13.353 (74) 57.05; {20}	—	—	—
3-Метил-1,2-бензендіол	—	8.197 (77) 124.10; {19}	—	—
6-Оксогептанова кислота	—	—	8.623 (77) 43.05; {19}	—
1-Ді(трет-бутил) силілоксипентадекан	—	—	—	8.200 (77) 43.05; {19}
(+)- Етиловий ефір 3-(ацетилокси)-2- (гідроксиметил)- пропанової кислоти	—	11.174 (76) 43.05; {20}	—	—
4-Метил-1,2-бензендіол	—	—	—	8.280 (86) 124.10; {20}
(S)-2-Гідрокси-2-метил-бутан- діова кислота	—	9.557 (85) 43.05; {21}	9.560 (85) 43.05; {20}	—
2-Метил-N-ізобутил валерамід	—	—	10.000 (68) 142.10; {21}	—
6-Оксогептанова кислота	—	—	—	8.637 (77) 43.05; {21}
(R,R)-(+)-2,4-Диметил-1-геп- танол	—	10.277 (75) 43.05; {22}	—	—
(S)-2-Гідрокси-2-метил-бутан- діова кислота	—	—	—	9.553 (84) 43.05; {22}
3-[N'-(3H-Індол-3-ілметил)- гідразино]-5-метил-[1,2,4] триазол-4-іламін	—	10.527 (69) 142.05; {23}	—	—
1-Метил-1-(3-метилбутил)окси- 1-силациклобутан	—	—	—	10.523 (67) 142.05; {23}
2-(Гідроксиметил)-2-нітро-1,3- пропандіол	—	11.117 (83) 57.05; {24}	11.160 (83) 57.05; {22}	11.123 (83) 57.05; {24}

Таблиця 2 (продовження)

3-Дезокси-d-манноїловий лактон	14.100 (89) 44.05; {21}	—	13.487 (90) 57.05; {23}	—
I-Гала-I-ідо-октоза	14.553 (75) 43.05; {22}	—	—	—
d-Гліцери-d-ідо-гептоза	—	—	14.647 (83) 43.05; {24}	—
Ди(4-хлорбензиловий ефір) пімелінової кислоти	—	11.887 (64) 125.05 {25}	—	—
3-Дезокси-d-маннової кислоти лактон	—	13.447 (91) 44.05; {26}	—	13.203 (91) 44.05; {26}
1,5-ангідро-d-маніт	—	16.307 (87) 73.05; {27}	16.567 (86) 73.05; {25}	—
4-O-β-D-Галактопіранозил-α-D-глюкопіраноза	—	—	—	11.903 (72) 143.05; {25}
Тетрадеканова кислота	16.287 (83) 73.05; {23}	—	—	15.643 (89) 73.05; {27}
Ейкозанова кислота	16.553 (85) 55.10; {24}	—	—	—
Пентадеканова кислота	16.793 (95) 73.05; {25}	—	—	—
2-Гідрокси-циклопентадеканон	18.020 (92) 55.05; {26}	—	—	—
Сорбіт	—	—	—	16.323 (89) 73.05; {28}
н-Гексадеканова кислота	18.207 (95) 73.05; {27}; 18.820 (84) 73.05; {28}	18.027 (95) 73.05; {28}; 18.907 (84) 73.05; {29}	18.193 (95) 73.05; {27}; 18.807 (84) 73.05; {28}	18.043 (95) 73.05 {29}
Олеїнова кислота	20.456 (94) 55.10; {29}	—	18.033 (91) 55.10; {26}; 20.300 (91) 55.10; {29}	—
Октадеканова кислота	20.607 (93) 73.05; {30}	20.227 (92) 73.05; {30}	20.567 (93) 73.05; {30}	20.243 (93) 73.05; {30}

Висновки

Методом газорідинної хроматографії з мас-селективним детектуванням в досліджених зразках водно-спиртових витягів чипсів яблук сортів Голден, Муцу, Флоріна та Айдаред виявлено 30 характерних складових. Хроматограми відрізняються несуттєво, якісний склад усіх зразків аналогічний. Більшість складових екстракту – вуглеводи та жирні кислоти, що підтверджує енергетичну цінність сушених яблук. У екстракті виявлено сполуки, що утворюються у результаті сушіння (5-гідроксиметилфурфурол, 3,5-дигідрокси-6-метил-2,3-дигідро-4Н-піран-4-он), а також флавоноїди та антоціани, які виконують в організмі антиоксидантні та слабкі антибіотичні

функції. Тому можна рекомендувати яблучні чипси як продукт для загального зміцнення імунітету. Вітаміни використаним методом встановити не вдалося.

Проведене дослідження дозволило ідентифікувати низку вторинних метаболітів та продуктів їх перетворення у результаті сушіння яблук, однак, як зазначено у літературі, комплексний аналіз якісного складу яблучних продуктів можна провести лише у поєднанні спектральних, хроматографічних та інших методів аналізу. Подальші дослідження будуть спрямовані на апробацію кількісних методів аналізу метаболітів яблук, а також на встановлення впливу технології сушіння на біологічну цінність отриманих продуктів з яблук та іншої сировини.

Список літератури

- Nedić Tiban, N.; Lončarić, A.; Tkalec, D.; Piližota, V. Physico-chemical and antioxidant properties of six apple cultivars (*Malus domestica*) grown in Slavonia. U: D. Šubarić, ur., M. Jašić, ur. *Hranom do zdravlja: zbornik radova 9. međunarodnog znanstveno-stručnog skupa*. Tuzla: Farmaceutski fakultet Tuzla, BiH; 2017, 108–115. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:504410>
- Huber, G.M.; Rupasinghe, H.P.V. Phenolic profiles and antioxidant properties of apple skin extracts. *J. Food Sci.*, 2009, 4, 693–700. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2009.01356.x.
- Butkevičiūtė, A.; Liaudanskas, M.; Kviklys, D.; et al. Detection and analysis of terpenic compounds in apple extracts. *Int. J. of Food Prop.*, 2018, 21:1, 1716–1727. DOI: 10.1080/10442912.2018.1506478
- Feliciano, R.P.; Antunes, C.; Ramos, A.; et al. Characterization of traditional and exotic apple varieties from Portugal. Part 1 – Nutritional, phytochemical and sensory evaluation. *J. Funct. Foods*, 2010, 2, 35–45.
- Petkovsek, M.M.; Stampar, F.; Veberic, R. Parameters of inner quality of the apple scab resistant and susceptible apple cultivars (*Malus domestica* Borkh.). *Sci. Hortic.*, 2007, 114, 37–44.
- Acquavia, M.A.; Pascale, R.; Foti, L.; et al. Analytical Methods for Extraction and Identification of Primary and Secondary Metabolites of Apple (*Malus domestica*) Fruits: A Review. *Separations*, 2021, 8, 9. DOI:10.3390/separations8070091.
- Mohanta, S.; Singh, S.K.; Kumar, B.; et al. Solidification of liquid Modified Apple Polysaccharide by its adsorption on solid porous carriers through spray drying and evaluation of its potential as binding agent for tablets. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018, 120, 1975–1998. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.09.181.
- Wojdyło, A.; Oszmian'ski, J.; Laskowski, P. Polyphenolic compounds and antioxidant activity of new and old apple varieties. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56, 6520–6530. DOI: 10.1021/jf800510j.
- Vanzani, P.; Rossetto, M.; Rigo, A.; et al. Major phytochemicals in apple cultivars: Contribution to peroxyl radical trapping efficiency. *J. Agric. Food Chem.*, 2005, 53, 3377–3382. DOI: 10.1021/jf040482o.
- Kaeswurm, J.A.H.; Burandt, M.R.; Mayer, P.S.; et al. Bioaccessibility of Apple Polyphenols from Peel and Flesh during Oral Digestion. *J. Agric. Food Chem.*, 2022, 70(14), 4407–4417. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c08130.
- Liaudanskas, M.; Viškelis, P.; Kviklys, D.; et al. Comparative Study of Phenolic Content in Apple Fruits. *Int. J. Food Prop.*, 2015, 18(5), 945–953. DOI: 10.1080/10942912.2014.911311.
- Mel'nychuk, O.A.; Choma, Zh. J. Biohimichnyj sklad plodiv jabluni (*Malus domestica* (L.) Borkh.) i grushi (*Pirus communis* L.) v umovah Zakarpattja. *Sadivnyctvo*. 2014, 68, 304–313.
- Osokina, N.M.; Novak, L.L. Himichnyj sklad jabluk riznyh sortiv ta strokiv dostygannja. *Zbirnyk naukovyh prac' VNAU. Plodivnyctvo*. 2012, 6 (68), 154–159.
- Gorjachova, O.O.; Kajdash, A.P. Doslidzhennja himichnogo skladu jabluk riznyh pomologichnyh sortiv. *Sadivnyctvo*. 2014, 68, 33–34.
- Mohd Zin, Z.; Abdul Hamid, A.; Osman, A.; et al. Antioxidative activities of chromatographic fractions obtained from root, fruit and leaf of Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.). *Food Chem.* 2006, 94(2), 169–178. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.08.048
- Wang, J.; Yuan, X.; Jin, Z.; et al. Free radical and reactive oxygen species scavenging activities of peanut skins extract. *Food Chem.*, 2007, 104 (2), 242–250. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.11.035
- Kirakosyan, A.; Seymour, E.M.; Llanes, D.E.U.; et al. Chemical profile and antioxidant capacities of tart cherry products. *Food Chem.*, 2009, 115 (5), 20–25. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.11.042
- Lu, R. Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 2004, 31, 147–157. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2003.08.006.
- Kryvec', S.V.; Lazorenko, Ja.P.; Mamilov, S.O.; et al. Fluorescentni vlastyvoli poverhnevnyh tkanyn jabluk riznyh sortiv v zelenij oblasti spektru. *Biofizychnyj visnyk*. 2020, 43, 96–102. DOI: 10.26565/2075-3810-2020-43-10.
- Rowan, D.D. Volatile metabolites. *Metabolites* 2021, 1, 41–63. DOI: 10.3390/metabo1010041.
- Musifullina, Je.V.; Makarova, N.V. Vlijanie tehnologij sushki na himicheskij sostav i antioksidantnuju aktivnost' jablochnykh chipsov. *Pishhevaja promyshlennost'*. 2013, 3, 36–38.
- Panasjuk, S.G.; Tarajmovych, I.V. Innovacijna tehnologija pereroblennja ovociv ta fruktiv dlja kraftovyh grovnyctv. *Sil'skogospodars'ki mashyny*. 2021, 46, 85–92. DOI: 10.36910/acm.vi46.495.
- Dudarev, I.; Panasyuk, S.; Tarajmovych, I.; et al. Effect of fruit and vegetable blanching and compression on the loss of multilayer chips. *INMATEH Agricultural Engineering*. 2021, 64(2), 247–256. DOI: 10.35633/inmateh.64.2.4.
- Panchenko, S.V.; Kornijev'ska, V.G.; Kornijev'skyj, Ju.I.; et al. Hromat-mas-spektrometrychna charakterystyka nasadok konishyny luchnoi' ta sobacho' kropvyvy. *Aktual'nij zbirnyk farmacevtychnoi' i medychnoi' nauky ta pratyky*. 2020, 13(2, 33), 230–236. DOI: 10.14739/2099-2092/2020.2.207125.
- Hulai, O.; Shemet, M.; Zhilko, V.; Klymovych, O. Inhibitor efficacy and composition of oak bark extract. *Proc. Shevchenko Sci. Soc. Chem. Sci.*, 2020, LX, 107–117. DOI: 10.37827/ntsh.chem.2020.60.107.
- Alvionita, M.; Oktavia, I.; Subandi; et al. Bioactivity of Flavonoid in Ethanol Extract of *Annona squamosa* L. Fruit as Xanthine Oxidase Inhibitor. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2019, 546, 062003. DOI:10.1088/1757-899X/546/6/062003
- Guan, Y.; Peace, C.; Rudell, D.; et al. QTLs

detected for individual sugars and soluble solids content in apple. *Mol. Breed.*, 2015, 35, 1–13. DOI: 10.1007/s11032-015-0334-1.

28. Krogars, K.; Heinaemaeki, J.; Karjalainen, M.; et al. Development and characterization of aqueous amylose-rich maize starch dispersion for film formation. *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 2003, 56(2), 215–221. DOI: 10.1016/S0939-6411(03)00064-X.

29. Baeza-Jiménez, R.; López-Martínez, L.X.; García-Varela, R.; García, R.S. Lipids in fruits and vegetables: Chemistry and biological activities. *Fruit and Veg. Phytochem.: Chemistry and Human Health*, 2017, 1, 423–449. DOI: 10.1002/9781119158042.ch20.

30. Shipp, J.; E-S.M. Abdel-Aal. Food applica-

tions and physiological effects of anthocyanins as functional food ingredients. *Open Food Sci. J.*, 2010, 4, 7–22. DOI: 10.2174/1874256401004010007.

31. Čechovská, L., Cejpek, K., Konečný, M. et al. On the role of 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-(4H)-pyran-4-one in antioxidant capacity of prunes. *Eur. Food Res. Technol.* 233, 367–376 (2011). DOI: 10.1002/9781119158042.ch20.10.1007/s00217-011-1527-4.

32. Chen, Z., Zhao, Z., Bing, B., et al. Effect of hydroxyl on antioxidant properties of 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one to scavenge free radicals. *RSC Adv.*, 2021, 11, 34456–34461. DOI: 10.1002/9781119158042.ch20.10.1039/D1RA06317K.

For preview only