



SPECIFIC OF THE ASSIMILATION SURFACE OF COLUMNAR APPLE-TREE

Havryliuk Oleksandr*, Kondratenko Tetiana

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: 2. 10. 2019

Revised: 3. 11. 2019

Published: 28. 11. 2019

The aim of this study was to determine the anatomical structure of leaves and clean productivity of photosynthesis (CPP) of assimilation surface plants of different originally columned cultivars of an apple-tree in the conditions of Forest-Steppe of Ukraine. The objects of research served seven columnar cultivars in plantings of primary varietal apple. According to the results of the study, the leaves of all varieties grown in the Kyiv region are found to contain three layers of palisade fabric, the thickness of which varied by cultivar. Much less control (cv. Bolero) it was the Favorite, the Tantsivnytsia, the President, the largest – in the leaves of the cultivar Bilosnizhka (124.1 microns). The ratio of palisade tissue to spongy was 1.13–1.24. The varietal difference in parameters was detected the assimilation surface and its main parameters are revealed photosynthetic activity. The highest level of clean productivity of photosynthesis leaves is observed in plants of the currency Valiuta, Bilosnizhka and Favorite – 9.1–13.9 g/m² per day. In the Bolero, Sparta and Tantsivnytsia cultivars, the rate of dry matter accumulation is slightly lower (8.3–8.7 g/m²). The specificity of complex fruit formations of trees of the studied cultivars varied depending on age sections of the trunk. A comprehensive assessment of the morphophysiological components was found to be investigated varieties differ in potential productivity and efficiency of its realization in economic harvest.

Keywords: columnar apple-tree, cultivars, anatomical structure of leaves, leaf area, clean productivity of photosynthesis

Вступ

Листок яблуні є основним асимілюючим органом рослини, в якому утворюються органічні речовини, що слугують структурно-енергетичним матеріалом для всього організму (Blanco and Folegatti, 2003; Fedoryako, 2004). Пластинчаста форма листка забезпечує найбільшу поверхню на одиницю об'єму тканин, що створює найліпші умови для повітряного живлення. Площа окремого листа і загальна листкова поверхня рослини дозволяють оцінити її фотосинтетичний потенціал і функціональну активність. Крім цього, листок володіє найбільшими пристосовними властивостями

*Corresponding author: Oleksandr Havryliuk, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony 15, 03041 Kyiv, Ukraine
✉ oleksandr.havryljuk@gmail.com

до умов навколишнього середовища, що виражається в зміні площі асиміляційної поверхні рослини в залежності від факторів довкілля (Schulze et al., 2005; Gibson and Gibson, 2006; Valk, 2009). Продуктивність окремої рослини і всього агроценозу визначається інтенсивністю і продуктивністю фотосинтезу, а також загальною площею листя. Останнє має великий вплив на загальний рівень фотосинтезу у рослин та їхню врожайність.

Найвищі врожаї, відповідно до теорії фотосинтетичної продуктивності рослин, можуть бути отримані при інтенсивному збільшенні площі листя. На прикладі різних сільськогосподарських культур переконливо доведено, що формування листкової поверхні як нижче, так і вище певного фізіологічного оптимуму, негативно позначається на продуктивності вирощуваних рослин. В цілому для рослини кількість поглиненої листям сонячної радіації зростає пропорційно збільшенню листкової поверхні лише до певної межі. На думку Nichiporovich (1956; 1961), площа листя агроценозів може досягати 40–50 тис.м²/га; подальше збільшення її не призводить до підвищення продуктивності. Для насаджень яблуні з великими кронами оптимум визначено в розмірі 37–45 тис.м² листя на 1 га (Ursulenko, 1967). Ряд дослідників пропонує підтримувати листковий покрив у насадженнях яблуні на рівні 35–40 тис.м²/га і навіть 40–50 тис.м²/га (Lukyanov, 1969). За проєктованої врожайності в 50 т плодів теоретично обґрунтована площа листя складе 50 тис м²/га, тому що для садів з округлою кроною багатьма дослідниками вважається оптимальним навантаження 1кг плодів на 1м² листя (Kudryavets and Drugova, 1976). За надмірної кількості листя в кронах погіршується світловий режим, що знижує продуктивність фотосинтезу. Тому окремі вчені вважають, що збільшення листкової поверхні в яблуневих садах понад 20–25 тис.м²/га є недоцільним (Friend and Helson, 1976; Devyatov, 1981). Від загальної площі листя та їх активної діяльності залежить диференціація генеративних бруньок, ріст плодів. Тому співвідношення між площею листків на дереві і масою утворених плодів повинне бути оптимальним; останнє залежить від типу насаджень і підщепи.

Листя забезпечує синтез органічних речовин, які витрачаються на ріст і формування врожаю, а також накопичення пластичних речовин під урожай наступного року (Kudryavets, 1984). Це стає можливим, якщо в кроні дерева на один плід припадає 15–25 листків (Khromenko, 2000). Збалансоване співвідношення між процесами росту і плодоношення у яблуні відзначається за наявності в кроні не більше 20 % (від числа, що розпустилися) квіткових бруньок (Кагров, 1983). За деякими даними, величина цього показника повинна становити 30–35 %. У дослідях Khromenko (1986) для отримання максимальної маси одного плоду було досить 300 см² листкової поверхні, але ці листки не забезпечували закладання квіткових бруньок, а площа листя в 540–600 см² на плід сприяла його нормальному розвитку і закладанню 17 % квіткових бруньок. Рекомендована площа листя в 20–25 тис.м²/га при навантаженні 600 см² листкової поверхні на плід може забезпечити врожайність до 40–60 т/га.

За даними Ovsyannikov (1983), при використанні 50 % асимілятив на врожай для формування плоду масою 100г потрібно 340–504 см² листкової поверхні. Аналогічні

результати наводяться і в інших працях (Fisenko and Sabadan, 1999; Khromenko, 2000). Таким чином, розвиток оптимальної для кожного агроценозу площі листя з високою асиміляційною здатністю є одним з основних чинників його високої продуктивності, і управління цим процесом за допомогою агроприйомів може слугувати основою підвищення врожайності.

Встановлено, що у звичайних сортів яблуні на кількість плодів, що зав'язалися (початок X-го етапу органогенезу), впливає і є визначальним фактором площа листя на плодovому утворенні під суцвіттям. За повідомленнями Buntsevych (2008), зі збільшенням листкової площі під суцвіттям в умовах, що виключають адитивність, кількість зав'язуваних плодів збільшується: кільцівки із листковою поверхнею 21 см² залишаються без зав'язі, із площею листя 28 см² зав'язують один-два плодики, пагони з 34 см² листя зав'язують три і більше плодики. В роки високого врожаю у звичайних сортів яблуні, за інформацією Fisenko (2004), площа листкової поверхні значно зменшується, а виробництво плодів на 1м² листя досягає 3,7–4,4 кг. Подібної інформації по колоноподібних сортах на даний час немає.

Метою наших досліджень є визначення анатомічної структури листків, площі та чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) асиміляційної поверхні рослин різних за походженням колоноподібних сортів яблуні в умовах Лісостепу України.

Матеріали і методи дослідження

Об'єкти досліджень

Дослідження проводили у відділі селекції плодovих і ягідних культур Інституту садівництва НААН України (ІС НААН). Об'єктами дослідження слугували сім сортів яблуні колоноподібного типу в незрошуваних насадженнях яблуні, які закладено на Київщині в 2002 (Болеро, Спарта, Танцівниця) та 2010 рр. (Фаворит, Білосніжка, Валюта, Президент) згідно методики первинного сортовипробування. Деревя на середньорослій підщепі 54–118 висаджено за схемою 4 × 1 м. Ґрунт дослідної ділянки темно-сірий опідзолений середньосуглинковий на карбонатному лесі, типовий для правобережної частини західного Лісостепу. Система утримання ґрунту у міжряддях саду – дерново-перегнійна, у пристовбурних смугах – гербіцидний пар. Агротехнічний догляд за насадженнями проводили відповідно до зональних рекомендацій (Kondratenko et al., 1997).

Клімат регіону розташування досліджуваних рослин

Клімат регіону розташування насаджень досліджуваних сортів помірно-континентальний. Середньорічна температура повітря становить 7,3 °С, щорічна кількість опадів – 597 мм, сума активних температур 2 580 °С. В період дослідження погодні умови характеризувались сталістю. Термічний режим в цілому сприяв доброму росту й розвитку рослин. Сума активних температур 10 °С і вище істотно перевищувала середні багаторічні значення і становила 3 200 °С (2017 р.) і 3 681 °С (2018 р.). Умови зим 2016–2017 та 2017–2018 років були сприятливими для успішної перезимівлі

рослин. Річна кількість опадів становила 385,5 мм (2017) і 360,0 мм (2018). У 2017 році під час цвітіння спостерігались заморозки (мінус 2–4 °С), а наступного року на початку росту зав'язей – град.

Методики проведення досліджень

Фізіологічні дослідження включали в себе визначення площі листкової пластинки – ваговим методом з відбором висічок і подальшими розрахунками даного показника за методикою Fulga (1975); ЧПФ визначали методом Koshelev (1987); анатомічну структуру листкової пластинки досліджували за Khrzhanovsky (1989). Показники фотосинтетичної діяльності обраховували за формулами, запропонованими Ovsyannikov (1976) та Kudryavets (1987).

Аналіз даних

Експериментальні дані були статистично проаналізовані за допомогою програмного пакету Microsoft Excel.

Результати та їх обговорення

Анатомічна будова листків – це сортова ознака, яка також залежить від умов освітлення крони; останнє істотно впливає на асиміляційну спроможність сортів. Так, за Jackson (1970), потовщення палісадної паренхіми та збільшення кількості хлоропластів відбувається завдяки підвищенню освітленості листків.

Листки колоноподібних сортів яблуні темно-зелені, товсті, з довгими черешками, що є також характерним і для розповсюджених сортів із спуровим типом плодоношення. У листків рослин усіх досліджуваних сортів, вирощуваних в умовах оптимального освітлення крони, відмічено наявність трьох шарів основної асиміляційної тканини, в якій активно відбуваються процеси фотосинтезу. За оптимальних умов у сортів з добре розвинутою палісадною паренхімою, як доводить Dunstone (1973), накопичується більше сухої речовини в перерахунку на одиницю площі листка. Листки досліджуваних сортів різнились за товщиною палісадної тканини (Таблиця 1; $HP_{05} = 8,811$). Значно меншою щодо контролю вона була у сортів Фаворит, Танцівниця та Президент. Найбільшу товщину основної асиміляційної тканини відзначено в листків сорту Білосніжка, рослини якого формують листки з великими клітинами епідермісу. Особливістю палісадної паренхіми листків майже у всіх сортів є дуже щільне розміщення клітин у тканині.

Щодо губчастої хлоренхіми, в якій активно проходять процеси газообміну і транспірації та менш активно – фотосинтезу, дослідженнями було визначено, що її товщина у листках усіх сортів була в межах 90,13–109,06 мкм. Значно нижче контролю її товщина відмічена у сортів Фаворит, Танцівниця, Президент та Валюта ($HP_{05} = 6,948$).

Співвідношення товщини палісадної і губчастої паренхіми, що утворюють м'якоть листка, у сортів становило 1,13–1,24; найвищим воно було у листків сортів Фаворит, Валюта та Президент, але істотної відмінності між досліджуваними сортами не виявлено ($HP_{05} = 0,092$).

Таблиця 1 Біометричні показники анатомічної структури листкової пластинки колоноподібних сортів яблуні (ІС НААН, 2017–2018 рр.)

Table 1 Biometric indices of the anatomical structure of the leaf blade of columnar apple cultivars (ІН НААС, 2017–20018)

Сорт	Загальна товщина листка (мкм)	Товщина тканин листка, мкм				Відношення (палісадна/губчаста)
		губчаста	палісадна	епідерміс		
				верхній	нижній	
Президент*	229,82	91,90	110,58	14,01	11,87	1,21
Валюта*	241,08	96,73	118,26	13,21	10,33	1,23
Фаворит*	225,76	89,61	110,77	13,33	10,63	1,24
Білосніжка*	255,78	109,06	124,09	13,23	12,07	1,15
Танцівниця**	215,57	90,13	102,70	12,11	9,43	1,14
Спарта**	248,81	104,39	117,64	14,12	11,53	1,13
Болеро (К)**	251,86	104,60	121,55	13,65	11,83	1,16
НІР ₀₅	13,309	6,948	8,811	1,191	1,207	0,092

Примітка: * 7–8-річні дерева; ** 15–16-річні дерева

У цілому за період дослідження найбільшим розміром листкової пластинки на плодкових утвореннях характеризувалися дерева сорту Білосніжка та Фаворит, нижче контролю були листкові пластинки Танцівниці (Таблиця 2).

Таблиця 2 Характеристика листків дерев колоноподібних сортів яблуні на підщепі 54–118 (ІС НААН, 2017–2018 рр.)

Table 2 Characteristics of leaves of trees of columnar apple cultivars on rootstock 54–118 (ІН НААС, 2017–2018)

Сорт	Середня площа листкової пластинки (см ²)	Загальна листкова поверхня (м ² /дерево)	Загальна листкова поверхня (тис. м ² /га)	Площа листя (см ² /100 грам плоду)
Президент*	17,98	1,39	3,48	199,31
Валюта*	17,99	1,78	4,45	199,59
Фаворит*	20,34	1,98	4,94	743,20
Білосніжка*	25,55	2,08	5,21	795,12
Танцівниця**	13,40	0,45	1,12	75,63
Спарта**	18,83	2,30	5,76	580,67
Болеро (К)**	18,18	3,30	8,24	311,90
НІР ₀₅	1,462	0,295		

Примітка: * 7–8-річні дерева; ** 15–16-річні дерева

Площа загальної листкової поверхні на одному дереві була найбільшою у контрольного сорту Болеро (3,30 м²), найнижчою – у Танцівниці – 0,45 м². У перерахунку на гектар, за фактичною схемою садіння вона становила 1,12–8,24 тис.м² і була значно нижчою,

ніж у садах звичайних (традиційних) сортів яблуні. За оптимальної схеми садіння (2,5 + 0,9 × 0,5 м), запропонованою Всеросійським селекційно-технологічним інститутом садівництва і розсадництва (ВСТИСП) (Khromenko and Vorobyov, 2015), площа загальної листкової поверхні для досліджуваних сортів становитиме 6,62–48,53 тис.м²/га. У середньому за роки дослідження формування плоду масою 100 грам у сорту Білосніжка забезпечувала найбільша площа листкової поверхні – 795,12 см², що за Ovsyannikov (1976; 1983), на 37 % вище за потрібне для звичайних сортів. Нижчим за контроль даний показник є в сортів Танцівниця, Валюта та Президент. У дерев сорту Танцівниця, який є природним карликом, формування 100 грам плоду забезпечує в середньому 75,63 см² листкової поверхні, що відповідає 5–6 листкам. У сортів Валюта і Президент ріст і розвиток одного плоду в середньому відбувається за наявності 17 листків.

Облиствленість складних плодових утворень дерев досліджуваних сортів різнилась залежно від віку ділянки стовбура. Так, у яблунь сорту Танцівниця найбільшу площу листя мали 15-річні плодухи, в сорту Спарта – 19-річні. На деревах сорту Президент відмічено рівномірну облиствленість плодух на 4–9-річних ділянках стовбура.

Найвищий рівень ЧПФ листя спостерігався в рослин сорту Валюта (13,9 г/м².доба), у сортів Білосніжка, Фаворит, Болеро, Спарта і Танцівниця накопичення сухої речовини на 34,5–40,3 % нижче (Рисунок 1).

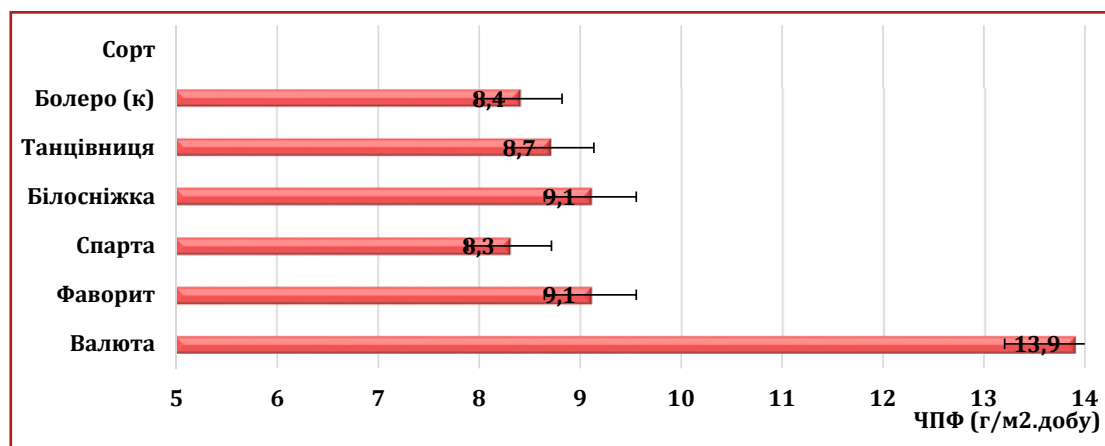


Рисунок 1 Рівень ЧПФ листків колоноподібних сортів яблуні

Figure 1 Level of clean productivity of photosynthesis of leaves of columnar apple cultivars

Порівнюючи ці дані з наведеними у науковій літературі про те, що чиста продуктивність фотосинтезу деяких сортів яблуні досягає 10–12 г сухої речовини на 1 м² листової поверхні за добу, а в середньому за вегетацію реальна ЧПФ не перевищує 40–50 % потенційної (4–6 г/м² за добу), відзначаємо, що рівень ЧПФ листя у колоноподібних сортів є високим. Сорти Білосніжка та Фаворит хоч і мають велику за площею листкову поверхню і листки з товстим шаром палісадної паренхіми, проте неефективно використовують біологічний потенціал у процесі формування плодів.

Результати дослідження показали, що велика маса плоду не завжди обумовлює високу врожайність. Так, у сорту Танцівниця за маси плоду 127 грам сформована порівняно висока врожайність – 7,2 кг/дер. У той же час, у сортів Спарта, Фаворит та Білосніжка маса плодів становила 176–228 грам, врожайність була нижчою на 57–82 %, ніж у сорту Болеро. Сорти Президент і Валюта формували плоди середнього розміру (146 і 152 г, відповідно), що дозволило одержати врожай на рівні 4,5–16,0 кг/дер. Урожайність досліджуваних колоноподібних сортів яблуні не залежала від походження: серед вітчизняних, а також інтродукованих було виділено сорти як з високою, так і низькою врожайністю.

Висновки

Серед досліджуваних об'єктів рослини сорту Білосніжка формують найтовщу листову пластинку і найбільший за висотою шар палісадної тканини; в сорту Танцівниця ці показники найменші. Товщина палісадної тканини листків різнилася за сортами. Співвідношення товщини палісадної і губчастої паренхіми становило 1,13–1,24, найвищим воно було в листків сортів Фаворит, Валюта та Президент. Загальна листова поверхня на одному дереві залежала від сорту. Формування плоду масою 100 грам в сорту Білосніжка забезпечує найбільша площа листової поверхні – 795,12 см²; нижча, відносно контролю – у сортів Танцівниця, Валюта та Президент. У дерев сорту Танцівниця формування 100 грам плоду забезпечує в середньому 75,63 см², що відповідає 5–6 листкам. У сортів Спарта, Фаворит та Білосніжка на формування одного плоду “працювали” 56–71, Болеро – 27, Валюта і Президент – 17 листків. Найбільший рівень ЧПФ спостерігався в листків сорту Валюта (13,9 г/м² добу). У сортів Білосніжка, Фаворит, Болеро, Спарта і Танцівниця накопичення сухої речовини суттєво не відрізнялось і дорівнювало 8,3–9,1 г/м² добу. Урожайність досліджуваних колоноподібних сортів яблуні не залежала від походження: серед вітчизняних, а також інтродукованих було виділено сорти як з високою, так і низькою врожайністю.

Література

- BLANCO, F.F., FOLEGATTI, M.V. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. In *Horticultura Brasileira*, vol. 21(4), p. 666–669.
- BUNTSEVYCH, L.L. 2008. *Biologicheskkiye osobennosti formirovaniya urozhaynosti yabloni domashney Malus domestica Borkh* [Biological features of the formation of yield of domestic apple trees]. diss.... kand. biol. nauk/Kubanskiy gosudarstvenniy universitet. p. 204 [In Russian].
- DEVYATOV, A.S., ANUCHKIN P.D. 1981. *Raznokachestvennost listyev yabloni i produktivnost fotosinteza v razlichnykh tipakh intensivnykh sadov* [Different quality of apple leaves and productivity of photosynthesis in various types of intensive gardens]. Doklady AN BSSR, no. 10, p. 949–951 [In Russian].
- DUNSTONE, R.L., GIFFORD, R.M., EVANS, L.T. 1973. Photosynthetic characteristics of modern and primitive wheat species in relation to ontogeny and adaptation to light. In *Australian Journal of Biological Sciences*, vol. 26(2), p. 295–308. <https://doi.org/10.1071/B19730295>
- FEDORYAKO, N.I. 2004. *Morfobiologicheskkiye osobennosti i matematicheskaya interpretatsiya parametrov listyev sortov zemlyaniki v usloviyakh TsChR* [Morphobiological features and mathematical
-

- interpretation of the parameters of leaves of wild strawberry cultivars under the conditions of the CCR]. Michurinsk, p. 22 [In Russian].
- FISENKO, A.N. 2004. Skhemy posadok. formirovki i upravleniye resursnym potentsialom plodovykh rasteniy [Planting schemes, formations, and resource potential management of fruit plants]. In *Intensive fruit cultivation technology*. Krasnodar. p. 281–295 [In Russian].
- FISENKO, A.N., SABADAN, T.A. 1999. Svetovoy rezhim kron i produktivnost vysokoplotnykh nasazhdeniy razlichnoy konstruksii [The light regime of crowns and the productivity of high-density stands of various designs]. In *Problems of soil monitoring in the agricultural sector*. Krasnodar, p. 21–22 [In Russian].
- FRIEND, D, HELSON, V.A. 1976. Thermoperiodic effects on the growth and photosynthesis of wheat and other crop plants. In *Botanical gazette*, vol. 137(1), p. 75–84.
- FULGA, I.G. 1976. *Izucheniye fotosinteticheskoy poverkhnosti rasteniy* [Studying the photosynthetic surface of plants]. Kishinev: Shtiinca. p. 96 [In Russian].
- GIBSON, J.P., GIBSON, T.R. 2006. *The Green World Plant Ecology*. Chelsea: Infobase Publishing. p. 198.
- JACKSON, J.E., BEAKBANE, A.B. 1970. Structure of leaves growing at different light intensities within mature apple trees. In *Annual Report East Malling Research Station*, vol. 1969, p. 87–89.
- KARPOV, R.V. 1983. Morfologicheskaya sushchnost yavleniya ravnomernogo plodonosheniya u yabloni i grushi [Morphological essence of the phenomenon of uniform fruiting in apple and pear]. In *Agricultural biology*, no. 3, p. 88–93 [In Russian].
- KHROMENKO, V.V. 1986. Vliyaniye nagruzki urozhayem na intensivnost fotosinteza listyev. formirovaniye massy plodov i zakladku tsvetkovykh pochek u yabloni [Influence of the load of the crop on the intensity of photosynthesis of leaves, the formation of the mass of fruits and the laying of flower buds in the apple tree]. In *Agricultural biology*, no. 9, p. 73–78 [In Russian].
- KHROMENKO, V.V. 2000. Osnovy produktivnosti sorta. dereva. Nasazhdeniya [Fundamentals of productivity of a variety, tree, planting]. In *History, modernity and prospects for the development of gardening in Russia*. p. 279–291 [In Russian].
- KHROMENKO, V.V., VOROBYOV, V.F. 2015. Biologicheskkiye osobennosti rosta i plodonosheniya kolonnovidnykh sortov yabloni. ikh produktivnost i effektivnost [Biological peculiarities of growth and fructification of the columnar apple-tree varieties and their efficiency]. In *Horticulture and viticulture*, no. 4, p. 30–34 [In Russian]. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2015-4-30-34>
- KHRZHANOVSKY, B. G., PONOMARENKO, S. F. 1989. Praktikum po kursu obshchey botaniki [Workshop on the course of general botany]. In *Agroproizdat*, p. 416 [In Russian].
- KONDRATENKO, P.V., CHIZH, O.D., VODIANYTSKY, V.I. 1997. *Stvorenniya i produktivne vikoristannya intensivnikh nasazhen yabluni* [Creation and productive use of intensive plantings of apple trees]. p. 22 [In Ukrainian].
- KOSHELEV, V.K. 1987. Raschet potentsialnoy produktivnosti yablonevykh sadov [Calculation of the potential productivity of apple orchards]. In *Homestead farming*, no. 1, p. 43–45 [In Russian].
- KUDRYAVETS, R.P. 1984. Produktsionnyy protsess yabloni i ego regulirovaniye [The production process of apple trees and its regulation]. In *Fruit growing in the Non-Black Earth Band*, p. 65–79 [In Russian].
- KUDRYAVETS, R.P. 1987. *Produktivnost yabloni* [Apple tree productivity]. Moscow: Agropromizdat, p. 303 [In Russian].
- KUDRYAVETS, R.P., DRUGOVA, L.V. 1976. *Svetovoy rezhim. fotosintez i produktivnost yabloni v zavisimosti ot podvoya i formy krony* [Light regime, photosynthesis and productivity of apple trees depending on stock and crown shape]. Michurinsk, no. 23, p. 74–78 [In Russian].
- LUKYANOV, V.M. 1969. *Produktivnost fotosinteza listyev yabloni v zavisimosti ot solnechnoy radiatsii* [Productivity of photosynthesis of apple leaves depending on solar radiation]. no. 7, p. 121–124 [In Russian].
-

- NICHIPOROVICH, A.A. 1956. *Fotosintez i teoriya polucheniya vysokikh urozhayev* [Photosynthesis and theory of high yields]. p. 93 [In Russian].
- NICHIPOROVICH, A.A. 1961. O svoystvakh posevov rasteniy kak opticheskoy sistemy [On the properties of plant crops as an optical system]. In *Plant Physiology*, vol. 8 (5), p. 428 [In Russian].
- OVSYANNIKOV, A.S. 1976. Fotosinteticheskaya deyatelnost yabloni v zavisimosti ot razmeshcheniya listyev krone. vozrasta derevyev i tipa plodonosheniya [Photosynthetic activity of the apple tree depending on the location of the leaves of the crown, the age of the trees and the type of fruiting]. In *Sb. nauch. rabot 2-y Vses. Konf. molodyih uchenyih po sadovodstvu*. Michurinsk. p. 70–73 [In Russian].
- OVSYANNIKOV, A.S. 1983. Izucheniye fotosinteticheskoy deyatelnosti novykh sortov yabloni i ikh iskhodnykh form v svyazi s selektsiyey na vysokuyu produktivnost [Studying the photosynthetic activity of new apple varieties and their initial forms in connection with selection for high productivity]. In *Archiv für Gartenbau*, p. 21–33 [In Russian].
- SCHULZE, E.D., BECK, E., MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 2005. In *Plant ecology* – Springer Berlin, p. 702.
- URSULENKO, P.K. 1967. Fotosintez i plodonosheniye yabloni [Photosynthesis and fruiting of an apple tree]. In *Collection of scientific papers*. Michurinsk, no. 12, p. 62–69 [In Russian].
- VALK A. 2009. Herbaceous *Plant Ecology*. Recent Advances in *Plant Ecology*. In *Plant Ecology*, vol. 201, No 2. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-2798-6>