

МОРОЗОСТІЙКІСТЬ ЯБЛУНІ КОЛОНОПОДІБНОГО ТИПУ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ПРОМОРОЖУВАННЯ

О. С. ГАВРИЛЮК¹, доктор філософії з садівництва та виноградарства (PhD),

Т. Є. КОНДРАТЕНКО², доктор сільськогосподарських наук, професор,
головний науковий співробітник ІС НААН України, член кореспондент НААН
України

Б. М. МАЗУР¹, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

E-mail: o.havryliuk@nubip.edu.ua

¹*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

²*Інститут садівництва національної академії аграрних наук України*

<https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.06.004>

Анотація. Стреси, пов'язані з заморозками, сильно впливають на розподіл рослин у просторі. Серед різних небезпек навколишнього середовища саме заморозки завдають найбільших економічних втрат у сільському господарстві. Хоча мороз різко обмежує форми життя і створює величезні економічні втрати, він не був настільки ретельно вивчений, як інші біотичні або абіотичні стреси. На морозостійкість може впливати багато факторів, у тому числі мікроклімат, стан ґрунту, висота рослин, але їх потрібно вивчати у комплексі. Мета досліджень полягала у виділенні морозостійких сортів та гібридів яблуні колоноподібного типу за умов Лісостепу України. Дослідження проводили у 2021–2022 роках на кафедрі садівництва імені професора Володимира Левковича Симиренка Національного університету біоресурсів і природокористування України. Експериментальною базою виконання досліджень були насадження колоноподібної яблуні Навчальної лабораторії «Плодоовочевий сад». Морозостійкість визначали у період глибокого спокою методом прямого проморожування однорічних приростів. Досліджувані зразки проморожували у лабораторії фізіології рослин і мікробіології Інституту садівництва Національної академії аграрних наук України. У досліджуваних рослин при проморожуванні дослідних зразків за температури мінус 25 та 30°C під час глибокого спокою виявлено різну стійкість сортів до низьких температур. У всіх сортів та гібридів яблуні колоноподібного типу найбільш вразливою виявились верхівкова брунька та генеративні бруньки; тканини середньої та верхньої частини пагона були найбільш стійкими до штучного морозу. Індекс пошкодження при загальному підмерзанні був найменшим у сортів 'Валюта', 'Спарта', 'Фаворит', 'Білосніжка', а також у гібридів «9/110 Михайлівське», «11/15(2)» та «9/78 Вікторія»; найбільшим він був у сорту 'Болеро'. Критичне для рослин підмерзання при прямому проморожуванні не спостерігалось. Усі досліджувані сорти та гібриди яблуні колоноподібного типу рекомендуються для подальших досліджень та для виробництва. Отримані результати будуть цікавими як для досвідчених садівників так і для садівників-аматорів які планують вирощувати яблуню колоноподібного типу у своєму саду.

Ключові слова: ген «Со», сорти та гібриди яблуні, плодові утворення, вплив клімату, пагін

Актуальність. Стрес від підмерзання тканин яблуні є одним із найважливіших лімітуючих факторів, що визначають екологічне поширення та вирощування плодових порід. Отже, оцінка ризику заморозків є критичною для виробництва плодів та садівництва в цілому. Ризик підмерзання є значним, коли небезпека (тобто вплив шкідливих температур повітря) перетинається з вразливістю (тобто чутливістю до морозу).

Стреси, пов'язані з заморозками, сильно впливають на висотний і широтний розподіл плодових рослин [1, 2, 3]. Серед різних погодних небезпек заморозки завдають найбільших економічних втрат у сільському господарстві [4, 5, 6]. Разовий приморозок може призвести до збитків у сотнях тисяч гривень у виробництві плодів і дерев [7]. Більшість плодових культур, які зараз зростають в помірних зонах, походять з теплих регіонів, особливо з Азії, наприклад, волоський горіх, яблуні, груші та сливи [8]. У процесі селекції [9] головними цілями були висока врожайність і сильна стійкість до патогенів, а не морозостійкість [10, 11]. Хоча мороз різко обмежує форми життя і створює величезні економічні втрати, він не був настільки ретельно вивчений, як інші біотичні або абіотичні стреси, такі як

посуhostійкість. Основною причиною цього може бути те, що пошкодження виникають коли дерева здаються неактивними, а видимими вони стають лише в наступний вегетаційний період.

Морозочутливість є протилежною морозостійкості. Під час річного циклу росту та спокою найбільш ризикованими є перехідні періоди восени та навесні. Саме тоді рослини найбільш вразливі та існує помірна ймовірність вимерзання. Ймовірність осінніх і весняних заморозків є досить високою [10]. Восени та навесні помірні заморозки можуть значно пошкодити дерева, але взимку температури, які завдають шкоди (тобто морозостійкість), набагато нижчі, ніж температури, з якими стикаються дерева [12].

Фенологічні стадії контролюють вплив морозу на вразливі органи (наприклад, розпускання бруньок, розпускання квітів і листя) [13]. Отже, індукція спокою та вивільнення відбувається одночасно з акліматизацією до морозу та деакліматизацією [14]. Після припинення росту акліматизація до заморозків та вивільнення з ендодорманту регулюються низькими температурами, тоді як деакліматизація та вихід з екологічного спокою згодом контролюються більш

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.

теплими, м'якими температурами [15]. У деяких видів плодових культур фотоперіод також може впливати на вихід у стан спокою та час розпускання бруньок [16]. Фотоперіод має найбільший ефект коли вимоги до охолодження не були виконані [17]. «Запас безпеки» (розрахований як різниця між температурами, що викликають пошкодження, та мінімальними температурами) зазвичай є достатньо широкими наприкінці періоду екологічного спокою, щоб уникнути пошкодження бруньок [18]. Тим не менш, заморозки все ще можуть мати місце [19].

На рівні окремих видів плодових культур морозостійкість добре досліджена. Багато моделей використовуються для прогнозування тимчасових змін морозостійкості [20]. Однак дерева є інтегрованими організмами, що складаються з повторюваних структур [21] (наприклад, бруньки, пагони, гілки). Вони гістологічно та просторово відмінні та розташовані на відстані до кількох метрів один від одного. Така організація призводить до неоднорідності температур органів через неоднорідність мікрокліматичних умов. У внутрішньо індивідуальному масштабі просторова мінливість морозостійкості та небезпеки також неоднорідна, від кореневої системи до верхівкових бруньок [22]. Наслідки заморозків для надземних

вегетативних частин рослин досліджені менш ретельно, ніж для економічно важливих частин, таких як квіти та плоди [23, 24, 25]. Однак архітектура надземної частини дерева впливає на розподіл температури (мікроклімат), а отже, на потенційну шкоду [26]. У всіх частинах рослини верхівкова меристема пагона відіграє ключову роль, оскільки пошкодження її температурою впливають на виживання, екологічний розподіл [27] і утворення плодів [28]. Коли верхівкові бруньки пошкоджені, втрата верхівкового домінування призводить до зміни моделей росту особливо у яблуні колоноподібного типу. Таким чином, наступні зміни в архітектурі дерева будуть змінювати місцеві умови навколишнього середовища (наприклад, світло, температуру та вологість), що, у свою чергу, може вплинути на накопичення вуглецю та розвиток шкідників.

Продуктивність і стійкість рослин у саду залежать від процесів росту. Зростання – це інтегративний процес, контрольований умовами навколишнього середовища. Незалежно від виду рослин або місця розташування, стреси, пов'язані з морозом, мають подібні наслідки, викликані низькими температурами та позаклітинним або внутрішньо клітинним підмерзанням. Деревя використовують подібні стратегії, щоб впоратися з цими стресами. Морозостійкість зазвичай

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.

залежить від осмотичного контролю за допомогою кріопротекторів і вмісту вільної води в тканинах. Тим не менш, емпіричні зв'язки між факторами навколишнього середовища і морозостійкістю часто використовувалися для цілей моделювання та прогнозування. Низькі температури впливають на живі клітини рослин і неживі здерев'янілі структури. Залежно від того, чи опускається температура нижче точки замерзання соку, виникає пошкодження від охолодження або замерзання [29]. Пошкодження від замерзання також залежать від місця утворення льоду.

У глибоку зиму основний ризик заморозків виникає через зимову посуху, а не від морозу [30]. Коли ґрунт замерз, зневоднення надземних частин не компенсується поглинанням води корінням, що може бути згубним для рослин [31]. У холодних районах рослини можуть бути повністю укриті льодом і пошкоджені від аноксії [1]. Легкі заморозки, які викликають деакліматацию [32, 33], можуть завдати шкоди, коли повторюються морози [34].

На морозостійкість може впливати багато факторів, у тому числі висота рослин, мікроклімат, стан ґрунту. Саджанці, як правило, більш чутливі, ніж дорослі рослини [35]. З різних рослинних тканин кора є найбільш стійкою, значно більше,

ніж деревина [22]. Бруньки є найбільш чутливими та найбільш схильними до морозу органами [36]. Багато досліджень зосереджені на здатності рослин до глибокого переохолодження та поширенню льоду в бруньках і деревині [37, 38, 39]. Взимку бруньки від'єднуються від ксилеми деревини, що може перешкоджати поширенню льоду в бруньку [38]. Навесні бар'єр між ксилемою та бруньками усувається, і поширення льоду в бруньці може завдати серйозної шкоди [40], поставивши під загрозу урожай плодів протягом усього року [28, 41].

Усередині вегетативної бруньки зачатки листя є найбільш чутливими частинами, тоді як прокамбій і серцевина паренхіма можуть вижити при нижчих температурах [42]. У квітках стрес від замерзання маточки та насіннєвих зачатків визначає потенційне виживання отриманого насіння [43]. Бруньки в нижній частині дерева більш вразливі до морозу, ніж у верхній. Бутони, звернені до сонця, більш стійкі, ніж ті, що знаходяться на протилежній стороні.

У природних умовах можна спостерігати два види заморозків: адвективні заморозки і радіаційні заморозки. Заморозки, які пошкоджують рослини, частіше бувають радіаційними, ніж адвективними. Радіаційні морози можна порівняти з утворенням роси: нічне променеве охолодження

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М. відкритого органу знижує його температуру, а це може призвести до замерзання крапель води на поверхні органу. Радіаційні заморозки зазвичай виникають після заходу сонця, коли небо чисте, а швидкість вітру низька. Коли сонячна радіація не надходить в систему, а довгохвильове інфрачервоне випромінювання розсіюється в небо, баланс теплової енергії стає негативним. При негативному енергетичному балансі температура системи (або шару повітря навколо рослини, або самої рослини) падає [5]. Це відбувається частіше у вузьких долинах, ніж на рівнинах, і рідше у висотних регіонах, які більше піддаються дії вітру. Таким чином, сильні вітри звужують різницю між температурою органу та повітрям [44]. Українські науковці вказують на різний рівень морозостійкості у сортів яблуні [45, 46].

Вивчення морозостійкості зазвичай базується на аналізі різних фізіологічно-біохімічних показників або на використанні методу прямого проморожування. Метод дозволяє визначати морозостійкість рослин за об'єктивними ознаками пошкодження при дії на них низьких температур з використанням морозильних камер [47, 48].

Проблема визначення морозо- та зимостійкості сортів яблуні виникла із початку вивчення придатності різних сортів до вирощування в зонах з несприятливими умовами зимівлі

або до інтродукції з регіонів з більш помірним кліматом.

Морозостійкість - це здатність переносити без ушкоджень низькі негативні зимові температури. Під зимостійкістю розуміють спроможність рослинного організму витримувати всі негативні фактори перезимівлі, особливо тривалі відлиги та різкі коливання температури. Нажаль, в Україні, на сьогодні немає чіткої інформації щодо рівня морозостійкості яблуні колоноподібного типу, тому *метою досліджень* було виділення із досліджуваних сортів та гібридів найбільш стійких до морозу.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження виконували протягом 2021–2022 років на кафедрі садівництва імені професора Володимира Левковича Симиценка Національного університету біоресурсів і природокористування України. Експериментальною базою виконання досліджень були насадження колоноподібної яблуні Навчальної лабораторії «Плодоовочевий сад». Проморожування виконували у лабораторії фізіології рослин і мікробіології Інституту Садівництва НААН України

Предмет досліджень – 13 сортів та гібридів яблуні колоноподібного типу української та закордонної селекції (сорт - ‘Спарта’, ‘Фаворит’, ‘Білосніжка’, ‘Дюймовочка’; гібриди

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.
– «11/1(2)», «9/110 Михайлівське»,
«11/15(2)», «9/78 Вікторія» (Україна);
сорти – ‘Валюта’, ‘Президент’,
‘Останкіно’, ‘Арбат’ (Росія); ‘Болеро’
(Англія)).

Об’єкт дослідження –
морозостійкість сортів та гібридів
яблуні колоноподібного типу.

Морозостійкість визначали у
період глибокого спокою методом
прямого проморожування однорічних
приростів за методикою М.
Соловйової [49] з модифікаціями В.
Грохольського [50, 51]. Алгоритм
проведення прямого проморожування
такий:

1) відбір зразків (відбирали
однорічні прирости до 30–40 см у 5-ти
кратній повторності);

2) підготовка їх до
проморожування;

3) розміщення у морозильних
камерах (проморожували за
температур -25 та -30 °C, порівнювали
із контрольним варіантом без
проморожування, загалом 195
зразків);

4) загартування (витримка при -5
°C протягом 2...4 годин);

5) зниження температури до
заданої (2...5 °C за годину);

6) витримка на заданій
температурі (4–6 годин);

7) відігрів (2...5 °C за годину);

8) стратифікація зразків для
прояву пошкоджень (не менше 7 діб
при кімнатній температурі);

9) визначення ступеня
ушкодження (мікроскопна оцінка

інтенсивності пошкодження
(побуріння) окремих тканин на
поперечних зрізах пагонів);

10) підготовка даних до аналізу;

11) дисперсійний аналіз
отриманих результатів;

12) висновки.

Досліджувані рослини зростають
в зоні Західного Лісостепу України.
Клімат району помірно-
континентальний. Середньорічна
температура повітря за роки
досліджень становить 10.1 °C.
Найхолодніший місяць – січень
(мінус 3,2 °C); найтепліший —
серпень (21,8 °C). Заморозки
відмічали із середини жовтня.
Зимовий період починається в
середині листопада. Спостерігаються
відлиги протягом зимового періоду (у
грудні-лютому, в середньому 40 днів)
[52, 53, 54]. Ймовірні весняні
заморозки до середини травня. За
п’ятирічними даними період вегетації
починається початку квітня.
Активний ріст і розвиток
спостерігається в кінці квітня. Сума
активних температур 10 °C і вище
складала всередньому 3450 °C;
середньорічна кількість становила в
середньому 380 мм.

Ґрунт дослідної ділянки –
чорнозем дерново-
середньопідзолений
крупнопилуватий
середньосуглинковий, сформований
на лесових відкладах, типовий для
північної частини Лісостепу. Вміст
гумусу – 0,69–2,07 %; рН водної

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М. витяжки – 6,47–6,81. Забезпеченість ґрунту лужногідролізованим азотом дуже низька (за Корнфілдом [55]), а вміст рухомих сполук фосфору (за Чіріковим [56]) – високий у всіх горизонтах, в орному шарі ґрунту (0–40 см) – дуже високий. У першому рівні відбору зразків ґрунту (0–20 см) відзначено підвищене забезпечення обмінним калієм у всіх інших рівнях – середнє.

У процесі статистичного опрацювання результатів лабораторних вимірювань проводили дисперсійний аналіз із використанням засобів Excel за В. Меженським [57].

Результати дослідження.

Отриманими результатами з прямого проморожування краще оперувати, опираючись на абсолютні показники,

котрі обчислюються за допомогою визначення відсоткового ушкодження в порівнянні з теоретично можливим повним пошкодженням. Якщо максимальне пошкодження оцінювати 5 балами (відмирання тканин), можливе максимальне пошкодження однорічного приросту дорівнює 500 балів (100 %).

Під час глибокого спокою при проморожуванні дослідних зразків за температури мінус 25 та 30 °С виявлено різну стійкість сортів та частин пагона до низьких температур (Рисунок 1). Найбільш вразливими до морозу у всіх сортів та гібридів яблуні колоноподібного типу виявились верхівкова брунька та генеративні бруньки.



Рис. 1. Визначення морозовитривалості методом прямого проморожування

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.

Стійкими до морозу були тканини середньої та верхньої частини пагона у міжвузлі. За температури проморожування мінус 25 °С індекс пошкодження при

загальному підмерзанні був найменшим у сортів 'Валюта' – 0,71, 'Фаворит', 'Білосніжка' та гібрида '11/15(2)' – 1,42–1,44; найбільшим у сорту 'Болеро' – 49,29 (табл. 1).

1. Загальне підмерзання пагонів сортів та гібридів яблуні під час глибокого спокою

Сорт/гібрид	Температура проморожування, бал		
	Контроль	-25 °С	-30 °С
Болеро	7,14 ^{abc}	49,29 ^e	107,86 ^d
Валюта	0,00 ^a	0,71 ^a	18,57 ^a
Президент	13,57 ^{cd}	22,86 ^c	72,14 ^c
Останкіно	11,43 ^c	14,29 ^{bc}	49,29 ^{bc}
Спарта	0,71 ^{ab}	10,71 ^b	20,00 ^a
Фаворит	0,00 ^a	1,43 ^a	12,86 ^a
Білосніжка	0,00 ^a	1,44 ^a	11,43 ^a
Арбат	21,43 ^d	32,86 ^d	67,86 ^c
11/1(2)	4,29 ^{abc}	15,71 ^{bc}	42,86 ^b
Дюймовочка	20,01 ^d	24,29 ^{cd}	50,71 ^{bc}
9/110 Михайлівське	2,14 ^{ab}	10,71 ^b	25,00 ^{ab}
11/15(2)	0,00 ^a	1,42 ^a	11,43 ^a
9/78 Вікторія	2,14 ^{ab}	10,71 ^b	25,00 ^{ab}

Примітка: Середні значення в стовпцях з різною літерою сильно відрізняються за критерієм Фішера ($P \leq 0,05$)

За температурою проморожування мінус 30 °С індекс пошкодження при загальному підмерзанні був найбільшим у сорту 'Болеро' – 107,86; найменшим у 'Білосніжки' та гібрида '11/15(2)' – 11,43, 'Фаворита' – 12,86, 'Валюти' – 18,57, 'Спарта' – 20,00. Загальний ступінь пошкодження сортів та гібридів яблуні колоноподібного типу при температурах проморожування мінус 25 та 30 °С є досить низьким, хоч потрібно розуміти, що на морозовитривалість впливає не тільки мороз.

У сортів яблуні колоноподібного типу ще у розсаднику відбувається

диференціація генеративні бруньки, отже стійкість останніх до низьких мінусових температур впливає на майбутню врожайність та архітектуру рослин у цілому. Вивчення їх стійкості в різних сортів колоноподібної яблуні проти низьких температур дозволить рекомендувати сорт для певного регіону вирощування.

При проморожуванні за температури мінус 25 °С спостерігали незначні пошкодження генеративних бруньок (табл. 2); критичного рівня пошкоджень не відмічено у жодного досліджуваного варіанта.

2. Ушкодження тканин пагонів, генеративних бруньок та верхівкових бруньок різних сортів та гібридів яблуні (Температура проморожування мінус 25 °С)

Сорт/гібрид	Пагін			Генеративна брунька	Верхівкова брунька
	Верхівка	Середина	Через бруньку		
Болеро	35,03 ^d	37,51 ^{dc}	60,01 ^e	70,02 ^f	130,06 ^d
Валюта	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	10,03 ^a
Президент	12,51 ^b	25,05 ^{bc}	20,14 ^c	40,08 ^e	70,05 ^c
Останкіно	10,03 ^b	10,14 ^a	10,09 ^b	40,11 ^e	40,13 ^b
Спарта	10,12 ^b	10,09 ^a	10,12 ^b	20,01 ^c	10,03 ^a
Фаворит	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	20,13 ^{ab}
Білосніжка	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	20,09 ^{ab}
Арбат	35,12 ^d	35,09 ^{cd}	35,12 ^d	10,14 ^b	30,03 ^b
11/1(2)	10,06 ^b	10,03 ^a	10,05 ^b	30,09 ^d	70,12 ^c
Дюймовочка	22,51 ^c	22,51 ^b	22,51 ^c	30,12 ^d	40,05 ^b
Михайлівське 9/110	10,03 ^b	10,12 ^a	10,12 ^b	0,00 ^a	30,03 ^b
11/15(2)	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	20,11 ^{ab}
9/78 Вікторія	10,13 ^b	10,08 ^a	10,05 ^b	0,00 ^a	30,13 ^b

Примітка: Середні значення в стовпцях з різною літерою сильно відрізняються за критерієм Фішера ($P \leq 0,05$)

Верхівкова брунька теж є досить стійкою до температури проморожування мінус 25 °С, коефіцієнт коливався від 10 до 130. Найбільший бал ураження верхівкової бруньки відмічали у 'Болеро' (130), хоча цей бал є не критичним. Пагони усіх досліджуваних варіантів виявились дуже стійкими до даної температури проморожування.

Дещо більші пошкодження генеративних бруньок спостерігали при температурі проморожування мінус 30 °С, але пошкодження є досить слабкими (табл. 3).

Пагони усіх досліджуваних сортів та гібридів є дуже стійкими до даної температури проморожування. Верхівкова брунька найбільше пошкоджується при температурі мінус 30 °С у сортів 'Болеро' (230), 'Дюймовочка' (190) та 'Президент' (170), інші досліджувані сорти пошкоджуються значно менше. Найнижчий індекс підмерзання верхівкової бруньки спостерігається у сортів 'Білосніжка', 'Фаворит' та гібриду '11/15(2)', тобто у сортів селекції українських науковців.

3. Пошкодження тканин пагонів, генеративних бруньок та верхівкових бруньок різних сортів та гібридів яблуні (Температура проморожування мінус 30 °С)

Сорт/гібрид	Пагін			Генеративна брунька	Верхівкова брунька
	Верхівка	Середина	Через бруньку		
Болеро	100,02 ^{dc}	100,12 ^c	100,15 ^d	80,04 ^{cd}	230,10 ^e
Валюта	10,12 ^a	12,51 ^a	20,03 ^a	40,13 ^{ab}	60,12 ^b
Президент	85,01 ^{cd}	75,10 ^a	27,50 ^b	60,15 ^{bc}	170,12 ^d
Останкіно	47,51 ^b	37,51 ^a	60,04 ^c	60,04 ^{bc}	80,16 ^b
Спарта	10,02 ^a	10,02 ^a	10,12 ^a	80,07 ^{cd}	80,05 ^b
Фаворит	10,09 ^a	10,11 ^a	10,09 ^a	20,12 ^a	40,02 ^{ab}
Білосніжка	10,11 ^a	10,00 ^a	10,14 ^a	20,05 ^a	20,05 ^a
Арбат	67,52 ^{bc}	67,51 ^b	67,50 ^c	70,03 ^{bc}	70,02 ^b
11/1(2)	35,12 ^a	35,00 ^a	35,15 ^b	50,12 ^b	130,12 ^c
Дюймовочка	35,12 ^a	35,12 ^a	35,16 ^b	100,12 ^{dc}	190,11 ^d
Михайлівське 9/110	20,09 ^a	20,04 ^a	20,05 ^{ab}	20,05 ^a	90,05 ^b
11/15(2)	10,12 ^a	10,04 ^a	10,12 ^a	20,09 ^a	20,14 ^a
9/78 Вікторія	20,22 ^a	20,12 ^a	20,23 ^{ab}	20,02 ^a	90,01 ^b

Примітка: Середні значення в стовпцях з різною літерою сильно відрізняються за критерієм Фішера ($P \leq 0,05$)

Висновки і перспективи. За проморожування досліджуваних зразків при температурах мінус 25 та 30 °С (під час глибокого спокою) виявлено різну стійкість сортів та різних частин пагона до низьких мінусових температур. Найбільш вразливими до ушкоджень морозом виявились генеративні бруньки та верхівкова брунька. Стійкими проти морозу були тканини середньої та верхньої частини пагона. Найменший індекс пошкодження при загальному підмерзанні спостерігали у сортів ‘Валюта’, ‘Спарта’, ‘Фаворит’,

‘Білосніжка’, а також у гібридів ‘9/110 Михайлівське’, ‘11/15(2)’ та ‘9/78 Вікторія’, найбільше ушкоджувались тканини осіннього сорту ‘Болеро’. Загалом не спостерігалось критичне для рослин підмерзання за температур проморожування мінус 25 та 30 °С не спостерігалось критичне для рослин підмерзання. Усі досліджувані сорти та гібриди яблуні колоноподібного типу виявились стійкими до морозів та рекомендуються для вирощування у промислових та аматорських садах Лісостепу України.

Список використаних джерел

- Charrier G., Cochard H., Améglio T. Evaluation of the impact of frost resistances on potential altitudinal limit of trees. *Tree Physiology*. 2013a. Vol. 33, No. 9. P. 891–902. doi: [10.1093/treephys/tpt062](https://doi.org/10.1093/treephys/tpt062)
- Gansert D. Treelines of the Japanese Alps—altitudinal distribution and species

composition under contrasting winter climates. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2004. Vol. 199, No. 2. P. 143–156. doi: [10.1078/0367-2530-00143](https://doi.org/10.1078/0367-2530-00143)

- Larcher W. Climatic constraints drive the evolution of low temperature resistance in woody plants. *Journal of*

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.

Agricultural Meteorology. 2005. Vol. 61, No. 4. P. 189–202. doi: [10.2480/agrmet.61.189](https://doi.org/10.2480/agrmet.61.189)

4. Havryliuk O., Kondratenko T., Mazur B., Tonkha O., Andrusyk Y., Kutovenko V., Yakovlev R., Kryvoshepa V., Trokhymchuk A., Dmytrenko Y. Efficiency of productivity potential realization of different-age sites of a trunk of grades of columnar type apple-trees. *Agronomy research*. 2022b. Vol. 20, No. 2. P. 241–260. doi: [10.15159/AR.22.031](https://doi.org/10.15159/AR.22.031)

5. Snyder R.L., Melo-Abreu J.P. *Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics. Environment and Natural Resources Series*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005. 223 p. URL: <https://www.fao.org/3/y7231e/y7231e.pdf>

6. Vasylenko O., Kondratenko T., Havryliuk O., Andrusyk Y., Kutovenko V., Dmytrenko Y., Grevtseva N., Marchyshyna Y. The study of the productivity potential of grape varieties according to the indicators of functional activity of leaves. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. No. 15. P. 639–647. doi: [10.5219/1638](https://doi.org/10.5219/1638)

7. Havryliuk O., Kondratenko T., Mazur B., Kutovenko V., Mazurenko B., Voitsekhivska O., Dmytrenko Y. Morphophysiological peculiarities of productivity formation in columnar apple cultivars. *Agronomy research*. 2022a. Vol. 20, No. 1. P. 148–160. doi: [10.15159/AR.22.007](https://doi.org/10.15159/AR.22.007)

8. Fornari B., Malvolti M. E., Turchini D., Fineschi S., Beritognolo I., Maccaglia E., Cannata F. Isozyme and organellar DNA analysis of genetic diversity in natural/naturalised European and Asiatic walnut (*Juglans regia* L.) populations. *Acta Horticulturae*. 2001. No. 544. P. 167–178. doi: [10.17660/ActaHortic.2001.544.23](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.544.23)

9. Manchester S.R. Early history of the Juglandaceae. *Plant Systematics and Evolution*. 1989. No. 162, P. 231–250. doi: [10.1007/BF00936919](https://doi.org/10.1007/BF00936919)

10. Fady B., Ducci F., Aleta N., Becquey J., Vazquez R. D., Lopez F., Jay-Allemand C., Lefèvre F., Ninot A., Panetsos K., Paris P., Pisanelli A., Rumpf H. Walnut demonstrates strong genetic variability for adaptive and wood quality traits in a network of juvenile field tests

across Europe. *New Forests*. 2003. No. 25. P. 211–225. doi: [10.1023/A:1022939609548](https://doi.org/10.1023/A:1022939609548)

11. Гаврилюк О.С., Кондратенко Т.Є., Гончарук Ю.Д. Особливості формування продуктивності колоноподібної яблуні. *Вісник аграрної науки*. 2019. Т. 97, № 6. С. 27–34. doi: [10.31073/agrovysnyk201906-04](https://doi.org/10.31073/agrovysnyk201906-04)

12. Kollas C., Koerner C., Randin C. F. Spring frost and growing season length co-control the cold range limits of broad-leaved trees. *Journal of Biogeography*. 2014. Vol. 41, No. 4. P. 773–783. doi: [10.1111/jbi.12238](https://doi.org/10.1111/jbi.12238)

13. Lang G.A., Early J.D., Martin G.C., Darnell R.L. Endo-, para- and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience*. 1987. Vol. 22, No. 3. P. 371–377.

14. Charrier G., Bonhomme M., Lacointe A., Améglio T. Are budburst dates, dormancy and cold acclimation in walnut trees (*Juglans regia* L.) under mainly genotypic or environmental control?. *International Journal of Biometeorology*, 2011. No. 55. P. 763–774. doi: [10.1007/s00484-011-0470-1](https://doi.org/10.1007/s00484-011-0470-1)

15. Bonhomme M., Lacointe A., Rageau R. Evidence for non-occurrence of node-to-node or stem-to-bud transfer of chilling temperature signal for dormancy release. *Advances in Horticultural Science*. 2013. No. 27. P. 33–43.

16. Basler D., Koerner C. Photoperiod sensitivity of bud burst in 14 temperate forest tree species. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2012. No. 165. P. 73–81. doi: [10.1016/j.agrformet.2012.06.001](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.06.001)

17. Laube J., Sparks T. H., Estrella N., Hofler J., Ankerst D. P., Menzel A. Chilling outweighs photoperiod in preventing precocious spring development. *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20, No. 1. P. 170–182. doi: [10.1111/gcb.12360](https://doi.org/10.1111/gcb.12360)

18. Lenz A., Hoch G., Vitasse Y., Koerner C. European deciduous trees exhibit similar safety margins against damage by spring freeze events along elevational gradients. *New Phytologist*. 2013. Vol. 200, No. 4. P. 1166–1175. doi: [10.1111/nph.12452](https://doi.org/10.1111/nph.12452)

19. Cittadini E.D., de Ridder N., Peri P.L., van Keulen, H. A method for assessing frost damage risk in sweet cherry orchards of South Patagonia. *Agricultural and Forest*

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.

Meteorology. 2006. Vol. 141, №2-4. P. 235–243. doi: [10.1016/j.agrformet.2006.10.011](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.10.011)

20. Poirier M., Lacomte A., Améglio T. A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. *Tree Physiology*. 2010. Vol. 30, No. 12. P. 1555–1569. doi: [10.1093/treephys/tpq087](https://doi.org/10.1093/treephys/tpq087)

21. Kawamura K.A conceptual Framework for the study of modular responses to local environmental heterogeneity within the plant crown and a review of related concepts. *Ecological Research*. 2010. Vol. 25, No. 4. P. 733–744. doi: [10.1007/s11284-009-0688-0](https://doi.org/10.1007/s11284-009-0688-0)

22. Charrier G., Poirier M., Bonhomme M., Lacomte A., Améglio T. Frost acclimation in different organs of walnut trees *Juglans regia* L.: how to link physiology and modelling?. *Tree Physiology*. 2013b. Vol. 33, No. 11, P. 1229–1241. doi: [10.1093/treephys/tpt090](https://doi.org/10.1093/treephys/tpt090)

23. Havryliuk O., Kondratenko T. Specific of the Assimilation Surface of Columnar Apple-Tree. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2019. No. 3. P. 57–65. doi: [10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.057-065](https://doi.org/10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.057-065)

24. Havryliuk O.S., Kondratenko T.E., Kytaiev O.I. Діагностика функціонального стану рослин колоноподібних сортів яблуні. *Науковий журнал «Рослинництво та ґрунтознавство»*, 2019. Т. 10, №2. С. 70–80. doi: [10.31548/agr2019.02.070](https://doi.org/10.31548/agr2019.02.070)

25. Winkel T., Lhomme J.P., Nina Laura J.P., Alcon C.M., del Castillo C., Rocheteau A. Assessing the protective effect of vertically heterogeneous canopies against radiative frost: the case of quinoa on the Andean Altiplano. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2009. Vol. 149, No. 10. P. 1759–1768. doi: [10.1016/j.agrformet.2009.06.005](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.06.005)

26. Havryliuk O.S., Kondratenko T.E. Структурно-функціональний стан листків колоноподібних сортів яблуні в умовах Київщини. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. №2(84). doi: [10.31548/dopovidi2020.02.013](https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.013)

27. Nobel P.S. Morphology, nurse plants, and minimum apical temperatures for young *Carnegiea gigantea*. *Botanical Gazette*.

1980. Vol. 141, No. 2. P. 188–191. doi: [10.1086/337142](https://doi.org/10.1086/337142)

28. Rodrigo J. Spring frosts in deciduous fruit trees—morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*. 2000. Vol. 85, No. 3. P. 155–173. doi: [10.1016/S0304-4238\(99\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00150-8)

29. Sakai A., Larcher W. “Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress”. *Ecological Studies* (Berlin: Springer Verlag), 1987. Vol. 62. 321 p. doi: [10.1007/978-3-642-71745-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-71745-1)

30. Man R., Colombo S., Kayahara G.J., Duckett S., Velasquez R., Dang Q.L. A case of extensive conifer needle browning in northwestern Ontario in 2012: winter drying or freezing damage?. *The Forestry Chronicle*. 2013. No. 89. P. 675–680. doi: [10.5558/tfc2013-120](https://doi.org/10.5558/tfc2013-120)

31. Tranquillini W. Physiological Ecology of the Alpine Timberline. *Berlin: Springer-Verlag*, 1979. 31 p. doi: [10.1007/978-3-642-67107-4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-67107-4)

32. Kalberer S.R., Wisniewski M., Arora R. Deacclimation and reacclimation of cold-hardy plants: current understanding and emerging concepts. *Plant Science*. 2006. Vol. 171, No. 1. P. 3–16. doi: [10.1016/j.plantsci.2006.02.013](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.02.013)

33. Pagter M., Hausman J. F., Arora R. Deacclimation kinetics and carbohydrate changes in stem tissues of *Hydrangea* in response to an experimental warm spell. *Plant Science*. 2011. Vol. 180, No. 1. P. 140–148. doi: [10.1016/j.plantsci.2010.07.009](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.07.009)

34. Saarinen T., Lundell R., Hanninen H. Recovery of photosynthetic capacity in *Vaccinium vitis-idaea* during mild spells in winter. *Plant Ecology*. 2011. No. 212. P. 1429–1440. doi: [10.1007/s11258-011-9918-y](https://doi.org/10.1007/s11258-011-9918-y)

35. Lim C.C., Krebs S.L., Arora R. Cold hardiness increases with age in juvenile *Rhododendron* populations. *Front. Plant Sci.*. 2014. 5:542. doi: [10.3389/fpls.2014.00542](https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00542)

36. Pramsohler M., Hacker J., Neuner G. Freezing pattern and frost killing temperature of apple (*Malus domestica*) wood under controlled conditions and in nature. *Tree Physiology*. 2012. Vol. 32, No. 7. P. 819–828. doi: [10.1093/treephys/tps046](https://doi.org/10.1093/treephys/tps046)

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.

37. Charrier, G., Pramsohler, M., Charra-Vaskou, K., Saudreau, M., Améglio, T., Neuner, G., et al. Ultrasonic emissions during ice nucleation and propagation in plant xylem. *New Phytologist*. 2015. Vol. 207, №3. P. 570–578. doi: [10.1111/nph.13361](https://doi.org/10.1111/nph.13361)

38. Hacker J., Ladinig U., Wagner J., Neuner G. Inflorescences of alpine cushion plants freeze autonomously and may survive subzero temperatures by supercooling. *Plant Science*. 2011. Vol. 180, No. 1. P. 149–156. doi: [10.1016/j.plantsci.2010.07.013](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.07.013)

39. Kuprian, E., Briceño, V. F., Wagner, J., Neuner, G. Ice barriers promote supercooling and prevent frost injury in reproductive buds, flowers and fruits of alpine dwarf shrubs throughout the summer. *Environmental and Experimental Botan*. 2014. No. 106. P. 4–12. doi: [10.1016/j.envexpbot.2014.01.011](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.01.011)

40. Pramsohler M., Neuner G. Dehydration and osmotic adjustment in apple stem tissue during winter as it relates to the frost resistance of buds. *Tree Physiology*. 2013. Vol. 33, No. 8. P. 807–816. doi: [10.1093/treephys/tpt057](https://doi.org/10.1093/treephys/tpt057)

41. Rowland L.J., Ogden E.L., Takeda F., Glenn D.M., Ehlenfeldt M.K., Vinyard B.T. Variation among highbush blueberry cultivars for frost tolerance of open flowers. *HortScience*. 2013. Vol. 48, No. 6. P. 692–695. doi: [10.21273/HORTSCI.48.6.692](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.6.692)

42. Andergassen S., Bauer H. Frost hardiness in the juvenile and adult life phase of ivy (*Hedera helix* L.). *Plant Ecology*. 2002. 161. P. 207–213. doi: [10.1023/A:1020365422879](https://doi.org/10.1023/A:1020365422879)

43. Lardon A., Triboi-Blondel A.M. Freezing injury to ovules, pollen and seeds in winter rape. *Journal of Experimental Botany*. 1994. Vol. 45, No. 8. P. 1177–1181. doi: [10.1093/jxb/45.8.1177](https://doi.org/10.1093/jxb/45.8.1177)

44. Michaletz S.T., Johnson E.A. Foliage influences forced convection heat transfer in conifer branches and buds. *New Phytologist*. 2006. Vol. 170, No. 1. P. 87–98. doi: [10.1111/j.1469-8137.2006.01661.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01661.x)

45. Трохимчук А.І., Макарова Д. Г., Китаєв О. І. Потенціал морозостійкості інтродукованих сортів яблуні (*Malus domestica* Borkh.) в умовах Західного лісостепу України. *Науковий вісник*

Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2012, №180. С. 187–192.

46. Тороп В.В., Грохольський В.В., Скрипченко Н.В., Мороз П.А. Дослідження морозостійкості актинідії. *Садівництво*, 2005. Вип. 56, С. 213–221.

47. Васюта В.М., Середа І.І. Особливості морозостійкості дерев яблуні в інтенсивних садах. *Садівництво*. 2005. № 56. С. 189–195.

48. Гончарук Ю.Д. Зимостійкість імунних до парші сортів яблуні (*Malus domestica* Borkh.). *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2012. № 180. С. 192–199.

49. Соловьева М.А. Атлас повреждений плодовых ягодных культур морозами, 1988. 48 с.

50. Грохольський В.В. Методи визначення пошкодження плодових культур умовами зимівлі, весняними та осінніми приморозками. Моніторинг плодових культур. 2003. С. 127–135.

51. Палагеча Р.М., Грохольський В.В., Китаєв О.І., Фомічова С.В. Морозостійкість тканин пагонів листопадних магнолій. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття*. *Вісник Київського національного ун-ту ім. Тараса Шевченка*, 2005. № 8, С. 52–55.

52. Агрокліматичний довідник по території України / за редакцією: Адаменко Т.І., Кульбіда М.І., Прокопенко А.Л. Кам'янець-Подільський : ПП Галагодза Р.С., 2011. 108 с.

53. Адаменко Т.І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ : ТОВ «РІА»БЛПЦ, 2014. 18 с.

54. Адаменко Т.І. Особливості розвитку весняних процесів в Україні в період глобального потепління. *Агроном*. 2008. № 1. С. 10–11.

55. ДСТУ 7863:2015 Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда

56. ДСТУ 4115-2002 Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова

57. Меженський В. М. *Основи наукових досліджень у садівництві. Розрахунки в Microsoft Excel: Навчальний посібник*, 2017. 212 с.

References

- Charrier, G., Cochard, H., & Améglio, T. (2013a). Evaluation of the impact of frost resistances on potential altitudinal limit of trees. *Tree Physiology*, 33(9), 891–902. doi:[10.1093/treephys/tpt062](https://doi.org/10.1093/treephys/tpt062)
- Gansert, D. (2004). Treelines of the Japanese Alps—altitudinal distribution and species composition under contrasting winter climates. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 199 (2), 143–156. doi:[10.1078/0367-2530-00143](https://doi.org/10.1078/0367-2530-00143)
- Larcher, W. (2005). Climatic constraints drive the evolution of low temperature resistance in woody plants. *Journal of Agricultural Meteorology*, 61(4), 189–202. doi:[10.2480/agrmet.61.189](https://doi.org/10.2480/agrmet.61.189)
- Havryliuk, O., Kondratenko, T., Mazur, B., Tonkha, O., Andrusyk, Y., Kutovenko, V., Yakovlev, R., Kryvoshapka, V., Trokhymchuk, A., & Dmytrenko, Y. (2022b). Efficiency of productivity potential realization of different-age sites of a trunk of grades of columnar type apple-trees. *Agronomy research*, 20(2), 241–260. DOI: doi:[10.15159/AR.22.031](https://doi.org/10.15159/AR.22.031)
- Snyder, R.L., & Melo-Abreu, J.P. (2005). *Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics, Environment and Natural Resources Series*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 223 p. URL: <https://www.fao.org/3/y7231e/y7231e.pdf>
- Vasylenko, O., Kondratenko, T., Havryliuk, O., Andrusyk, Y., Kutovenko, V., Dmytrenko, Y., Grevtseva, N., & Marchyshyna, Y. (2021). The study of the productivity potential of grape varieties according to the indicators of functional activity of leaves. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 639–647. doi:[10.5219/1638](https://doi.org/10.5219/1638)
- Havryliuk, O., Kondratenko, T., Mazur, B., Kutovenko, V., Mazurenko, B., Voitsekhivska, O., & Dmytrenko, Y. (2022a). Morphophysiological peculiarities of productivity formation in columnar apple cultivars. *Agronomy research*, 20(1), 148–160. doi:[10.15159/AR.22.007](https://doi.org/10.15159/AR.22.007)
- Fornari, B., Malvolti, M. E., Turchini, D., Fineschi, S., Beritognolo, I., Maccaglia, E., & Cannata, F. (2001). Isozyme and organellar DNA analysis of genetic diversity in natural/naturalised European and Asiatic walnut (*Juglans regia* L.) populations. *Acta Horticulturae*, 544, 167–178. doi:[10.17660/ActaHortic.2001.544.23](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.544.23)
- Manchester, S.R. (1989). Early history of the *Juglandaceae*. *Plant Systematics and Evolution*, 1989, 162, 231–250. doi:[10.1007/BF00936919](https://doi.org/10.1007/BF00936919)
- Fady, B., Ducci, F., Aleta, N., Becquey, J., Vazquez, R. D., Lopez, F. F., Jay-Allemand, C., Lefèvre, F., Ninot, A., Panetsos, K., Paris, P., Pisanelli, A., & Rumpf, H. (2003). Walnut demonstrates strong genetic variability for adaptive and wood quality traits in a network of juvenile field tests across Europe. *New Forests*, 25, 211–225. doi:[10.1023/A:1022939609548](https://doi.org/10.1023/A:1022939609548)
- Gavryliuk, O., Kondratenko T., & Goncharuk Ju. (2019). Features of formation of productivity of columnar apple-tree. *Bulletin of Agricultural Science*, 97(6), 27–34. doi:[10.31073/agrovisnyk201906-04](https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201906-04)
- Kollas, C., Koerner, C., & Randin, C.F. (2014). Spring frost and growing season length co-control the cold range limits of broad-leaved trees. *Journal of Biogeography*, 41(4), 773–783. doi:[10.1111/jbi.12238](https://doi.org/10.1111/jbi.12238)
- Lang, G.A., Early, J.D., Martin, G.C., & Darnell, R.L. (1987). Endo-, para- and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience*, 22(3), 371–377.
- Charrier, G., Bonhomme, M., Lacointe, A., & Améglio, T. (2011). Are budburst dates, dormancy and cold acclimation in walnut trees (*Juglans regia* L.) under mainly genotypic or environmental control?. *International Journal of Biometeorology*, 55, 763–774. doi:[10.1007/s00484-011-0470-1](https://doi.org/10.1007/s00484-011-0470-1)
- Bonhomme, M., Lacointe, A., & Rageau, R. (2013). Evidence for non-occurrence of node-to-node or stem-to-bud transfer of chilling temperature signal for dormancy release. *Advances in Horticultural Science*, 27, 33–43.
- Basler, D. & Koerner, C. (2012). Photoperiod sensitivity of bud burst in 14

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.

temperate forest tree species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 165, 73–81. doi:[10.1016/j.agrformet.2012.06.001](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.06.001)

17. Laube, J., Sparks, T.H., Estrella, N., Hofler, J., Ankerst, D.P., & Menzel, A. (2014). Chilling outweighs photoperiod in preventing precocious spring development. *Global Change Biology*, 20(1), 170–182. doi:[10.1111/gcb.12360](https://doi.org/10.1111/gcb.12360)

18. Lenz, A., Hoch, G., Vitasse, Y., & Koerner, C. (2013). European deciduous trees exhibit similar safety margins against damage by spring freeze events along elevational gradients. *New Phytologist*, 200(4), 1166–1175. doi:[10.1111/nph.12452](https://doi.org/10.1111/nph.12452)

19. Cittadini, E. D., de Ridder, N., Peri, P. L., & van Keulen, H. (2006). A method for assessing frost damage risk in sweet cherry orchards of South Patagonia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 141(2-4), 235–243. doi:[10.1016/j.agrformet.2006.10.011](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.10.011)

20. Poirier, M., Lacomte, A., & Améglio, T. (2010). A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. *Tree Physiology*, 30(12), 1555–1569. doi:[10.1093/treephys/tpq087](https://doi.org/10.1093/treephys/tpq087)

21. Kawamura, K. (2010). A conceptual Framework for the study of modular responses to local environmental heterogeneity within the plant crown and a review of related concepts. *Ecological Research*, 25(4), 733–744. doi:[10.1007/s11284-009-0688-0](https://doi.org/10.1007/s11284-009-0688-0)

22. Charrier, G., Poirier, M., Bonhomme, M., Lacomte, A., & Améglio, T. (2013b). Frost acclimation in different organs of walnut trees *Juglans regia* L.: how to link physiology and modelling?. *Tree Physiology*, 33(11), 1229–1241. doi:[10.1093/treephys/tpt090](https://doi.org/10.1093/treephys/tpt090)

23. Havryliuk, O., & Kondratenko, T. (2019). Specific of the Assimilation Surface of Columnar Apple-Tree. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 3, 57–65. doi:[10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.057-065](https://doi.org/10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.057-065)

24. Havryliuk, O.S., Kondratenko, T.E., & Kytaiev, O.I. (2019). of the functional state of plants of colonial cultivars of apple. *Plant and Soil Science*, 10(2), 70–80. (in Ukraine). doi:[10.31548/agr2019.02.070](https://doi.org/10.31548/agr2019.02.070)

25. Winkel, T., Lhomme, J.P., Nina Laura, J.P., Alcon, C.M., del Castillo, C., & Rocheteau, A. (2009). Assessing the protective effect of vertically heterogeneous canopies against radiative frost: the case of quinoa on the Andean Altiplano. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(10), 1759–1768. doi:[10.1016/j.agrformet.2009.06.005](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.06.005)

26. Havryliuk, O.S., & Kondratenko, T.E. (2020). The intensity of photosynthesis of the surface of columnar apple-tree in the conditions of Kyiv. *Scientific reports of NULES of Ukraine*, 2(84). (in Ukraine). doi:[10.31548/dopovidi2020.02.013](https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.013)

27. Nobel, P.S. (1980). Morphology, nurse plants, and minimum apical temperatures for young *Carnegiea gigantea*. *Botanical Gazette*, 1980, 141(2), 188–191. doi:[10.1086/337142](https://doi.org/10.1086/337142)

28. Rodrigo, J. (2000). Spring frosts in deciduous fruit trees—morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, 85(3), 155–173. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00150-8)

29. Sakai, A., & Larcher, W. (1987). “Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress”. *Ecological Studies* (Berlin: Springer Verlag), 62, 321 p. doi:[10.1007/978-3-642-71745-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-71745-1)

30. Man, R., Colombo, S., Kayahara, G.J., Duckett, S., Velasquez, R., & Dang, Q.L. (2013). A case of extensive conifer needle browning in northwestern Ontario in 2012: winter drying or freezing damage?. *The Forestry Chronicle*, 89, 675–680. doi:[10.5558/tfc2013-120](https://doi.org/10.5558/tfc2013-120)

31. Tranquillini, W. (1979). *Physiological Ecology of the Alpine Timberline*. Berlin: Springer-Verlag., 31. doi:[10.1007/978-3-642-67107-4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-67107-4)

32. Kalberer, S.R., Wisniewski, M., & Arora, R. (2006). Deacclimation and reacclimation of cold-hardy plants: current understanding and emerging concepts. *Plant Science*, 171(1), 3–16. doi:[10.1016/j.plantsci.2006.02.013](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.02.013)

33. Pagter, M., Hausman, J.F., & Arora, R. (2011). Deacclimation kinetics and carbohydrate changes in stem tissues of *Hydrangea* in response to an experimental warm spell. *Plant Science*, 2011, 180(1), 140–148. doi:[10.1016/j.plantsci.2010.07.009](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.07.009)

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.

34. Saarinen, T., Lundell, R., & Hanninen, H. (2011). Recovery of photosynthetic capacity in *Vaccinium vitis-idaea* during mild spells in winter. *Plant Ecology*, 212, 1429–1440. doi:[10.1007/s11258-011-9918-y](https://doi.org/10.1007/s11258-011-9918-y)
35. Lim, C.C., Krebs, S.L., & Arora, R. (2014). Cold hardiness increases with age in juvenile *Rhododendron* populations. *Front. Plant Sci.*, 5:542. doi:[10.3389/fpls.2014.00542](https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00542)
36. Pramsohler, M., Hacker, J., & Neuner, G. (2012). Freezing pattern and frost killing temperature of apple (*Malus domestica*) wood under controlled conditions and in nature. *Tree Physiology*, 32(7), 819–828. doi:[10.1093/treephys/tps046](https://doi.org/10.1093/treephys/tps046)
37. Charrier, G., Pramsohler, M., Charra-Vaskou, K., Saudreau, M., Améglio, T., Neuner, G., et al. (2015). Ultrasonic emissions during ice nucleation and propagation in plant xylem. *New Phytologist*, 207(3), 570–578. doi:[10.1111/nph.13361](https://doi.org/10.1111/nph.13361)
38. Hacker, J., Ladinig, U., Wagner, J., & Neuner, G. (2011). Inflorescences of alpine cushion plants freeze autonomously and may survive subzero temperatures by supercooling. *Plant Science*, 180(1), 149–156. doi:[10.1016/j.plantsci.2010.07.013](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.07.013)
39. Kuprian, E., Briceño, V.F., Wagner, J., & Neuner, G. (2014). Ice barriers promote supercooling and prevent frost injury in reproductive buds, flowers and fruits of alpine dwarf shrubs throughout the summer. *Environmental and Experimental Botany*, 106, 4–12. doi:[10.1016/j.envexpbot.2014.01.011](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.01.011)
40. Pramsohler, M., & Neuner, G. (2013). Dehydration and osmotic adjustment in apple stem tissue during winter as it relates to the frost resistance of buds. *Tree Physiology*, 33(8), 807–816. doi:[10.1093/treephys/tpt057](https://doi.org/10.1093/treephys/tpt057)
41. Rowland, L.J., Ogden, E.L., Takeda, F., Glenn, D.M., Ehlenfeldt, M.K., & Vinyard, B.T. (2013). Variation among highbush blueberry cultivars for frost tolerance of open flowers. *HortScience*, 48(6), 692–695. doi:[10.21273/HORTSCI.48.6.692](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.6.692)
42. Andergassen, S., & Bauer, H. (2002). Frost hardiness in the juvenile and adult life phase of ivy (*Hedera helix* L.). *Plant Ecology*, 161, 207–213. doi:[10.1023/A:1020365422879](https://doi.org/10.1023/A:1020365422879)
43. Lardon, A., & Triboi-Blondel, A.M. (1994). Freezing injury to ovules, pollen and seeds in winter rape. *Journal of Experimental Botany*, 45(8), 1177–1181. doi:[10.1093/jxb/45.8.1177](https://doi.org/10.1093/jxb/45.8.1177)
44. Michaletz, S.T., & Johnson, E.A. (2006). Foliage influences forced convection heat transfer in conifer branches and buds. *New Phytologist*, 170(1), 87–98. doi:[10.1111/j.1469-8137.2006.01661.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01661.x)
45. Trokhymchuk, A.I., Makarova, D.H., & Kytaiev, O.I. (2012). Frost resistance potential of introduced varieties of apple (*Malus domestica* Borkh.) in the conditions of the Western forest-steppe of Ukraine. *Scientific reports of NULES of Ukraine*, (180), 187–192. (in Ukraine)
46. Torop, V.V., Hrokholskyi, V.V., Skrypchenko, N.V., & Moroz, P.A. (2005). Study of frost resistance of actinidia. *Horticulture*, 56, 213–221. (in Ukraine)
47. Vasiuta, V.M., & Sereda, I.I. (2005). Peculiarities of frost resistance of apple trees in intensive orchards. *Horticulture*, 56, 189–195. (in Ukraine)
48. Honcharuk, Yu.D. (2012). Winter hardiness of scab-immune varieties of apple (*Malus domestica* Borkh.). *Scientific Bulletin of the NULES of Ukraine*, (180), 192–199. (in Ukraine)
49. Soloveva, M.A. (1988). *Atlas of damage to fruit berry crops by frost*. 48 p. (in Russian)
50. Hrokholskyi, V.V. (2003). Methods of determining damage to fruit crops due to wintering, spring and autumn frosts. *Monitoring of fruit crops*, 2003. 127–135. (in Ukraine)
51. Palahecha, R.M., Hrokholskyi, V.V., Kytaiev, O.I., & Fomichova, S.V. (2008). Frost resistance of deciduous magnolia shoot tissues. Introduction and conservation of plant diversity. *Bulletin of the Kyiv National University named after Taras Shevchenko*, (8), 52–55.
52. Adamenko, T.I., Kulbida, M.I., & Prokopenko, A.L. (2011). *Agroclimatic guide for the territory of Ukraine*. Kamianets-Podilskyi : PP Halahodza R.S. 108 p. (in Ukraine)
53. Adamenko, T.I. (2014). *Agroclimatic zoning of the territory of Ukraine*

Гаврилюк О. С., Кондратенко Т. Є., Мазур Б. М.

taking into account climate change. Kyiv : TOV «RIA»BLITs. 18 p. (in Ukraine).

54. Adamenko, T.I. (2008). Peculiarities of the development of spring processes in Ukraine during the period of global warming.. *Ahronom*, № 1. 10–11. (in Ukraine).

55. DSTU 7863:2015. (2016). Soil quality. Determination of easily hydrolyzable nitrogen by the Kornfield method. [Effective from 2016-07-01]. View. officer Kyiv: State Enterprise "UkrNDNC". 5 p. (in Ukraine)

56. DSTU 4115-2002. (2003). Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by the modified Chirikov method. [Effective from 2003-01-01]. Kyiv: State Committee of Ukraine for Technological Regulation and Consumer Policy, 9 p. (in Ukraine)

57. Mezhenyskyi, V.M. (2017). *Basics of scientific research in horticulture. Calculations in Microsoft Excel: Tutorial*. Kyiv: Lira-K Publishing House. 212 p.

FROST RESISTANCE OF THE COLUMNAR APPLE TREE THE METHOD OF DIRECT FREEZING

O. Havryliuk, T. Kondratenko, B. Mazur

Abstract. Frost stress strongly affects the spatial distribution of plants. Among various weather hazards, frost causes the greatest economic losses in agriculture. Among various environmental hazards, it is frost that causes the greatest economic losses in agriculture. Although frost severely limits life forms and creates enormous economic losses, it has not been studied as thoroughly as other biotic or abiotic stresses. Frost resistance can be affected by many factors, including microclimate, soil condition, plant height, but they must be studied in a complex. The purpose of the research was to select frost-resistant cultivars and hybrids of the columnar apple tree under the conditions of the Forest Steppe of Ukraine. The research was carried out during 2021–2022 at the V.L. Symyrenko Department of Horticulture of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. The experimental basis for conducting research was the columnar apple tree plantations of the Training Laboratory «Fruit and Vegetable Garden». Frost resistance was determined during the period of deep rest by the method of direct freezing of one-year increments. Freezing was performed in the laboratory of plant physiology and microbiology of the National Academy of Sciences of Ukraine. In the researched plantations, when the test samples were frozen at temperatures of -25 and -30 °C during deep rest, different resistance of varieties and shoot parts to low temperatures was found. In all cultivars and hybrids of columnar type apple trees, the apical bud and generative buds were the most vulnerable, and the tissues of the middle and upper part of the shoot were the most resistant to frost. The damage index during general freezing was the lowest in the cultivars 'Valuta', 'Sparta', 'Favoryt', 'Bilosnizhka', as well as in the hybrids '9/110 Mykhailivske', '11/15(2)' and '9/78 Viktoriia'; it was the largest in the 'Bolero' cultivars. Freezing of experimental samples at temperatures of -25 and -30 °C did not result in frostbite, critical for plants. All studied cultivars and hybrids of columnar apple trees are recommended for further research and production. The obtained results will be interesting for both experienced gardeners and amateur gardeners who plan to grow columnar apple trees in their garden.

Keywords: «Co» gene, cultivars and hybrids of apple trees, fruit formations, influence of climate, shoot