УДК 631.5

DETERMINING THE EFFECT OF INTERNAL AND EXTERNAL FACTORS ON THE FORMATION OF COLOR OF FRUITS BY MEANS OF COLOR PARAMETERS

O. Cherevko, A. Dubinina, V. Mykhailov, T. Shcherbakova, S. Lenert
Kharkiv State University of Food Technology and Trade

Key words:
Consumer properties
Fruit raw material
Color
CIE XYZ system
Dominant wavelength
Purity of color
Brightness

Article history:
Received 07.09.2017
Received in revised form 23.09.2017
Accepted 17.10.2017

Corresponding author:
O. Cherevko
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the results of spectrophotometric studies of the component composition of the pigment complex of plant material. A complex of color-parametric characteristics of apples, cherries and plums was obtained with the help of diffuse reflection spectroscopy according to the model of International Commission on Illumination (CIE). The color of the test samples was evaluated visually, as well as by the color parameters in the CIE XYZ system: dominant wavelength (λ, nm), brightness (T, %) and color purity (P, %) calculated from the experimental reflection spectra. The dependence of fruit raw material color change on its pigment transformation under the influence of external factors was established. According to the experimental studies, it was concluded that the colorimetric characteristics significantly facilitate the assessment of the color of the plant material during its processing under the influence of various factors and are in good agreement with the visual assessment of color.

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-18

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВНУТРІШНІХ І ЗОВНІШНІХ ЧИННИКІВ НА ФОРМУВАННЯ КОЛЬОРУ ФРУКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОЛЬОРОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

О.І. Черевко, А.А. Дубініна, В.М. Михайлов, Т.В. Щербакова, С.О. Ленерт
Харківський державний університет харчування та торгівлі

У статті представлено результати спектрофотометричних досліджень компонентного складу пігментного комплексу рослинної сировини. Отримано комплекс кольоропараметричних характеристик плодів яблук, вишні та сливи за допомогою методу спектроскопії дифузного відбиття із колірною моделлю CIE (Commission Internationale de l'Eclairage — International Commission on Illumination). Колір дослідних зразків оцінювався візуально, а також за допомогою параметрів кольору у системі CIE XYZ (домінуюча довжина хвилі ($\lambda_{дом}$, нм), яскравість (T, %), чистота кольору (P, %)), які були розраховані за експериментальними спектрами відбиття. Встановлено залежність зміни кольору фруктової сировини від перетворення її пігментного комплексу під дією зовнішніх чинників. За проведеними експериментальними досліджe-

ннями зроблено висновок, що кольоропараметричні характеристики суттєво полегшують оцінку кольору рослинної сировини під час її переробки під дією різних чинників і добре узгоджуються з візуальною оцінкою кольору.

***Ключові слова**: споживні властивості, фруктова сировина, колір, система CIE XYZ, домінуюча довжина хвилі, чистота кольору, яскравість.*

Постановка проблеми. Кожен продукт відповідно до вимог нормативної документації характеризується визначальними показниками якості, з яких у багатьох випадках колір — це перша ознака якості і свіжості продукції. Взаємозв'язок якості й кольору особливо проявляється для продуктів рослинного походження, оскільки це обумовлено тісною кореляцією між кольором та вмістом барвних речовин (хлорофілів, каротиноїдів і речовин фенольної природи). Здебільшого, це нестійкі сполуки, які легко змінюються під впливом багатьох чинників, що призводить до незворотної зміни хімічного складу пігментного комплексу, знебарвлення або зміни природного кольору, появи невластивих вихідній сировині відтінків. При цьому необхідно враховувати, що під час вибору як свіжих овочів і фруктів, так і продуктів їх переробки споживач керується головним чином зоровою оцінкою: дослідженнями експертів було встановлено, що 87% споживачів обирають продукт за їх зовнішнім виглядом, 3,5% — за ароматом, 1,5% — за дотиковими відчуттями, 1% — після опробування на смак, останні — за інших причин. Тому збереження кольору вихідної сировини під час її переробки та об'єктивна оцінка кольору є актуальною проблемою [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Систематизація літературних даних щодо хімічного складу фруктової сировини дала змогу визначити речовини, які формують її колір. Зелений колір обумовлений хлорофілами ($a + b$), забарвлення рослинної сировини від жовтого до оранжево-червоного обумовлено вмістом каротиноїдів — безкисневих каротинів і кисневмісних ксантофілів.

Серед природних пігментів широко розповсюджені поліфеноли. Це велика група органічних сполук, які відрізняються за хімічною будовою, але мають деякі загальні ознаки. Водорозчинні поліфенольні речовини обумовлюють забарвлення фруктів і овочів у жовтий колір (флавоноли) та від рожевого до темно-синього (антоціани). Вміст їх у рослинній сировині складає від 2,0…2000 мг%. Характерною рисою поліфенольних сполук є легке окислення з утворенням високореактивних проміжних продуктів типу семихінонних радикалів або ортохінонів, здатність до взаємодії з білками за рахунок утворення водневих зв'язків, а також схильність до комплексоутворення з іонами металів [3—5].

Численними дослідженнями встановлено, що природні барвні речовини є лабільними. Вплив зовнішніх і внутрішніх чинників під час переробки призводить до трансформації природних пігментів, що негативно впливає не тільки на вихідний колір, але й на якість продукції в цілому. Ці перетворення мають достатньо складний характер, тому вивчення їх закономірностей є необхідним для обґрунтування способів переробки фруктової сировини, що зменшуватимуть їх негативний вплив [6; 7].

Мета дослідження: визначення компонентного складу пігментного комплексу та кольорових характеристик фруктової сировини, а також взаємозв'язку перетворення речовин пігментного комплексу під дією різних чинників зі зміною кольору вихідної сировини.

Викладення основних результатів дослідження. Поліфенольний комплекс фруктів, який формує колір сировини, представлений флавонолами та антоціанами. Проте на формування кольору впливають також безбарвні речовини лейкоантоціани та катехіни, оскільки характерною рисою цих сполук є легке окислення з утворенням забарвлених кінцевих продуктів реакції, які викликають потемніння (покоричневіння) готового продукту.

Об'єктами досліджень обрано зразки фруктів з різним компонентним складом флавоноїдів і кольором: світлозабарвлені (яблука), забарвлені у червоний колір (вишня), забарвлені у синьо-фіолетовий колір (слива).

Проведений аналіз за допомогою спектрофотометра водно-спиртових і гексанових екстрактів з фруктів дав змогу визначити кількісний склад пігментів. За результатами досліджень встановлено, що головними речовинами флавоноїдів яблук сорту Антонівка є лейкоантоціани та катехіни, барвні речовини — антоціани — відсутні, вміст хлорофілів і каротиноїдів складає 0,55 мг% та 0,53 мг% відповідно. Колір плодів вишні та сливи формується за рахунок антоціанів, їх вміст для вишні сорту Любська складає 1183,5 мг%, для сливи сорту Угорка — 1214,0 мг% відповідно. У плодах сливи також визначений вміст хлорофілів у кількості 1,54 мг% (табл. 1).

Таблиця 1. **Компоненти пігментного комплексу фруктів** (S_r = 0,05, n = 5, p = 0,95)

Вміст речовин пігментного комплексу, мг%	Яблука сорту Антонівка	Вишня сорту Любська	Слива сорту Угорка
Антоціани	—	1 183,5	1 214,0
Лейкоантоціани	255,2	437,9	521,5
Катехіни	168,1	84,6	152,1
Флавоноли (у перерахунку на кверцетин)	9,4	29,7	62,6
Хлорофіли	0,55	відс.	1,54
Каротиноїди	0,53	0,21	≤ 0,10

З метою визначення кольорових характеристик зразків фруктової сировини були отримані спектральні коефіцієнти відбиття R_f, за якими за допомогою математичної обробки визначали характеристики кольору в триколориметричній системі координат. Результати показали, що домінуюча довжина хвилі ($\lambda_{дом}$, нм) характеризує жовто-зелений колір зразків яблук і червоний колір плодів вишні. Визначені триколірні координати x, y, z для зразків яблук за значеннями близькі між собою, що вказує на приближення кольору до білого. На це вказує також і низьке значення чистоти кольору P = 17,3±0,5%, оскільки найбільшою чистотою кольору характеризуються монохроматичні кольори, ахроматичні кольори мають значно нижчі значення параметра P, які наближаються до нуля.

Таким чином, колір зразка відноситься до ахроматичного білого із слабо вираженим жовтим відтінком. Для вишні значення параметра P = 77,5±2,3% вказує на суттєвий внесок червоної складової у загальний колір і відповідає

візуальній оцінці. Для зразків сливи основною складовою кольору за цим параметром (P = 63,3%) також є червона.

Отже, склад поліфенольного комплексу досліджених плодів суттєво впливає на їх природне забарвлення. Крім того, визначений зв'язок параметрів кольоровості зразків із візуальною оцінкою кольору (табл. 2).

Досліджено залежність кольору фруктової сировини від перетворення її пігментного комплексу під час переробки. На першому етапі експерименту подрібнені яблука витримували на повітрі при кімнатній температурі (20±2° С) протягом 60 хв, зміни порівнювали з вихідним зразком. Контролювали вміст поліфенольних речовин, зміну кольору зразків.

Таблиця 2. **Характеристики кольору дослідних зразків** (S_r = 0,05, n = 5, p = 0,95)

Дослідні зразки	Домінуюча довжина хвилі	Яскравість	Чистота кольору	Візуальна оцінка кольору зразків
	λ нм	T, %	P, %	
Сорт яблук Антонівка	515,3	56,9	17,3	Білий з кремовим відтінком
Сорт вишні Любська	630,7	39,4	77,5	Яскраво-червоний
Сорт сливи Угорка	606,3	37,8	63,3	Червоно-фіолетовий

Ферментативний процес окислювальних перетворень поліфенолів і різних їх форм відбувається з максимальною швидкістю вже у перші хвилини з моменту подрібнення плодів. У результаті проведеного експерименту встановлено, що активність окислювальних ферментів досить висока.

З визначених фракцій катехіни і лейкоантоціани — найбільш лабільні сполуки, кількість яких уже через 10 хв знизилося до 119,4 мг% та 135,8 мг% відповідно, через 20 хв — до 51,8 мг% та 88,3 мг% відповідно, при подальшому витримуванні вони вже не визначаються. При цьому відзначено також зниження вмісту флавонолів з 8,1 мг% до 4,8 мг% через 10 хв та 60 хв відповідно (рис. 1).

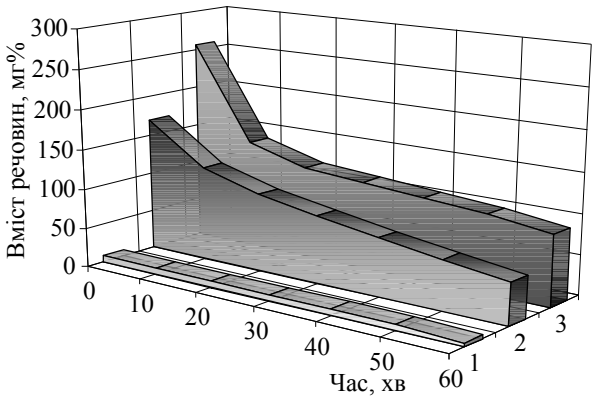

Рис. 1. Вміст речовин поліфенольного комплексу яблук залежно від часу витримування при температурі 20±2° С: 1 — флавоноли, 2 — катехіни, 3 — лейкоантоціани

Поряд з окисленням поліфенольних речовин спостерігалося швидке покоричневіння м'якоті плодів. Найбільша зміна забарвлення помітна через

30...60 хв по всій масі подрібнених яблук. Цей факт пояснюється тим, що первинні продукти окислення поліфенолів мають незначне забарвлення, що підсилюється в міру утворення більш окислених флобафенів.

Отримані спектри відбиття зразків яблук і розраховані характеристики кольору дослідних зразків показали, що окислення призводить до зсуву домінуючої довжини хвилі до 581…585 нм порівняно із контролем, чистота кольору зразка після 30 хв витримування становить 26,1 % завдяки появі жовтого кольору, після 60 хв витримування зменшується до 10,5% за рахунок насиченого коричневого відтінку (рис. 2). Таким чином, за зміною забарвлення подрібненої маси плодів яблук під дією повітря можна визначити глибину ферментативних і неферментативних процесів перетворення поліфенолів.

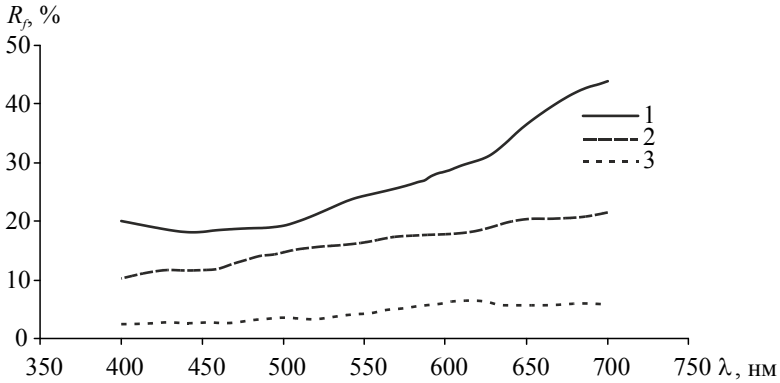

Рис. 2. Спектри відбиття зразків яблук: 1 — контроль; 2 — витримування при температурі 20±2° С протягом 30 хв; 3 — витримування при температурі 20±2° С протягом 20 хв

Досліджено вплив температури на вміст поліфенольних речовин та зміну кольору зразків. Із досліджених фракцій найбільш глибоким перетворенням піддаються катехіни — зменшення вмісту при 40° С відбувається приблизно у 150 разів, при цьому лейкоантоціанів — у 12 разів, флавонолів — у 1,5 раза. Це пояснюється ферментативним окисленням поліфенольних сполук, що відбувається вже у перші хвилини. При цьому найкращим субстратом для ферментів є катехіни.

Розраховані кольорові характеристики дали змогу встановити, що дія температури на зразки яблук викликає поступовий зсув домінуючої довжини хвилі у червону область спектра порівняно із контрольним зразком з 515,3 нм до 610,4 нм, що характеризує покоричневіння подрібнених яблук (табл. 3).

Таблиця 3. **Характеристики кольору дослідних зразків яблук** (S_r = 0,05, n = 5, p = 0,95)

Умови обробки		$\lambda_{дом}$, нм	T, %	P, %	Візуальна оцінка кольору дослідних зразків
t, °С	τ, хв				
1	2	3	4	5	6
Без обробки (контроль)		515,3	56,6	17,3	Білий з кремовим відтінком
40	20	575,2	47,0	39,8	Світлий жовто-коричневий
	30	582,6	40,1	44,2	Жовтий з коричневим відтінком

Продовження табл. 3.

1	2	3	4	5	6
80	20	587,5	38,2	47,1	Жовто-коричневий
	30	598,6	33,1	22,8	Коричневий
100	20	603,2	31,3	21,1	Коричневий
	30	610,4	29,7	12,0	Коричневий

Температура 40° С викликає зменшення яскравості (*T*, %) до 47,1…40,1% залежно від терміну дії, чистота кольору (*P*, %) збільшується за рахунок появи хроматичного кольору — жовтого. Підвищення температури і терміну її дії призводить до поступового зменшення параметра Р до 12,0% за рахунок забарвлення зразків у коричневий (ахроматичний) колір за візуальною оцінкою.

Таким чином, отримані кількісні характеристики суттєво полегшують оцінку кольору дослідних зразків яблук у процесі їх переробки.

Поліфенольний комплекс, що формує колір плодів вишні та сливи, достатньо складний, як свідчать літературні джерела та підтверджено нашими дослідами. Але в основному це — антоціани, саме вони надають плодам та продуктам переробки вишні і сливи червоний колір різної інтенсивності.

Проведений аналіз технологій переробки вишні та сливи показав, що основними операціями, що формують якість готових продуктів, є очищення від кісточок, теплова обробка, протирання (для пюре, паст), Тому завдання полягає в тому, щоб вивчити вплив теплової обробки на колір плодів вишні та сливи.

Проведена теплова обробка плодів вишні (без кісточок) при температурі 80° С і 100° С. Вказані температури були обрані з тих міркувань, що вони є переважними при виготовленні продукції з вишні. Термічну обробку проводили протягом 10 хв, 20 хв, 30 хв. Як свідчать отримані дані, вміст антоціанів при температурі 80°С протягом 30 хв зменшився на 40,4%, а у зразках, що витримувалися при 100° С протягом того ж часу, — на 53,2%. Ще більшому руйнуванню піддалися лейкоантоціани і катехіни — вміст у зразках після теплової обробки при 100° С зменшився на 77,3% і 96,2% відповідно (табл. 4).

Довготривала теплова дія (60 хв) повністю руйнує катехіни і лейкоантоціани — вони не визначилися у цих зразках. Також практично повністю руйнуються антоціани. Тому колір зразків змінився на коричневий з червоним відтінком унаслідок накопичення темних продуктів окислення природних барвників.

Таблиця 4. **Вміст флавоноїдів у зразках вишні залежно від параметрів обробки** (S_r = 0,05, n = 5, p = 0,95)

Параметри		Вміст флавоноїдів у зразках вишні, мг%			
Температура, °С	Тривалість, хв	Антоціани	Лейко-антоціани	Катехіни	Флавоноли
Контроль	—	1183,5	437,9	84,6	29,7
80° С	10	1247,1	334,8	67,3	26,0
	20	1043,9	218,5	45,0	24,8
	30	705,4	115,0	20,1	21,1
100° С	10	1091,0	270,5	51,5	25,0
	20	890,5	173,6	17,0	22,7
	30	554,2	99,4	3,2	18,9

Визначені характеристики кольору зразків свідчать, що підвищення температури та збільшення терміну її дії змінюють показники домінуючої довжини хвилі від 630,7 нм для контролю до 695,7 нм для зразка, що оброблявся при 100° С протягом 60 хв. Чистота кольору з часом зменшується від 77,5% для контролю до 58,8% для зразка, що оброблявся при 100° С протягом 10 хв, і до 23,3% для зразка, що оброблявся при 100° С протягом 60 хв. Яскравість зразка порівнянно з контролем після підвищення терміну дії температури зменшилася більше, ніж у 2 рази. Таким чином, отримані кольорові показники характеризують динаміку кольору плодів вишні під час термічної обробки.

Аналогічні результати отримані для плодів сливи: під дією температури у зразках сливи спочатку відбувається активний перебіг процесів окислення антоціанових пігментів, що призводить з часом до накопиченням жовтих проміжних продуктів реакції меланоїдиноутворення, однак після тривалої термічної обробки відбувається накопичення кінцевих продуктів руйнування пігментів сливи коричневого кольору.

Дослідження впливу температури на поліфенольний комплекс плодів сливи дали змогу встановити, що при температурі 20° С вміст флавоноїдів змінюється повільно. В цьому інтервалі температур значну роль відіграють ферментативні процеси, що відбуваються у рослинній тканині при її порушенні. При температурі 60° С спостерігається збільшення вмісту флавоноїдів порівняно із 40° С. За більш високих температур, що є вищими за 60° С, концентрація катехінів і лейкоантоціанів зменшується в середньому в два рази, антоціанів — у 1,3 раза. Це обумовлено перебігом неферментативних процесів, оскільки в цьому діапазоні температур ферменти, що мають протеїнову природу, інактивуються, а швидкість хімічних реакцій із зростанням температур різко зростає. При цьому антоціани більш стійкі до дії температур, ніж лейкоантоціани та катехіни.

Розраховані кольорові характеристики показали, що дія температури призводить до зміни домінуючої довжини хвилі протягом 40 хв порівняно з контролем. Незважаючи на той факт, що всі зразки сливи візуально є досить темними, з низькими значення *X*, *Y*, *Z*, їх спектральна яскравість залишається досить високою: 37,8…40,8%, проте після 40 хв обробки яскравість склала всього 15,8%. Із збільшенням тривалості обробки чистота кольору зразків сливи зменшилася з 85,1% до 21,7%.

Таким чином, отримані характеристики добре узгоджуються між собою і характеризують у цілому колір плодів сливи. Візуальна оцінка кольору отриманих зразків також узгоджується з кольоровими характеристиками, які було отримано інструментальним методом.

Висновки

За проведеними експериментальними дослідженнями встановлено якісний і кількісний склад пігментного комплексу, який формує колір яблук, вишні та сливи залежно від сортових і видових особливостей, а також отримано комплекс кольоропараметричних характеристик фруктової сировини.

Встановлено закономірності трансформації речовин пігментного комплексу під дією різних чинників зі зміною кольору рослинної сировини.

Отримані результати показали, що інструментально визначені хроматичні характеристики дають змогу встановити домінуючий тон, а чистота кольору визначає ступінь покоричневіння зразків. Отримані хроматичні характеристики для різних фруктів збігаються з візуальною оцінкою кольору, тому вказаний спектральний метод можливо використати для визначення кольору рослинної сировини з різним пігментним комплексом, а також ступеня його перетворення під дією різних чинників.

Література

1. *Алешина И.В.* Поведение потребителей / И.В. Алешина. — Москва : Наука, 1999. — 376 с.

2. *Джадд Д.* Цвет в науке и технике / Д. Джадд, Г. Вышецки. — Москва : Мир, 1978. — 690 с.

3. *Schwartz S.J.* Chlorophylls in foods / S.J. Schwartz // CRC Food Sci. Nutr. — 1990. — Vol. 29. — P. 1—17.

4. *Sulaeman A.* Carotenoid content, physicochemical, and sensory qualities of deep-fried carrot chips as affected by dehydration/rehydration, antioxidant, and fermentation / A. Sulaeman, L. Keeler, S. Taylor // J. Agric. Food Chem. — 2001. — Vol. 49. — P. 3253—3260.

5. *Delgado-Vargas F.* Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains: Characteristics, biosynthesis, processing, and stability / F. Delgado-Vargas // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. — 2000. — Vol. 40. — P. 173—179.

6. *Hutchings J.* Colour, appearance, expectations and the food industry / J. Hutchings // Trends in Food Sci. and Technol. — 2002. — Vol. 11. — P. 340—346.

7. *Harborne J.B.* Advances in Flavonoid Research Since 1992 / J.B. Harborne // Phytochemistry. — 2000. — Vol. 55. — P. 481—504.