DOI: 10.37555/2707-3114.20.2024.318701
© 2024 Zamorskyi. This article is distributed under the terms of CC Attribution-ShareAlike 4.0 International described at https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

Quality of apple fruit: anatomical features and chemical composition

Ihor V. Zamorskyi
Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine,
e-mail: ihorzam25@gmail.com; ORCID ID: 0009-0006-5648-3453

Abstract.

Aims. To study the anatomical structure of the fruit of new apple cultivars, to determine their density and important chemical components. ***Methods***. The research was conducted by biological, laboratory, microscopic, and statistical methods. Comparison and generalization, systematization of literature data were used. ***Results.*** Analysis of the parameters of the apple fruit peel of three apple cultivars showed that the highest values were obtained when measuring anatomical sections of 'Red Jonaprince' cultivar, and the thinnest fruit peel was found in 'Honey Crisp'. The parenchyma of 'Red Jonaprince' apple fruit was more homogeneous, unlike the fruit of 'Belida'. The obtained anatomical sections of the structure of the texture of apples of new apple cultivars correlated with the measurements of fruit density. The dry soluble solids content varied from 13.6 to 15.7% depending on the cultivar, with an average of 14.6%. The sugars quantity was highest in the 'Belida' fruit (12.66 %). The highest organic acids content was in apples of the 'Red Jonaprince' (0.56 %). The lowest quantity of organic acids was in the fruits of apples of the 'Honey Crisp' (0.28 %). The sugar-acid index of the studied apple cultivars varied from 19.3 to 37.2 with an average value of 30.9. The highest taste qualities were found in the fruits of the 'Belida', and the lowest score was given to apples of the 'Red Jonaprince'. ***Conclusions.*** The structure of the fruit of the apple tree variety 'Honey Crisp' was the most homogeneous and contained rather large cells, and in the sensory analysis was characterised by the highest juiciness. The 'Belida' variety was distinguished by the content of dry soluble substances and sugars in the fruit, and 'Idared' by the amount of organic titratable acids.

Key words: apple cultivars, organic acids, parameters of apple fruit, sugar/acid ratio, soluble substances.

Якість плодів яблуні: анатомічні особливості та хімічний склад

Ігор В. Заморський
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна,
e-mail: ihorzam25@gmail.com; ORCID ID: 0009-0006-5648-3453

Реферат.

Мета. Вивчити анатомічну будову плодів нових сортів яблуні, визначити їхню щільність та важливі хімічні складові. ***Методи***. Дослідження проводили біологічними, лабораторними, мікроскопічними та статистичними методами. Використовували порівняння й узагальнення, систематизацію літературних даних. ***Результати***. Аналіз параметрів шкірки плодів яблуні трьох сортів показав, що найбільші показники отримані при вимірюваннях анатомічних зрізів у сорту ‘Ред Джонапринц’, а найтоншою виявилась шкірка плоду у сорту ‘Хоней Кріспʼ. Паренхіма плоду яблуні сорту ‘Ред Джонапринц’ була більш однорідною, на відміну від плодів сорту ‘Беліда’. Отримані анатомічні зрізи будови яблук нових сортів яблуні корелювали з проведеними вимірюваннями щільності плодів. Вміст сухих розчинних речовин змінювався залежно від сорту від 13,6 до 15,7 %; за середнього значення 14,6 %. Плоди сорту ‘Беліда’ вирізнялися найбільшою кількість цукрів — 12,66 %. Вміст органічних кислот найвищим був у яблуках сорту ‘Ред Джонапринц’ (0,56 %). Мінімальну кількість органічних кислот накопичили плоди яблук сорту ‘Хоней Кріспʼ (0,28 %). Цукрово-кислотний індекс досліджуваних сортів яблуні змінювався від 19,3 до 37,2 за середнього значення 30,9. Найвищими виявились смакові якості плодів сорту ‘Беліда’, а найнижчу оцінку отримали яблука сорту ‘Ред Джонапринц’. ***Висновки.*** Структура плоду яблуні сорту ‘Хоней Кріспʼ була найбільш однорідною й містила досить великі клітини, а за сенсорного аналізу виявилась найбільш соковитою. За вмістом у плодах сухих розчинних речовин та цукрів виділявся сорт ‘Беліда’, а за сумою органічних титрованих кислот — ‘Ред Джонапринц’.

Ключові слова: сорти яблуні, органічні кислоти, параметри плодів яблуні, цукрово-кислотний індекс, розчинні речовини.

Вступ/Introduction. Плоди яблуні займають провідне місце в світі за споживанням із середньорічним обсягом виробництва 70–76 млн тонн, котре у 2022 році досягло показника понад 95 млн тонн (FAO, 2022). Це становить близько 15 % від усіх їстівних плодів і ягід. Від загальної кількості яблук, що виробляються в світі, 70–80 %, споживаються у свіжому вигляді. Майже три чверті решти обсягу переробляється на яблучний сік, а також на яблучне пюре, сухофрукти тощо (Luo et al., 2019; Opalko & Opalko, 2015; Shalini & Gupta, 2010; Yateset al., 2017).

У списку виробників плодів яблуні Україна посідає четверте місце в Європі й одинадцяте місце в світі з 50-ти відсотковою часткою у структурі виробництва всіх плодів і ягід у нашій державі (Galat, 2022).

Широко культивований вид *Malus domestica* (Suckow) Borkh., у складі якого об'єднані всі сучасні промислові сорти яблуні, належить до роду *Malus* Mill. родини *Rosaceae* Juss. Це рід переважно листопадних дерев і кущів, є декілька напіввічнозелених видів, більшість представників якого ростуть у помірних й субтропічних широтах Північної півкулі — Європі, Азії й Північній Америці (Klymenko, 2005). 25 видів *Malus*, з яких 15 ендемічних ростуть у Китаї (Gu Cuizhi & Spongberg, 2003), що дає підстави пов'язувати походження яблуні з територією Китаю.

Питання одомашнення яблуні й походження як десертних, так і сидрових сортів дотепер остаточно нерозв'язане. Оприлюднено припущення, що прабатьки сучасної яблуні виникли від ∼8 до 12 мільйонів років тому в лісах поблизу територій, якими нині проходить кордон між Казахстаном та Китаєм (Kellerhals, 2009).

Донедавна вважалося, що у формуванні сучасного сортименту брали участь яблуня Сіверса — *M. sieversii* (Ledeb.) M.Roem., яблуня лісова — *M. silvestris* Mill. й яблуня низькорослa — *M. pumila* Mill. та ще близько десяти різних видів у родоводах різних сортів (Opalko & Opalko, 2015; Velasco et al., 2010). Нинішні систематики (Govaerts et al., 2021) відносять яблуню Сіверса до синонімів *M. domestica*, так само, як і яблуню низькорослу, яблуню Недзвецького — *M. niedzwetzkyana* Dieck ex Koehne (*Malus Niedzwetzkyana* Dieck.), а також ще декілька видів, що раніше вважалися самостійними.

У процесі одомашнення яблук в усьому ареалі роду *Malus* найбільш важливими визнаються два етапи: первинне завезення яблук зі Сходу вздовж «Шовкового шляху» до Західної Європи та тривала й багаторазова спонтанна гібридизація між культивованими сортами й дикорослими родичами (Brite, 2021) з неусвідомленим багаторазовим добором за якістю плодів як у Європі, так і по дорозі до неї й, звичайно, у регіонах походження.

Ці припущення частково підтверджуються результатами дослідження за молекулярно-генетичними SSR-маркерами з ідентифікацією послідовностей ДНК та археологічними доказами щодо використання людиною яблук у Центральній Азії та на Близькому Сході (Khan al., 2021). На основі молекулярних даних, саме представники секції *Malus* визнані важливими, особливо на початковому етапі доместикації (Harris et al., 2002).

Світовий сортимент яблуні налічує понад 30 тисяч різних сортів, з яких понад 7500 вважаються їстівними, однак лише близько 40 з них складають більшу частину комерційного виробництва. Серед економічно важливих сортів найбільш поширені 'Голден Делішес', 'Елстар', 'Джонаголд', 'Гренні Сміт', 'Бреберн', 'Фуджі', 'Макінтош', 'Делішес', 'Пінк Леді', 'Боскуп' та 'Кокс Оранж' (Bhargava & Bansal, 2021; Brackmann et al., 2010).

Ряд сортів яблуні нині вирощуються не лише в Північній, а й багатьох регіонах Південної півкулі, куди вони були інтродуковані, зокрема в Південній Америці, Південній Африці, Новій Зеландії та Австралії (Pereira-Lorenzo et al., 2009).

Сучасне визначення якості плодів формулюється як динамічний синтез їхніх фізико-хімічних властивостей та пов'язане зі споживчим сприйняттям. Якість плодів може бути визначена різними способами, що відображають суб'єктивність питання: «ступінь досконалості», «ступінь виконання ряду умов, які визначають її прийняття споживачем», «придатність для використання за призначенням», або коли продукт відповідає стандарту для його конкретного використання: «промислова якість», «поживна якість», «експортна якість», «їстівна/споживча якість» (Corollaro et al., 2014).

Загалом, якість плодів включає широку групу зовнішніх і внутрішніх ознак. Зовнішні ознаки — це колір, форма, розмір і відсутність дефектів, тоді як внутрішні (що визначають харчову оцінку) — смак, текстура, аромат, поживна цінність, вміст цукрів, кислот (що впливає на смак), термін зберігання і відсутність дефектів. Спочатку споживач оцінює продукт за його зовнішнім виглядом (кольором, розміром і формою), а потім — за його харчовими якостями, хоча останні можуть визначати, чи буде він купувати продукт знову (Corollaro et al., 2014).

Свіжість вважається ключовим фактором, який визначає споживчі переваги при купівлі фруктів (Ragaert, 2004). Свіжий продукт визначається стандартом ISO (Міжнародна організація зі стандартизації) 7563:1998 (ISO..., 1998), як «турбулентний продукт без ознак в'янення або старіння, клітини якого не зіпсувалися», навіть якщо поняття «свіжий» може інтерпретуватися споживачами по-різному залежно від демографічних характеристик і звичок споживання (Péneau, 2007). Оскільки «текстура» визначається стандартом ISO 5492:1992 (ISO..., 2016) як «всі механічні, геометричні та поверхневі атрибути продукту, що сприймаються за допомогою механічних, тактильних і, де це доречно, зорових і слухових рецепторів», текстурні властивості можуть розглядатися як основні фактори, що відповідають за свіжість і пов'язаний з нею споживчий вибір (Harker et al., 2008; Péneau, 2006).

Текстура складається з низки різних властивостей, що сприймаються органами чуття людини, і її визначення передбачає сенсорну оцінку (Nybom et al., 2020). Сенсорний аналіз, зазвичай не враховується для загальної оцінки якості плодів. Однак у випадку з такими, як яблуко, анатомічні властивості плодів не відокремлені від інших властивостей, таких як нюхові та смакові, а споживчі переваги, як правило, ґрунтуються на поєднанні текстури та смаку (Gatti et al., 2011). Ці взаємозв'язки обґрунтовують сенсорний підхід як відправну точку для впровадження інструментів вимірювання, які є ефективними для прогнозування сприйняття якості яблук споживачами.

Враховуючи викладене, нами було вивчено за допомогою анатомічного аналізу текстуру плодів нових сортів яблуні та визначено їхню щільність та важливі хімічні складові.

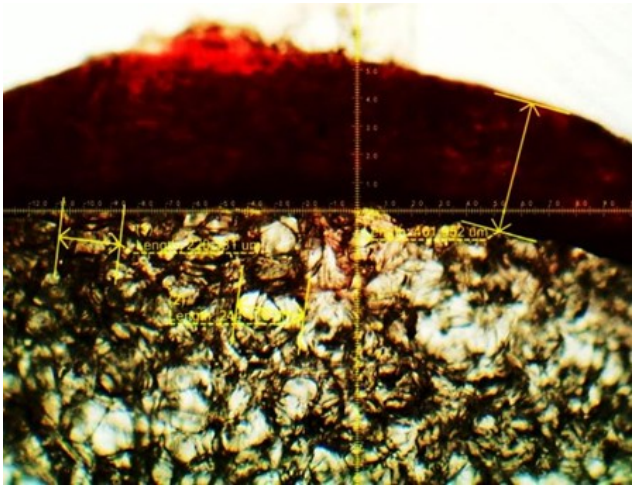
Матеріали і методи/Materials and Methodology. Дослідження проводили в саду та лабораторіях Уманського національного університету садівництва. Використані біологічні, лабораторні та статистичні методи. Біологічні методи включали довготривалі та короткотривалі садові і фізіолого-біологічні модельні досліди. Закладання дослідів, обліки, спостереження та аналізи проводили відповідно до Державних методик проведення експертизи сортів (Methods for determining..., 2023; Methods of examination..., 2016). Щільність яблук визначали цифровим пенетрометром GY-4.

Анатомічну будову плодів яблуні вивчали згідно з розробленою Аркадієм Грицаєнком методикою з доповненнями Володимира Заморського (Zamorsky, 2006). Плоди яблуні відбирали типові для кожного варіанту, які включали сорти ‘Беліда’ (‘Bellida’), ‘Ред Джонапринц’ (‘Red Jonaprince’) та ‘Хоней Крісп’ (‘Honey Crisp’). Зрізи для анатомічних досліджень плодів виготовляли на мікротомі МЗ-1 та відразу аналізували під мікроскопом MICRO med. Під час проведення вимірів анатомічних досліджень використовували спеціальну комп’ютерну систему для мікроскопії та аналізу «Micro Capture Software Ver 6.9.12».

Хімічні показники якості яблук визначали відразу після збирання врожаю у стадії збиральної стиглості визначаючи: вміст сухих розчинних речовин — рефрактометром РПК–3 за ДСТУ 8402 (DSTU, 2015), цукри (загальні, редуковані, цукроза) — ферицианідним методом за ДСТУ 4954 (DSTU, 2010), титровану кислотність — титруванням 0,1Н розчином лугу за ДСТУ 4957 з перерахунком на яблучну кислоту (DSTU, 2008).

Результати та обговорення/Results and Discussion. Аналіз параметрів шкірки плодів яблуні трьох сортів показав (рис. 1), що найбільші показники отримані при вимірюваннях анатомічних зрізів у сорту ‘Ред Джонапринц’ (товщина шкірки складала 525–548 μк), дещо менші показники встановлені у сорту ‘Беліда’ (461 μк) і найніжнішою виявилась шкірка плоду у сорту ‘Хоней Крісп’ (251–277 μк).

Параметри підшкірної паренхіми плодів досліджуваних сортів виявились неоднорідні. Так, для плодів сорту ‘Беліда’ характерним є домінування в текстурі клітин розміром 220–244 μк. Яблуко ‘Ред Джонапринц’ у підшкірній текстурі характеризувалось наявністю клітин від 303 до 397 μк. Найбільшими за розмірами (524–540 μк) виявились підшкірні клітини плодів яблуні сорту ‘Хоней Кпісп’.



1

2

3

Рисунок 1. Анатомічна будова шкірки та підшкірної паренхіми плодів досліджуваних сортів: 1 — ‘Беліда’; 2 — ‘Ред Джонапринц’; 3 — ‘Хоней Крісп’

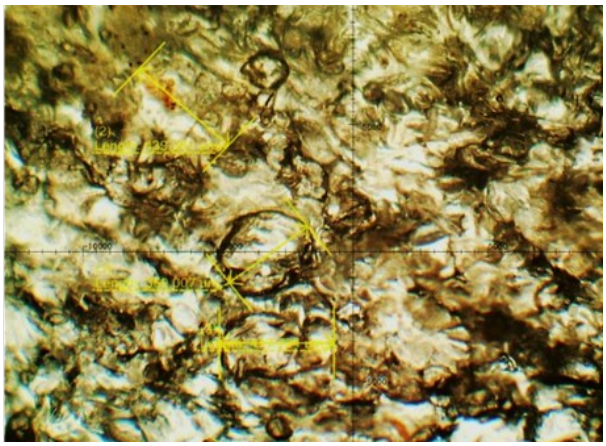
Figure 1. The anatomical structure of the peel and texture of the subcutaneous parenchyma of the fruits of the studied cultivars: 1 — ‘Belida’; 2 — ‘Red Jonaprince’ ; 3 — ‘Honey Crisp’

Важливим елементом паренхіми плодів яблуні є розміри та будова основних паренхімних клітин, які складають основний масив яблука. Аналіз наведених анатомічних зрізів (рис. 2) показує, що плоди сорту ‘Беліда’ характеризувались неоднорідними розмірами клітин паренхіми.

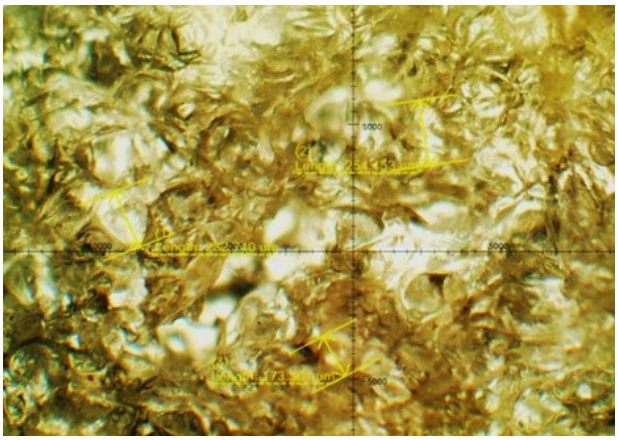
Основний масив складали клітини розміром 120–134 μк, проте виявлені і досить великі клітини — 360–417 μк. Паренхіма плоду яблуні сорту ‘Ред Джонапринц’ виявилась більш однорідною з розмірами клітин 173–254 μк. Текстура плоду яблуні сорту ‘Хоней Крісп’ була також однорідною з досить великим розміром клітин, який коливався від 288 до 307 μк. Тому при сенсорному аналізі плоди цього сорту виявились найбільш соковитими, оскільки соковитість асоціюється з тактильним відчуттям — вона відображає кількість соку, що виділяється продуктом під час жування (Harker et al., 2006; Ioannides et al., 2009).

Отримані анатомічні зрізи будови паренхіми яблук нових сортів яблуні корелювали з проведеними нами вимірюваннями щільності плодів. Так, найбільш щільними виявились плоди сорту ‘Ред Джонапринц’ (показник

пенетрометра — 4.90 кг/см^2), дещо меншою (4.25 кг/см^2) виявилась щільність тканин плодів сорту ‘Беліда’ і найнижчою щільністю клітин паренхіми характеризувались плоди сорту ‘Хоней Крісп’ (3.08 кг/см^2).



1



2

3

Рисунок 2. Анатомічна будова центральної паренхіми плодів досліджуваних сортів:
1 — ‘Беліда’; 2 — ‘Ред Джонапринц’; 3 — ‘Хоней Крісп’

Figure 2. *The anatomical structure of the texture of the central parenchyma of the fruits of the studied* cultivars:
1 — ‘Belida’; 2 — ‘Red Jonaprince’ ;
3 — ‘Honey Crisp’

В результаті проведених досліджень також встановлено, що плоди яблуні різнилися між собою за показниками хімічного складу (табл. 1). Вміст сухих розчинних речовин змінювався залежно від сорту від 13,2 до 15,7 %; при середньому значенні 14,3 %. Математичний аналіз показав суттєві відмінності між сортами ($НІР_{095}$=0,2). Плоди ‘Хоней Крісп’ та ‘Айдаред‘ накопичували менше сухих розчинних речовин, ніж ‘Беліда’ та ‘Ред Джонапринц’, за максимальних значень показника у яблук сорту ‘Беліда’ (15,7 %).

Плоди сорту ‘Беліда’ вирізнялись також найбільшою кількість цукрів — 12,7 %. На рівні 10,0…10,8 % виявився рівень цукрів у плодах сортів ‘Айдаред’,‘Хоней Крісп’ та ‘Ред Джонапринц’.

Оптимальна кількість органічних кислот в плодах яблуні знаходиться в межах 0,60–0,85 %. Середній вміст їх у досліджуваних сортів склав 0,39 %. Найвищим цей показник був у яблуках ‘Айдаред’ (0,78%) та ‘Ред Джонапринц’

(0,56 %) Найнижчу кількість органічних кислот накопичили плоди сорту ‘Хоней Кріспʼ (0,28 %).

Таблиця 1. Хімічний склад плодів досліджуваних сортів яблуні
Table 1. Chemical composition of the apple cultivars studied fruits

Сорт/Cultivar	Вміст сухих розчинних речовин/ The soluble substances content, %	Цукри/ The sugars quantity, %	Органічні кислоти/The organic acids content, %
‘Айдаред’/ Idared (контроль/ control	13,2	10,0	0,78
‘Беліда’/‘Belida’	15,7	12,7	0,34
‘Ред Джонапринц’/ ‘Red Jonaprince’	14,6	10,8	0,56
‘Хоней Кріспʼ/ ‘Honey Crisp’	13,6	10,2	0,28
HIP_{095}/LSD_{095}	0,2	0,2	0,04

Від співвідношення вмісту цукрів і титрованих кислот залежить смак плодів. Прийнято вважати, що гармонійним він є у плодів з цукрово-кислотним індексом 15–25. Значення цього показника досліджуваних сортів яблуні коливалося в межах від 12,8 до 37,2.

За результатами дегустаційної оцінки виявлено відмінності в сенсорній якості яблук кожного сорту. Найвищими виявились смакові якості плодів сорту ‘Беліда’, а найменш привабливі — яблука ‘Айдаред’.

Висновки. Структура плоду яблуні сорту ‘Хоней Кріспʼ була найбільш однорідною з переважно великими клітинами, а за сенсорного аналізу була найбільш соковитою. За вмістом у плодах сухих розчинних речовин та цукрів виділився сорт ‘Беліда’, а за сумою органічних титрованих кислот — ‘Айдаред’.

Список посилань/References

Bhargava, A., & Bansal, A. (2021). Classification and grading of multiple varieties of apple fruit. *Food Analytical Methods*. Vol.14. No 7. P. 1359–1368. https://doi.org/10.1007/s12161-021-01970-0

Brackmann, A., Schorr, M. R. W., Pinto, J. A. V., & Venturini, T. L. (2010). Pre-harvest applications of calcium in post-harvest quality of ‘Fuji’ apples. *Ciência Rural*. Vol. 40. P. 1435–1438. https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000600032.

Brite, E. B. (2021). The origins of the apple in central Asia. *Journal of World Prehistory*.Vol. 34. No 2. P. 159–193. https://doi.org/10.1007/s10963-021-09154-8.

Corollaro, M. L., Gasperi, F., & Grappadelli, L. C. (2014). An overview of sensory quality of apple fruit. *Journal of the American Pomological Society*. Vol. 68. No 3. P. 141–157.

DSTU (2008). Fruit and vegetable processing products. Methods for determination of titratable acidity. For the first time (with the abolition of DSTU 25555.0-82 in Ukraine) DSTU 4957:2008. Valid from 2009-01-07. K: SE "UkrNDNC", 2008. 12 c.

DSTU (2010). Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of sugars. For the first time (with the abolition of GOST 8756.13-87 in Ukraine) DSTU 4954:2008. Valid from 2009-01-01. K: SE "UkrNDNC", 2010. 22 c.

DSTU (2015). Fruit and vegetable processing products. Refractometric method for determination of soluble solids content: DSTU 8402:2015 Kyiv: Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine, 2015. 12 c.

FAO. 2022. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome. https://doi.org/10.4060/cc2211en.

Galat L. (2022). Trends and prospects of marketing development of apple production in Ukraine. *Tavriys'kyy naukovyy visnyk. Seriya: Ekonomika*. No 11. P. 22–31. https://doi.org/10.32851/2708-0366/2022.11.4. (in Ukraine).

Gatti, E., Di Virgilio, N., Magli, M., & Predieri, S. (2011). Integrating sensory analysis and hedonic evaluation for apple quality assessment. *Journal of Food Quality.* Vol. 34. No 2. P. 126–132. https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2011.00373.x.

Govaerts, R., Nic Lughadha, E., Black, N., Turner, R. & Paton, A. (2021). The World Checklist of Vascular Plants, a continuously updated resource for exploring global plant diversity. *Scientific Data.* Vol. 8. Art. 215. P. 1–10. https://doi.org/10.1038/s41597-021-00997-6.

Gu Cuizhi (Ku Tsue-chih) & Spongberg Stephen A. (2003). *Malus* Miller, Gard. Dict. Abr. Flora of China. Vol. 9. *Rosaceae*. P. 179. URL: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=119570.

Harker, F. R., Amos, R. L., Echeverríaa, G., & Gunson, F. A. (2006). Influence of texture on taste: Insights gained during studies of hardness, juiciness, and sweetness of apple fruit. *Journal of Food Science.* Vol. 71. No 2. P. S77–S82. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb08925.x.

Harker, F. R., Kupferman, E. M., Marin, A. B., Gunson, F. A., & Triggs, C. M. (2008). Eating quality standards for apples based on consumer preferences. *Postharvest biology and technology.* Vol. 50. No 1. P. 70–78. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.03.020.

Harris, S. A., Robinson, J. P., & Juniper, B. E. (2002). Genetic clues to the origin of the apple. *Trends in Genetics.*Vol. 18. No 8. P. 426–430. https://doi.org/10.1016/S0168-9525(02)02689-6.

Harris, S. A., Robinson, J. P., & Juniper, B. E. (2002). Genetic clues to the origin of the apple. *Trends in Genetics.* Vol. 18. No 8. P. 426–430. http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9525(02)02689-6.

Ioannides, Y., Seers, J., Defernez, M., Raithatha, C., Howarth, M. S., Smith, A., & Kemsley, E. K. (2009). Electromyography of the masticatory muscles can detect variation in the mechanical and sensory properties of apples. *Food Quality and Preference.* Vol. 20 No 3. P. 203–215. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2008.09.007.

ISO 5492:2008/Amd 1:2016. (2016). Sensory analysis — Vocabulary. 107 p. URL.: https://www.iso.org/standard/38051.html (Accessed 4 October 2024).

ISO 7563:1998(E/F) International standard norme internationale. (1998). Fresh fruits and vegetables — vocabulary. URL: https://cdn.standards.iteh.ai/samples/14346/180d6d5f12194ab68a586b29060a04f8/ISO-7563-1998.pdf. (Accessed 4 October 2024).

Kellerhals, M. (2009). Introduction to apple (*Malus* × *domestica*). *Genetics and genomics of Rosaceae*. New York: Springer New York. Ch. 4 P. 73–84. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77491-6_4.

Khan, M. A., Olsen, K. M., Sovero, V., Kushad, M. M., & Korban, S. S. (2014). Fruit quality traits have played critical roles in domestication of the apple. *The Plant Genome*. Vol. 7. No 3. P. 1–18. https://doi.org/10.3835/plantgenome2014.04.0018.

Klymenko, Yu. O. (2005). Rid *Malus* Mill. — iablunia. *Dendroflora Ukrainy. Dykorosli y kul'tyvovani dereva i kushchi. Pokrytonasinni.* Chastyna II. Dovidnyk [Eds.: M. A. Kokhno & N. M. Trofymenko]. Kyiv: Fitosotsiotsentr. P. 193–213.

Luo, J., Xu, Y., & Fan, Y. (2019). Upgrading pectin production from apple pomace by acetic acid extraction. *Applied biochemistry and biotechnology.* Vol. 187. No 4. P. 1300–1311. https://doi.org/10.1007/s12010-018-2893-1.

Methods for determining quality indicators of crop production. (2023). *Methods of qualification examination of plant varieties for their suitability for distribution in Ukraine.* Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. 2.4. Fruit, subtropical, citrus, nut and berry species. P. 113–116. URL: https://sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosl_2023.pdf. (in Ukraine).

Methods of examination of varieties of domestic apple (*Malus domestica* Borkh.) for distinctiveness, uniformity and stability. (2016). *Methods of examination of plant varieties of fruit, berry, nut and grape group for distinctiveness, uniformity and stability*. Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. [UPOV: MALUS_DOM]. P. 800–823. URL: https://sops.gov.ua/uploads/page/Meth_DUS/Method_fruit.pdf. (in Ukraine).

Nybom, H., Ahmadi-Afzadi, M., Rumpunen, K., & Tahir, I. (2020). Review of the impact of apple fruit ripening, texture and chemical contents on genetically determined susceptibility to storage rots. *Plants*. Vol. 9. No 7. P. 831(1–20). https://doi.org/10.3390/plants9070831.

Opalko, A. I., & Opalko, O. A. (2015). The outlook for the improvement of breeding and genetics problems of apple tree (*Malus* Mill.). *Factors in experimental evolution of organisms.* Vol. 16. P. 141–146. (in Ukraine).

Péneau, S., Brockhoff, P. B., Hoehn, E., Escher, F., & Nuessli, J. (2007). Relating consumer evaluation of apple freshness to sensory and physico-chemical measurements. *Journal of Sensory Studies*. Vol. 22. No 3. P. 313–335.

Péneau, S., Hoehn, E., Roth, H. R., Escher, F., & Nuessli, J. (2006). Importance and consumer perception of freshness of apples. *Food quality and preference*. Vol. 217. No 1–2. P. 9–19.

Pereira-Lorenzo, S., Ramos-Cabrer, A., & Fischer, M. (2009). Breeding Apple (*Malus* × *Domestica* Borkh). *Breeding Plantation Tree Crops: Temperate Species*. New York: Springer. P. 33–81. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71203-1_2.

Ragaert, P., Verbeke, W., Devlieghere, F., & Debevere, J. (2004). Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food quality and preference*. Vol. 15. No 3. P. 259–270.

Shalini, R., & Gupta, D. K. (2010). Utilization of pomace from apple processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*. Vol. 47. P. 365–371. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0061-x.

Velasco, R., Zharkikh, A., Affourtit, J., Dhingra, A., Cestaro, A., Kalyanaraman, A., ... & Viola, R. (2010). The genome of the domesticated apple (*Malus* × *domestica* Borkh.). *Nature genetics*. Vol. 4. No 10. P. 833–839.

Yates, M., Gomez, M. R., Martin-Luengo, M. A., Ibañez, V. Z., & Serrano, A. M. M. (2017). Multivalorization of apple pomace towards materials and chemicals. Waste to wealth. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 143. P. 847–853. http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.036.

Zamorsky, V. V. (2006). Methods for assessing the morphological state of apple trees: Methodical recommendations. Uman. 51 p.