

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ХЛОРОФІЛІВ У ПЛОДАХ CAPSICUM ANNUUM L. РІЗНОЇ СТИГЛОСТІ

Ю. Бойко

Одеський державний аграрний університет

Хімічний склад плодів *Capsicum annuum* L. динамічна змінюється протягом процесу дозрівання. На останніх стадіях дозрівання відбувається зменшення кількості хлорофілів та збільшення кількості каротиноїдів. Метою роботи було дослідження вмісту хлорофілів на різних стадіях зрілості плодів перцю. Вміст хлорофілів визначали у сухій плодовій м'якоті спектрофотометричним методом. Було встановлено, що найбільша кількість хлорофілів міститься у плодах перцю на зеленій стадії стиглості (2560-3438 мкг/г). З втратою зеленого кольору плодами, вміст хлорофілів прогресивно падає. Хлорофіли починають зникати на оранжевій стадії стиглості та повністю біодеградують на червоній стадії стиглості.

Ключові слова: *Capsicum annuum* L., хлорофіл.

Постановка проблеми. *Capsicum annuum* L. або перець однолітній (гіркий) є однією з поширених сільськогосподарських культур, що вирощується в умовах Південного Причорномр'я завдяки оптимальним агробіотехнологічним та кліматичним умовам, що склалися у цьому регіоні. Плоди гіркої перцю мають багатокомпонентний хімічний склад та вміщують різні класи біологічно активних сполук. Серед них найбільш значущими є каротиноїди [1], капсаїциноїди [2], флавоноїди [3], органічні кислоти [4], глікозиди [5], вітаміни [Ошибка! Закладка не определена., 6], хлорофіли [7]. Біохімічний склад плодів *Capsicum annuum* L. не є сталим та залежить від багатьох умов [8], у тому числі від ступеня стиглості [9]. Під час дозрівання у плодах перцю відбуваються динамічні біохімічні перетворення, що призводять до складних змін у концентраціях каротиноїдів та хлорофілів [Ошибка! Закладка не определена.]. При активному рості плодів їх зелений колір обумовлений великою кількістю хлорофілів, які поступово замінюються на каротиноїди, це призводить до змін забарвлення плодової м'якоті на жовтий, оранжевий, а потім червоний. Поступова біодеградація хлорофілів відбувається в три основні стадії та обумовлена наступними ферментами: хлорофілаза, Mg-дехелеказа та феофорбід-а-оксигеназа-2 [10]. Загальна схема цього процесу наведена на рис. 1.

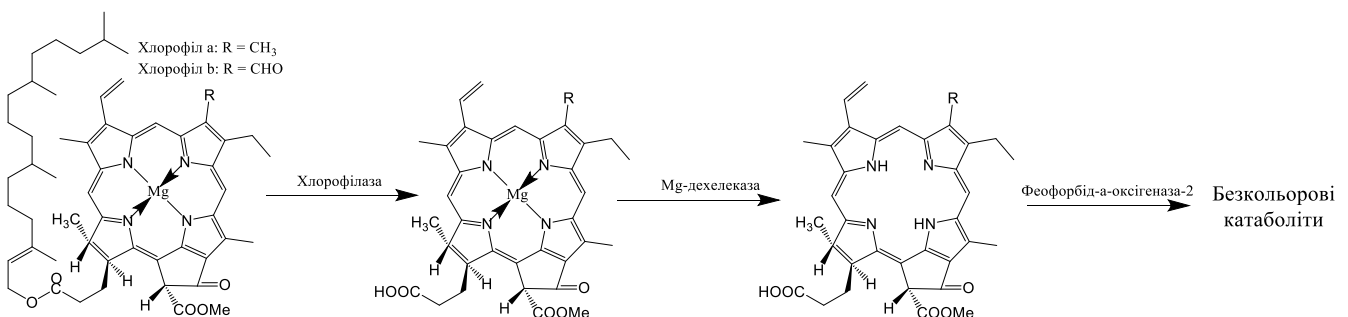


Рис. 1. Схема біодеградації хлорофілів з утворенням безбарвних метаболітів.

Подібні перетворення хлорофілів під час дозрівання пов'язані з диференціюванням хлоропластів та протопластів у хромопласти та посиленням процесів каротиногенезу [11]. Хлорофілаза та Mg-дехелеказа є мембранопов'язаними конституційними ферментами, але завдяки особливостям свого розташування на внутрішній мембрані хлоропластів вони залишаються неактивними більшу частину періоду дозрівання плодів.

Особливості динаміки змін вмісту хлорофілів та каротиноїдів має значення також з точки зору харчової хімії. Підвищення кількості каротиноїдів, які є потужними антиоксидантами та, у випадку бета-каротину, попередниками вітаміну А, збільшує харчову цінність плодів перцю.

Метою цієї роботи було визначення вмісту хлорофілів у різні періоди стиглості плодів *Capsicum annuum* L.

Матеріали та методи. Рослинна сировина. У якості рослинної сировини були використанні плоди *Capsicum annuum* L. врожаю 2019 року чотирьох сортів: Український гіркий, Харківський гіркий, Астраханський, Харуз. Плоди збирались у різні періоди стиглості – зелений, жовтий (світло-бурий), оранжевий (темно-бурий) та червоний. Весь рослинний матеріал був отриманий з приватного фермерського господарства, де він вирощувався з сортового сім'яного матеріалу.

Підготовка проб. Для дослідження використовували висушені до постійної ваги, сухі плоди *Capsicum annuum* L.. Плоди розділяли на частини та відділяли насіння та сім'яну плаценту від плодової м'якоти. Після чого плодову м'якоть подрібнювали до розміру часток 1-2 мм.

Визначення вмісту хлорофілів. 2 г подрібненої плодової м'якоти переносили до фарфорової ступки та розтирали з додаванням 0,2 г карбонату кальцію. Отриманий гомогенат переносили до колби та заливали 50 мл 96° етилового спирту. Суміш поміщали на магнітну мішалку на 2 години у темне місце для екстрагування при кімнатній температурі. Надалі рідку частину зливали, а осад заливали новою порцією спирту. Операцію повторювали декілька разів, поки не отримували безколірний надосадовий розчин. Усі отримані екстракти зливали, після чого з загальної суміші відбирали 1 мл та додавали до нього ще 9 мл 96° етилового спирту. Оптичну щільність кінцевого розчину вимірювали на спектрофотометрі КФК-3 при довжині хвилі $\lambda = 665$ нм та $\lambda = 649$ нм, у кварцових кюветах, товщина оптичного шару 10 мм.

Розрахунок концентрації хлорофілів у розчинах проводили за наступними формулами:

$$C_{\text{хл-а}} = 13,70 \times D_{665} - 5,76 \times D_{649}$$

$$C_{\text{хл-б}} = 25,80 \times D_{649} - 7,60 \times D_{665}$$

Де, $C_{\text{хл-а}}$ – концентрація хлорофілу а, мг/л; $C_{\text{хл-б}}$ – концентрація хлорофілу б, мг/л; D_{665} – оптична щільність розчину при $\lambda = 665$ нм; D_{649} – оптична щільність розчину при $\lambda = 649$ нм.

Розрахунок вмісту хлорофілів у рослинній сировині проводили за наступною формулою:

$$C = \frac{C_{\text{хл}} \times V_1 \times V_2 \times 1000}{m \times V_3 \times 1000}$$

Де, C – вміст відповідного каротиноїду у 1 г плодової м'якоти, мкг; $C_{\text{хл}}$ – концентрація відповідного хлорофілу (а чи б), мг/л; V_1 – загальний об'єм екстракційного розчину, мл; V_2 – загальний об'єм розчину для фотометрії, мл; V_3 – об'єм аліквоти для фотометрії, мл; m – маса навіски плодової м'якоти для екстрагування, г.

Статистичний аналіз. Статистичні розрахунки проводили з обчисленням середньої арифметичної та похибки середньої арифметичної. Усі дослідження повторювали тричі. Для розрахунків використовували програмний пакет MS Office Excel.

Результати та обговорення. Кількісні показники вмісту хлорофілів у плодах гіркого перцю різної стиглості наведені у табл. 1.

Таблиця. 1. **Вміст хлорофілу а та б у сухої плодової м'якоти *Capsicum annuum* L. різних сортів, у чотирьох стадіях стиглості, мкг / 1 г сухої плодової м'якоти.**

Сорт перцю	Вид хлорофілу	Вміст хлорофілу на зеленої стадії стиглості, мкг/г	Вміст хлорофілу на жовтої стадії стиглості, мкг/г	Вміст хлорофілу на оранжевої стадії стиглості, мкг/г	Вміст хлорофілу на червоної стадії стиглості, мкг/г
Харуз	Хлорофіл а	1725 ± 15,9	594 ± 12,5	37 ± 2,9	0
	Хлорофіл б	835 ± 14,5	237 ± 9,1	19 ± 2,7	0
Астраханський	Хлорофіл а	2167 ± 19,8	713 ± 15,5	80 ± 5,0	0
	Хлорофіл б	1271 ± 17,0	328 ± 14,9	33 ± 3,6	0
Український гіркий	Хлорофіл а	1873 ± 6,6	766 ± 10,1	12 ± 2,5	0
	Хлорофіл б	1424 ± 13,1	392 ± 17,7	8 ± 1,6	0
Харківський гіркий	Хлорофіл а	1835 ± 7,5	454 ± 14,6	0	0
	Хлорофіл б	978 ± 10,8	272 ± 9,7	0	0

Найбільша загальна кількість хлорофілів на зеленої стадії стиглості плодів була зафіксована для сорту Астраханський (3438 мкг/г), найменша – для сорту Харуз (2560 мкг/г). Для жовтої стадії стиглості характерно зменшення вмісту хлорофілів у 2-4 рази у порівнянні з зеленою стадією. Вміст хлорофілів на оранжевої стадії стиглості досить не значиний, відбувається зменшення загальної кількості хлорофілів у 10-50 разів у порівнянні з жовтою стадією. На червоної стадії стиглості хлорофіли не були знайдені у плодах в жодному з досліджених сортів *Capsicum annuum* L.

Ріст плоду з накопиченням ваги пов'язаний з енергоємними біохімічними процесами, які активно використовують фотосинтез. Це пояснює, чому під час росту плоди мають зелений колір, який не змінюється до моменту досягання технічної зрілості. Зупинка подальшого збільшення ваги призводить і до пігментних змін, хлорофіли починають замінюватися на інші пігменти, наприклад, каротиноїди. Під час цих процесів відбувається біологічне дозрівання.

Слід відмітити, що вказані метаболічні зміни є характерними лише для червоних сортів *Capsicum annuum* L. У випадку зелених сортів, наприклад мексиканського Jalapeno [12], хлорофіли можуть зберігатися на всіх стадіях стиглості.

Висновки. 1. Переважаючою формою хлорофілу у плодах *Capsicum annuum* L. є хлорофіл а, якого в декілька разів більше ніж хлорофілу b.

2. В досліджених сортах перцю відбувається біодеградація хлорофільних пігментів, що призводить до їх повного зникання на оранжевої/червоної стадії стиглості.

3. Червона стадія стиглості відповідає біологічній стиглості та є оптимальною для збору плодів *Capsicum annuum* L.

Список використаних джерел

1. Tundis, R., Loizzo, M. R., Menichini, F., Bonesi, M., Conforti, F., Statti, G., ... & Menichini, F. (2011). Comparative study on the chemical composition, antioxidant properties and hypoglycaemic activities of two *Capsicum annuum* L. cultivars (*Acuminatum* small and *Cerasiferum*). *Plant foods for human nutrition*, 66(3), 261 <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0248-y>
2. Wesolowska, A., Jadczyk, D., & Grzeszczuk, M. (2011). Chemical composition of the pepper fruit extracts of hot cultivars *Capsicum annuum* L. *Acta Sci Pol Hortorum Cultus*, 10(1), 171-184
3. Lee, Y., Howard, L. R., & Villalon, B. (1995). Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Journal of Food Science*, 60(3), 473-476 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb09806.x>
4. López-Hernández, J., Oruña-Concha, M. J., Simal-Lozano, J., Vázquez-Blanco, M. E., & González-Castro, M. J. (1996). Chemical composition of Padrón peppers (*Capsicum annuum* L.) grown in Galicia (NW Spain). *Food Chemistry*, 57(4), 557-559 [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00191-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00191-4)
5. Iorizzi, M., Lanzotti, V., De Marino, S., Zollo, F., Blanco-Molina, M., Macho, A., & Munoz, E. (2001). New glycosides from *Capsicum annuum* L. var. *acuminatum*. Isolation, structure determination, and biological activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(4), 2022-2029 <https://doi.org/10.1021/jf0013454>
6. Olatunji, T. L., & Afolayan, A. J. (2020). Comparison of nutritional, antioxidant vitamins and capsaicin contents in *Capsicum annuum* and *C. frutescens*. *International Journal of Vegetable Science*, 26(2), 190-207 <https://doi.org/10.1080/19315260.2019.1629519>
7. Hornero-Méndez, D., & Mínguez-Mosquera, M. I. (2002). Chlorophyll disappearance and chlorophyllase activity during ripening of *Capsicum annuum* L fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(13), 1564-1570 <https://doi.org/10.1002/jsfa.1231>
8. Aliu, S. A., Rusinovci, I., Fetahu, S., Kaçiu, S., & Zeka, D. (2017). Assessment of morphological variability and chemical composition of some local pepper (*Capsicum annuum* L.) populations on the area of Kosovo. *Acta agriculturae Slovenica*, 109(2), 205-213 <http://dx.doi.org/10.14720/aas.2017.109.2.05>

9. Roca, M., & Mínguez-Mosquera, M. I. (2006). Chlorophyll catabolism pathway in fruits of *Capsicum annuum* (L.): stay-green versus red fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(11), 4035-4040 <https://doi.org/10.1021/jf060213t>

10. Vicentini, F., Hörtensteiner, S., Schellenberg, M., Thomas, H., & Matile, P. (1995). Chlorophyll breakdown in senescent leaves identification of the biochemical lesion in a stay-green genotype of *Festuca pratensis* Huds. *New Phytologist*, 129(2), 247-252 <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1995.tb04294.x>

11. Mínguez-Mosquera, M. I., & Hornero-Mendez, D. (1994). Formation and transformation of pigments during the fruit ripening of *Capsicum annuum* cv. Bola and Agridulce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(1), 38-44 <https://doi.org/10.1021/jf00037a005>

12. Weisenfelder, A. E., Huffman, V. L., VILLALON, B., & Burns, E. E. (1978). Quality and processing attributes of selected jalapeno pepper cultivars. *Journal of Food Science*, 43(3), 885-887 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1978.tb02447.x>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛОВ В ПЛОДАХ *CAPSICUM ANNUUM* L. РАЗНОЙ СПЕЛОСТИ

Бойко Ю.

Химический состав плодов Capsicum annuum L. динамически меняется в течение процесса созревания. На последних стадиях созревания происходит уменьшение количества хлорофиллов и увеличение количества каротиноидов. Целью работы было исследование содержания хлорофиллов на разных стадиях зрелости плодов перца. Содержание хлорофиллов определяли в сухой плодовой мякоти спектрофотометрическим методом. Было установлено, что наибольшее количество хлорофиллов содержится в плодах перца на зеленой стадии спелости (2560-3438 мкг/г). С потерей зеленого цвета плодами, содержание хлорофиллов прогрессивно падает. Хлорофиллы начинают исчезать на оранжевой стадии зрелости и полностью биodeградируют на красной стадии спелости.

Ключевые слова: *Capsicum annuum L.*, хлорофилл.

DETERMINATION OF CHLOROPHYLLS CONTENT IN *CAPSICUM ANNUUM* L. FRUITS DIFFERENCE RIPENESS

Boiko Yu.

Depending on the ripening stage, the chemical composition of the Capsicum annuum L. fruit changes. Depending on the ripening stage, the chemical composition of the pepper fruit changes. There are dynamic changes in the concentrations of sugars, carboxylic acids, capsaicinoids, chlorophylls, carotenoids. The chlorophyll content is greatest in the green stages of ripeness. After the fruit has lost its green color, chlorophylls are replaced by carotenoids. The aim of this work was to determine the content of chlorophylls at different stages of maturity of pepper fruits. The chlorophyll content was investigated in dry fruit pulp. The quantitative determination of chlorophylls was carried out photometrically by the optical density of the colored extracts. We found that the highest chlorophyll content was observed in the green stage of ripeness. The concentration of chlorophylls in the Astrakhansky pepper variety was 3438 µg / g. In the yellow stage of maturity, the chlorophyll content decreased by 2-4 times. At the orange stage of maturity, residual amounts of chlorophylls were determined in the samples. In the red stage of ripeness, chlorophylls completely disappeared. As a result of the work, it can be concluded that the optimal time for picking pepper fruits is the red stage of ripeness.

Key words: *Capsicum annuum L.*, chlorophylls.