






УДК 631.53.02:633

Урожайність кіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) залежно від холодової стратифікації насіння

 С. М. Каленська¹,  Н. В. Новицька^{1*},  О. М. Мартинов²,
 В. В. Мельниченко³,  О. П. Чубко⁴, Д. С. Єлізаров¹

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: novictska@ukr.net

²Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Горіхуватський шлях, 15, м. Київ, 03041, Україна

³Natural Fertilizers Limited, 23 Grattan Court, Celbridge, Co. Kildare, Ireland

⁴ТОВ «Агротехносоюз», вул. Заводська, 2, с. Пупрівка, Фастівський р-н, Київська обл., 08623, Україна

Мета. Виявити вплив холодової стратифікації насіння на ріст, розвиток та формування врожайності кіноа. **Методи.** Дослідження проводили у 2022–2023 рр. у навчально-науковій лабораторії «Демонстраційне колекційне поле сільськогосподарських культур» кафедри рослинництва Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ) та в лабораторіях кафедри рослинництва НУБіП України «Якості насіння та садивного матеріалу» та «Аналітичні дослідження в рослинництві». Схема досліду: 1) контрольне насіння (КН); 2) стратифіковане насіння (СН) – після тривалої (7 діб) дії низьких позитивних (0–4 °С) температур у ходильній камері. Площа ділянки в дрібноділянковому досліді – 2 м², повторність – шестиразова. **Результати.** Стратифіковане насіння сорту 'Квартет' проростало швидше за контрольне, сходи з'являлися на 5 добу після сівби. Фенологічні фази цвітіння й досягання в рослин кіноа, вирощених з насіння після холодової стратифікації, тривали довше порівняно з рослинами на контрольних ділянках. Холодова стратифікація насіння сприяла тривалішому вегетаційному періоду та підвищенню висоти рослин – до 116,3 см. Витримування насіння кіноа в умовах тривалої (7 діб) дії низьких позитивних (0–4 °С) температур у ходильній камері сприяло підвищенню довжина волоті на 3,2 %, кількість гілочок на волоті – на 8 %, маси насіння з однієї рослини – на 2,3 %, маси 1000 насінин – на 3,9 %. Урожайність культури досягала 1,86 т/га. **Висновки.** Холодова стратифікація насіння кіноа перед сівбою сприяє прискоренню схожості й швидкості проростання, польова схожість підвищується на 5 %, сходи з'являються на 4 доби раніше, вегетаційний період подовжується. Витримування насіння кіноа в умовах тривалої (7 діб) дії низьких позитивних (0–4 °С) температур у ходильній камері сприяє підвищенню показників індивідуальної продуктивності рослин та на 2,8 % врожайності культури.

Ключові слова: кіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.); насіння; холодова стратифікація; вегетація; висота рослин; індивідуальна продуктивність; урожайність.

Вступ

Кіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) – місцева культура з берегів високогірного озера Тітікака, звідки рослина поширилась долинами й терасами гірських схилів Анд, має важливе історичне та культурне значення, починаючи з моменту одомашнення, за різними свідченнями приблизно від 7000 до 3000 років тому. Інки шанували кіноа як священну рослину, називаючи її «материнським зерном» [1–3]. Завдяки винятковим поживним якостям та здатності адаптуватися до несприятливих кліматичних умов кіноа набула популярності в усьому світі, тому Продовольча та сільськогосподарська організація (Food and Agriculture Organization, FAO) ООН оголосила 2013 рік «Міжнародним роком кіноа» [4]. На сьогодні її визнають «суперпродуктом», світовим еталоном злакових, «золотим зерном» і крупою майбутнього, основою здорового харчування, що впливає на тривалість життя всього людства [5].

Каленська С. М., Новицька Н. В., Мартинов О. М., Мельниченко В. В., Чубко О. П., Єлізаров Д. С. Урожайність кіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) залежно від холодової стратифікації насіння. *Новітні агротехнології*. 2024. Т. 12, № 2. <https://doi.org/10.47414/na.12.2.2024.308580>

Хоча кіноа вирощують понад 120 країн, більшість виробництва залишається зосередженим в регіоні Анд, зокрема в Перу та Болівії. У 2020 році цим країнам належало приблизно 97 % світового виробництва кіноа, зокрема Перу – 100 тис. т (57 %), Болівії – 70 тис. т (40 %). Загалом світове виробництво кіноа перевищує 175 тис. т із середньою врожайністю 0,93 т/га [6, 7]. Таке вузьке коло виробників кіноа спонукало такі країни, як Китай, ініціювати у 2015 році створення загальнонаціональної програми дослідження, виробництва та розвитку сортів кіноа та Комітет кіноа Товариства рослинництва Китаю (QCCSSC). Таким чином, за межами зони вирощування кіноа в Південній Америці, Китай вийшов на третє місце серед виробників з 20 тис. т із середньою врожайністю 1,67 т/га [8], яка перевищує середній показник Андського регіону. Окрім Перу та Болівії, лише шість інших країн вирощують кіноа на площі від 500 до 5000 га [6]. Сполучені Штати, хоч і виробляють невелику кількість кіноа, залишаються найбільшим у світі споживачем та імпортером зерна цієї культури. У 2021 році США імпортували близько 28,3 млн кг кіноа на суму приблизно 69 мільйонів доларів США [9], що підкреслює необхідність збільшення обсягів внутрішнього виробництва культури.

Кіноа належить до псевдозернових. Воно відрізняється від звичайних злаків тим, що її дрібне насіння ботанічно не класифікується як зерно [10]. Однак, уміст поживних речовин і використання на харчові потреби схожі, тому кіноа можна використовувати так само, як, наприклад, рис – у вигляді гарнірів, різноманітних сумішей з овочами та м'ясом або його рослинних альтернатив (тофу, темпе, сейтан). У світі є понад 3000 сортів кіноа, проте найчастіше розрізняють білу, червону та чорну кіноа. Кожна з них має дещо відмінний поживний профіль, але всі вони містять високий рівень цінних мікроелементів. Саме тому вона вважається суперпродуктом [11, 12].

Кіноа містить аскорбінову кислоту, вітамін Е, токоферолі та вітаміни групи В: ніацин, фолієву кислоту, тіамін. Мінерали (кальцій, калій, залізо, марганець, магній, фосфор), а також ізофлавоноїди та найкращий тип тригліцеридів. За кількістю альфа-токоферолу, фолієвої кислоти, рибофлавіну плоди кіноа в разі перевершують рис, пшеницю або ячмінь [13]. Порівняно зі злаками, як-от ячмінь, рис, кукурудза та овес, кіноа виділяється вищим загальним умістом білка [14]. Зерно кіноа також має високий рівень біоактивних сполук, як-от флавоноїди, фенольні кислоти, біоактивні пептиди, фітостероли та сапоніни [15]. До того ж білок кіноа не має у своєму складі глютену, тому показаний для алергіків.

Кількість білка, що міститься в плодах цієї рослини (16–20 %), наближається (а в деяких сортах навіть перевершує) аналогічні показники в амаранту та гречки. За вмістом фосфору плоди кіноа не поступаються осетровим сортам риби, а кількість заліза в них є вдвічі вищою, ніж у зернах пшениці. Набір амінокислот, що входять до складу білка, ідентичний складовим материнського молока. Він ідеальний для людського організму, тому засвоюється на 100 %. Кіноа рекомендується включати до раціону вагітним, дітям та спортсменам, але вводити його в їжу потрібно поступово. Значна кількість білка й оксалатів може виявитись не надто сприятливою в разі порушення роботи нирок (подагра, щавлево-кислий діатез і т. ін.). Окрім білка, в насінні кіноа присутні жири, що містять значну кількість лецитинової кислоти, широкий спектр вітамінів, макро- та мікроелементів [16–18]. Поживністю вирізняються також листки кіноа, які містять більше білка, ніж зерно, а також неорганічні поживні речовини, як-от кальцій, фосфор, залізо та цинк [19]. Завдяки цим поживним властивостям і користі для здоров'я кіноа вважається новою та здоровою їжею, завдяки чому її називають «суперпродуктом». Стійкість і висока поживна якість зробили кіноа потенційною стратегічною культурою для продовольчої та харчової безпеки [4, 20] і визнано «одним із зернових культур 21 століття» [21].

Кіноа вирізняється адаптаційними властивостями до різноманітних кліматичних умов, володіючи стійкістю до різних абіотичних стресів, включаючи посухо- та жаростійкість, холодо- та солестійкість [22–24]. Зокрема, кіноа давно і успішно вирощується в надзвичайно посушливих регіонах, таких як Чилі, північний захід Аргентини та регіон Альтиплано в Болівії та Перу, де кількість опадів є обмежувачим фактором для вирощування ряду інших культур [25, 26]. Одним із способів досягнення цього є використання рослиною кіноа механізмів уникнення стресу у відповідь на обмежену доступність води [27], що передбачає балансування втрати та поглинання вологи. Ніноґоса та ін. [25] припустили, що кіноа може протистояти посуховому стресу, збільшуючи поглинання води для стимуляції росту коренів і підвищуючи вміст проліну та загального вмісту розчинних цукрів з метою регулювання осмотичного потенціалу клітин. Крім того, після сильної посухи кіноа швидко відновлює листоутворення та має низьку точку в'янення листя, що свідчить про її здатність швидко відновлюватися та продовжувати вегетацію. Гамез та ін. [28] пов'язують

посухостійкість кіноа з сильнішим розвитком коренів і кращим регулюванням відкриття продохів, здатністю збільшувати вміст осморегуляторів (таких сполук, як пролін, глутамін, глутамат, K та Na). Уповільнене відкриття продохів і повільну транспірацію вчені також пов'язують з вищою концентрацією абсцизової кислоти у листках кіноа. Ці унікальні характеристики роблять кіноа придатною для вирощування в посушливих і напівпосушливих регіонах з мінімальним додатковим зрошенням [29, 30].

Насіння в кіноа досить дрібне (близько 0,3 см) та водночас надзвичайно врожайне: з 200 г висіяних насінин можна зібрати від 0,6 до 1 т врожаю. До того ж воно вирізняється швидким проростанням. Якщо замочити насіння у воді, то вже через 6–8 годин воно прокльонеться. Єдина вимога культури: температура ґрунту на глибині 5–15 см у період проростання насіння має знаходитися в межах +6–8 °С. У наших широтах такі умови створюються зазвичай у середині квітня – травні. Насіння кіноа не любить сильну спеку, тому в південному кліматі практикується сівба кіноа після нетривалої холодової стратифікації, коли насіння витримують дві-три доби у холодильній камері [5, 31]. Загалом кіноа доволі вимогливе до технології вирощування, чутливо реагує на природні умови, характеризується невисокою врожайністю, що впливає на ціну. Але її висока поживна цінність переважає наведені вище аргументи, відкриваючи обнадійливі перспективи для виробників.

Мета досліджень – виявити вплив холодової стратифікації насіння на ріст, розвиток та формування врожайності кіноа.

Матеріал та методика досліджень

У 2022–2023 рр. досліджували можливість стимуляції ростових процесів насіння кіноа за рахунок тривалої дії низьких позитивних температур – холодової стратифікації та її вплив на проростання в лабораторних і польових умовах, ріст і розвиток посівів та формування продуктивності кіноа. Польовий дрібноділянковий дослід закладали у навчально-науковій лабораторії «Демонстраційне колекційне поле сільськогосподарських культур» кафедри рослинництва Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ). Лабораторні дослідження проводили в лабораторіях кафедри рослинництва НУБіП України «Якості насіння та садивного матеріалу» та «Аналітичні дослідження в рослинництві».

Ґрунти ННВ «Демонстраційне колекційне поле сільськогосподарських культур» кафедри рослинництва переважно сірі лісові грубопилувато-легкосуглинкові за гранулометричним складом (табл. 1). У профілі сірих лісових ґрунтів виділяють такі горизонти: Но – лісова підстилка (лише у ґрунтах під лісом); Н – гумусовий потужністю 12–30 см, сірого забарвлення; НЕ – гумусово-елювіальний, з білястою присипкою SiO₂; І – ілювіальний з горіхуватою або горіхувато-призматичною структурою (на структурних окремостях наявні гумусові плівки), сіро-бурого забарвлення; С – материнська порода.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники сірого лісового ґрунту дослідної ділянки

Тип ґрунту	Шар, см	Вміст гумусу, %	рН сольової витяжки	Сума увібраних основ, мг-екв/100 г ґрунту	Кількість увібраних катіонів, мг-екв/100 г ґрунту			Вміст рухомих форм поживних речовин, мг/100 г ґрунту		
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	N ⁺	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Сіро лісовий	0–10	3,0	5,8	10	9,1	1,9	3,1	8,3	12	10,1
грубопилувато-легкосуглинковий	20–30	2,1	6,1	15	12,5	2,3	2,2	6,2	7,5	4,2

Гумусово-елювіальний горизонт цих ґрунтів становить 50–60 см, карбонати залягають з глибини 110–150 см. За гранулометричним складом вони середньосуглинкові. Уміст гумусу в орному шарі становить 2,1–3,0 %, сума увібраних основ — 10–15 мг-екв/100 г ґрунту, ступінь насиченості основами 82–88 %, реакція ґрунтового розчину слабкокисла (рН = 5,8–6,1). Ґрунтові води залягають на глибині 2–4 м. Щільність ґрунту в рівноважному стані 1,1–1,2 г/см³, вологість стійкого в'янення 10,2 %. Повна вологоємність ґрунту становить 39–40 %, польова вологоємність

цього ґрунту становить 27,2 %, вологість розриву капілярів – 19,4 %, максимальна гігроскопічність 7,3 %, недоступна для рослин вологість становить 10 %.

Клімат регіону дослідної станції помірно континентальний. Середня річна температура повітря становить +6,7–7,3 °С з відносною вологістю 81 %. Середня температура самого теплого місяця (липня) складає +19,7 °С, а самого холодного (січня) – –6,9 °С. Сумарна сонячна радіація досягає 92–95 ккал/см² (3840,1–4053,4 Мдж/м²) за рік, а на частину сумарної ФАР (фотосинтетично-активної радіації) приходить 39 ккал/см² (1659,7 Мдж/м²) за період вегетації з температурою повітря понад +5 °С.

У дослідженнях використовували насіння першого зареєстрованого вітчизняного сорту кіноа 'Квартет'. Дослід включав варіанти:

- 1) контрольне насіння (КН);
- 2) стратифіковане насіння (СН) – після тривалої (7 діб) дії низьких позитивних (0–4 °С) температур у ходильній камері.

Площа ділянки в дрібноділянковому досліді – 2 м², повторність – шестиразова.

Статистично результати досліджень обробляли методом дисперсійного аналізу з використанням прикладної програми Statistica 10 [32].

Кіноа 'Квартет'. Оригіна́тор – Сумський національний аграрний університет. Внесений до Реєстру сортів рослин України як сорт зернового напрямку. Основні характеристики сорту: холодостійкий для вирощування в умовах північного-східного Лісостепу України; високоврожайний (до 3 т/га); придатний для механічного збирання. Висота рослини – 110 см. Тривалість періоду від сходів до досягання насіння – 100 діб. Група стиглості – рання. Уміст у зерні білка – 14,1 %; сапонінів – 2,83 %. Облистяність – 75,0 %. Маса 1000 насінин – 3,41 г.

Технологія вирощування кіноа в досліді: обробіток ґрунту традиційний для ранніх ярих зернових: з осені – оранка, навесні – закриття вологи, передпосівна культиву́ація і сівба. Кіноа висівали вручну широкорядним способом з відстанню у міжряддях 50 см, між насінням 5–7 см, глибина загортання насіння 1,0–1,5 см. Норму висіву розраховували відповідності до рекомендацій – 0,2 кг/га. Сівбу щорічно проводили в першій декаді травня, за настання стійкої температури ґрунту на глибині 5–15 см на рівні +6–8 °С [33]. Догляд за посівами складався із боротьби з бур'янами міжрядними обробітками, ручними прополюваннями. Для боротьби із попелицями застосовували інсектицид Актара. Збирали врожай у першій декаді вересня після повного пожовтіння й опадання листя. Суцвіття зрізували, обмолочували і очищали від вороху на системі лабораторних решіт. Процес визначення структури врожаю та очищення насіння представлено на рисунках 1–4.



Рис. 1. Волоть кіноа з насіння після холодової стратифікації (1–3) та з контрольних ділянок (4–6)



Рис. 2. Очищення насіння кіноа на лабораторних решетах, ворох після обмолочування волоті та очищене насіння



Рис. 3. Поділ волоті кіноа на складники

Результати досліджень

Вивчаючи ріст та розвиток рослин кіноа, виділяли такі фенофази: сходи, утворення волоті, цвітіння, молочна стиглість та досягання. У першій половині вегетації рослини кіноа росли досить повільно. Зокрема, у початковий період (до досягнення рослинами висоти 30 см) розвиток сходів відбувався досить повільно. Кіноа, розвиваючи глибокопроникаючий стрижневий корінь, практично не потребує поливу і належить до однорічних посухостійких рослин. Культурі досить одного поливу в період від масових сходів до трьох справжніх листків. У другій половині вегетації картина суттєво змінилася. Перед настанням фази цвітіння у кіноа спостерігалось стрімке нарощування вегетативної маси та посилення росту. Потім відбувалося викидання волоті й почалася фаза цвітіння. Середньодобовий приріст рослин кіноа в цей період досягав 3–4 см.

Рослини кіноа 'Квартет' у досліджуваних варіантах встигали пройти цикл розвитку від насіння до насіння (табл. 2). Настання фенологічних фаз сортів кіноа та тривалість вегетаційного періоду у наших дослідженнях варіювали залежно від підготовки насіння до сівби.

Таблиця 2

**Фенологічні спостереження за ростом та розвитком рослин
кіноа 'Квартет' (середнє за 2022–2023 рр.)**

Варіант досліджу	Польова схожість, %	Діб після сівби				
		сходи	утворення волоті	цвітіння	молочна стиглість	достигання (збирання)
КН	90,2	9	35	43	64	108
СН	95,3	5	30	39	62	112

Відмічено позитивний вплив холодової стратифікації насіння на швидкість і дружність появи сходів. Зокрема, витримування насіння в умовах тривалої (7 діб) дії низьких позитивних (0–4°C) температур в ходильній камері сприяло підвищенню польової схожості насіння кіноа до 95,3 %, тоді як контрольне насіння мало 90,2 % польової схожості. Водночас стратифіковане насіння проростало швидше за контрольне і появу сходів у цьому варіанті досліджу відмічено на 5-ту добу після сівби, у контрольному – на 9-ту. Відповідно у варіанті досліджу СН спостерігався прискорений ріст і розвиток рослин кіноа порівняно з варіантом контролю – утворення волоті відбувалося на п'ять діб раніше контрольних ділянок, цвітіння – на чотири. Відповідно фенологічні фази цвітіння й достигання у рослин кіноа, вирощених з насіння після холодової стратифікації, тривали довше порівняно з рослинами на контрольних ділянках. Проте фаза молочної стиглості у рослин на ділянках контрольного та стратифікованого насіння спостерігалася практично одночасно – на 62–64-ту добу після сівби. Загалом завдяки швидшій появі сходів тривалість вегетаційного періоду в рослин кіноа 'Квартет', вирощених зі стратифікованого насіння, була довшою на чотири доби і становила 112 діб проти 108 діб у варіанті контролю.

Холодова стратифікація насіння сприяла тривалішому вегетаційному періоду та підвищенню висоти рослин – 111,0 см на контрольному варіанті і 116,3 см на варіанті сівби стратифікованого насіння (табл. 3).

Таблиця 3

**Елементи структури врожаю та врожайність кіноа 'Квартет'
(середнє за 2022–2023 рр.)**

Варіант досліджу	Висота рослин, см	Довжина волоті, см	Кількість гілочок волоті, шт.	Маса волоті з насінням, г	Маса насіння однієї рослини, г	Маса 1000 насінин, г	Урожайність, т/га
КН	111,0	46	18,7	21,2	12,8	2,85	1,81
СН	116,3	48	19,3	22,9	13,1	2,96	1,86
HP _{0,05}	1,2	2	0,7	0,5	0,7	0,12	0,03

Установлено, що допосівна холодова стратифікація насіння кіноа позитивно вплинула на формування елементів структури врожаю та врожайність культури. Проморожування насіння кіноа перед сівбою сприяло подовженню вегетаційного періоду та повнішому розкриттю потенціалу продуктивності рослин. Зокрема, у варіанті досліджу СН довжина волоті рослин кіноа перевищувала варіант КН на 3,2 %, кількість гілочок на волоті – на 8 %, маса насіння з однієї рослини – на 2,3 %, маса 1000 насінин – на 3,9 % і врожайність культури – на 2,8 %. Загалом врожайність кіноа 'Квартет' у Правобережному Лісостепу України варіювала в межах 1,81–1,86 т/га залежно від допосівної підготовки насіння. Холодова стратифікація насіння забезпечила достовірне перевищення врожайності культури на контрольному варіанті досліджу на 0,05 т/га.

Отримані результати досліджень узгоджуються з результатами багатьох досліджень [29, 34–37], які виявили позитивну кореляцію між урожайністю зерна кіноа та іншими агрономічними ознаками, включаючи висоту рослини, масу 1000 насінин і довжину волоті, що свідчить про те, що вищі значення цих агрономічних ознак забезпечують вищу врожайність зерна. Інші автори також виявили позитивну кореляцію між урожаєм зерна та довжиною волоті [35–38] і висотою рослини [39]. Крім того, спостерігалася позитивна кореляція між днями до дозрівання, висотою рослини та довжиною волоті, що вказує на те, що на зрілість насіння можуть впливати ці агрономічні параметри під час збирання врожаю [18]. Натомість у дослідженнях De Santis та ін. [40], проведених у Фоджі на півдні Італії із 17-ма зразками кіноа (*Ch. quinoa*), згрупованих за кольором насіння (охра та жовтий), відмічено нижчу на 30 % врожайність насіння для групи насіння кольору охри за рахунок підвищеної на 13 % висоти рослин, тривалішого періоду вегетації (у середньому на +6 діб) та меншої на 21 % довжини волоті.

Висновки

Вирощування кіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) в умовах правобережного Лісостепу України дає змогу отримати врожайність на рівні 1,8 т/га, проте потребує значних затрат ручної праці на боротьбу з бур'янами. Холодова стратифікація насіння кіноа перед сівбою сприяє прискоренню схожості та швидкості проростання, польова схожість підвищується на 5 %, сходи з'являються на чотири добри раніше, вегетаційний період подовжується. Витримування насіння кіноа в умовах тривалої (сім діб) дії низьких позитивних (0–4°C) температур у ходильній камері сприяє підвищенню показників індивідуальної продуктивності рослин та на 2,8 % врожайності культури.

Використана література

1. Bazile D., Pulvento C., Verniau A. et al. Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article 850. doi: 10.3389/fpls.2016.00850
2. Walters H., Carpenter-Boggs L., Desta K. et al. Effect of irrigation, intercrop, and cultivar on agronomic and nutritional characteristics of quinoa. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2016. Vol. 40. P. 783–803. doi: 10.1080/21683565.2016.1177805
3. Jacobsen S-E. The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2017. Vol. 203, Iss. 6. P. 603–613. doi: 10.1111/jac.12228
4. «Resolution» in *Quinoa: An ancient crop to contribute with world food security*, FAO regional Office for Latin America and the Caribbean. Santiago de Chile : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. URL: <https://www.fao.org/4/aq287e/aq287e.pdf>
5. Троценко В. І., Коваленко І. М., Ільченко В. О. Стан та перспективи культури кіноа в північносхідному лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агронія і біологія*. 2017. Вип. 9. С. 77–81.
6. Alandia G., Rodrigue J., Jacobsen S.-E. et al. Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*. 2020. Vol. 26. Article 100429. doi: 10.1016/j.gfs.2020.100429
7. FAOSTAT Database. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
8. Xiu-Shi Y., Pei-You Q., Hui-Min G., Gui-Xing Y. R. Quinoa industry development in China. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*. 2019. Vol. 46. P. 208–219. doi: 10.7764/rcia.v46i2.2157
9. Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/486411/us-quinoa-imports/#:~:text=This%20statistic%20features%20quinoa%20imports,kilograms%20in%20the%20previous%20year>
10. Walters R. Pseudocereals: Super Foods, or Pantry Hokum (en línea). 2013. URL: <http://open-furrowagrosphere.net/Documents/UTW/Pseudocereals.pdf>
11. Троценко В. І., Вандик М. І. Перспективи поширення кіноа в північно-східному Лісостепу України. *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche*. Bologna, Repubblica Italiana, 2023. P. 48–49. doi: 10.36074/logos-03.03.2023.13
12. Vega-Gálvez A., Miranda M., Vergara J. et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010. Vol. 90, Iss. 5. P. 2541–2547. doi: 10.1002/jsfa.4158
13. Mohyuddin S. G. Quinoa is beneficial to the comprehensive nutritional value of potential health. *Pakistan Journal of Science*. 2023. Vol. 71, Iss. 2. P. 69–74. doi: 10.57041/pjs.v71i2.272
14. Sindhu R., Khatkar B. S. Pseudocereals: nutritional composition, functional properties, and food applications. *Food Bioactives* / S. C. Deka, D. Seth (Eds.). New Jersey : Apple Academic Press, 2019. P. 129–147.
15. Olivera L., Best I., Paredes P. et al. Nutritional value, methods for extraction and bioactive compounds of quinoa. *IntechOpen*. 2022. Vol. 2022. doi: 10.5772/intechopen.101891
16. Pathan S., Siddiqui R. A. Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Greens: A Review. *Nutrients*. 214, Iss. 3. Article 558. doi: 10.3390/nu14030558
17. Bazile D., Baudron F. The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity. *State-of-the-art report of quinoa in the world in 2013* / D. Bazile, H. D. Bertero, C. Nieto (Eds.). Rome : FAO and CIRAD, 2015. P. 42–55. URL: <https://www.fao.org/3/a-i4042e.pdf>
18. Gordillo-Bastidas E., Diaz-Rizzolo D. A., Roura E. et al. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), from nutritional value to potential health benefits: an integrated review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*. 2016. Vol. 6, Iss. 3. Article 497. doi: 10.4172/2155-9600.1000497
19. Villacrés E., Quelal M., Galarza S. et al. Nutritional Value and Bioactive Compounds of Leaves and Grains from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11, Iss. 2. Article 213. doi: 10.3390/plants11020213
20. Rojas W., Pinto M., Alanoca C. et al. Quinoa genetic resources and ex-situ conservation. *State of the art report on quinoa around the world in 2013* / D. Bazile (Ed.). Rome : FAO, 2015. P. 56–82.
21. Vilcacundo R., Hernández-Ledesma B. Nutritional, and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion Food Science*. 2017. Vol. 14. P. 1–6. doi: 10.1016/j.cofs.2016.11.007

22. Fuentes F., Bhargava A. Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2011. Vol. 197. P. 124–134. doi: 10.1111/j.1439-037X.2010.00445.x
23. Rao N. K., Shahid M. Quinoa – a promising new crop for the Arabian peninsula. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 2012. Vol. 2. P. 1350–1355. doi: 10.5829/idosi.ajeaes.2012.12.10.1823
24. Langyan S., Khan F. N., Kumar A. Advancement in Nutritional Value, Processing Methods, and Potential Applications of Pseudocereals in Dietary Food: A Review. *Food Bioprocess Technology*. 2024. Vol. 17. P. 571–590. doi: 10.1007/s11947-023-03109-x
25. Hinojosa L., González J. A., Barrios-Masias F. H. et al. Quinoa abiotic stress responses: a review. *Plants*. 2018. Vol. 7, Iss. 4. Article 106. doi: 10.3390/plants7040106
26. Fathi A., Kardoni F. The importance of quinoa (*Quinoa chenopodium* Willd.) cultivation in developing countries: a review. *Cercetări Agronomice în Moldova*. 2020. Vol. 53, Iss. 3. P. 337–356. doi: 10.46909/cerce-2020-030
27. Bandurska H. Drought Stress Responses: Coping Strategy and Resistance. *Plants (Basel)*. 2022. Vol. 11, Iss. 7. Article 922. doi: 10.3390/plants11070922
28. Gámez A. L., Soba D., Zamarreño Á. M. et al. Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of illpa and rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Plants*. 2019. Vol. 8, Iss. 6. Article 173. doi: 10.3390/plants8060173
29. Bhargava A., Shukla S., Ohri D. *Chenopodium quinoa* – an Indian perspective. *Industrial Crops and Products*. 2006. Vol. 23, Iss. 1. P. 73–87. doi: 10.1016/j.indcrop.2005.04.002
30. Pathan S., Ndunguru G., Clark K., Ayele A. G. Yield and nutritional responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes to irrigated, rainfed, and drought-stress environments. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023. Vol. 7. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2023.1242187>
31. Ручкіна Н. Кіноа. *Хімія та Життя*. 2017. № 4.
32. Присяжнюк О. І., Каражбей Г. М., Лещук Н. В. та ін. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 10 : методичні вказівки. Київ : Нілан-ЛТД, 2016. 54 с.
33. Троценко В. І., Мельник А. В., Троценко Н. В. Дослідження базових характеристик насіння кіноа. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агронія і біологія*. 2020. № 1. С. 71–77.
34. Bhargava A., Shukla S., Ohri D. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*. 2006. Vol. 101, Iss. 1. P. 104–116. doi: 10.1016/j.fcr.2006.10.001
35. Hafeez M. B., Iqbal S., Li Y. et al. Assessment of phenotypic diversity in the USDA collection of quinoa links genotypic adaptation to germplasm origin. *Plants*. 2022. Vol. 11, Iss. 6. Article 738. doi: 10.3390/plants11060738
36. Saddiq M. S., Wang X., Iqbal S. et al. Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. Article 1934. doi: 10.3390/agronomy11101934
37. Yang A., Akhtar S. S., Amjad M. et al. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2016. Vol. 202, Iss. 6. P. 445–453. doi: 10.1111/jac.12167
38. Spehar C. R., Santos R. L. D. Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2005. Vol. 40. P. 609–612. doi: 10.1590/S0100-204X2005000600012
39. Oustani M., Mehda S., Halilat M. T., Chenchouni H. Yield, growth development and grain characteristics of seven quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in open-field production systems under hot-arid climatic conditions. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Article 1991. doi: 10.1038/s41598-023-29039-4
40. De Santis G., Ronga D., Caradonia F. et al. Evaluation of two groups of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) accessions with different seed colours for adaptation to the Mediterranean environment. *Crop and Pasture Science*. 2018. Vol. 69. P. 1264–1275. doi: 10.1071/CP18143

References

1. Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., ... Padulosi, S. (2016). Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in Plant Science*, 7. Article 850. doi: 10.3389/fpls.2016.00850
2. Walters, H., Carpenter-Boggs, L., Desta, K., Yan, L., Matanguihan, J., & Murphy, K. (2016). Effect of irrigation, intercrop, and cultivar on agronomic and nutritional characteristics of quinoa. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40, 783–803. doi: 10.1080/21683565.2016.1177805
3. Jacobsen, S-E. (2017). The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(6), 603–613. doi: 10.1111/jac.12228
4. FAO (2011). «Resolution» in *Quinoa: An ancient crop to contribute with world food security*, FAO regional Office for Latin America and the Caribbean. Santiago de Chile: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <https://www.fao.org/4/aq287e/aq287e.pdf>
5. Trotsenko, V. I., Kovalenko, I. M., & Ilchenko, V. O. (2017). Status and prospects of quinoa culture in the northeastern forest-steppe of Ukraine. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology*, 9, 77–81. [In Ukrainian]

6. Alandia, G., Rodriguez, J., Jacobsen, S.-E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, Article 100429. doi: 10.1016/j.gfs.2020.100429
7. FAOSTAT. (2022). *FAOSTAT Database*. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
8. Xiu-Shi, Y., Pei-You, Q., Hui-Min, G., & Gui-Xing, Y. R. (2019). Quinoa industry development in China. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 46, 208–219. doi: 10.7764/rcia.v46i2.2157
9. Statista. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/486411/us-quinoa-imports/#:~:text=This%20statistic%20features%20quinoa%20imports,kilograms%20in%20the%20previous%20year>
10. Walters, R. (2013). Pseudocereals: Super Foods, or Pantry Hokum (en línea). Retrieved from <http://open-furrowagrosphere.net/Documents/UTW/Pseudocereals.pdf>
11. Trotsenko, V. I., & Vandyk, M. I. (2023). Prospects for the spread of quinoa in the northeastern forest-steppe of Ukraine. In *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche* (pp. 48–49). Bologna, Repubblica Italiana. doi: 10.36074/logos-03.03.2023.13 [In Ukrainian]
12. Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541–2547. doi: 10.1002/jsfa.4158
13. Mohyuddin, S. G. (2023). Quinoa is beneficial to the comprehensive nutritional value of potential health. *Pakistan Journal of Science*, 71(2), 69–74. doi: 10.57041/pjs.v71i2.272
14. Sindhu, R., & Khatkar, B. S. (2019). Pseudocereals: nutritional composition, functional properties, and food applications. In S. C. Deka, & D. Seth (Eds.), *Food Bioactives* (pp. 129–147). New Jersey: Apple Academic Press.
15. Olivera, L., Best, I., Paredes, P., Perez, N., Chong, L., & Marzano, A. (2022). Nutritional value, methods for extraction and bioactive compounds of quinoa. *IntechOpen*, 2022. doi: 10.5772/intechopen.101891
16. Pathan, S., & Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Greens: A Review. *Nutrients*, 14(3), Article 558. doi: 10.3390/nu14030558
17. Bazile, D., & Baudron, F. (2015). The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity. In D. Bazile, H. D. Bertero, & C. Nieto (Eds.), *State-of-the-art report of quinoa in the world in 2013* (pp. 42–55). Rome: FAO and CIRAD. Retrieved from <https://www.fao.org/3/a-i4042e.pdf>
18. Gordillo-Bastidas, E., Diaz-Rizzolo, D. A., Roura, E., Massanes, T., & Gomis, R. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: an integrated review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 6(3), Article 497. doi: 10.4172/2155-9600.1000497
19. Villacrés, E., Quelal, M., Galarza, S., Iza, D., & Silva, E. (2022). Nutritional Value and Bioactive Compounds of Leaves and Grains from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plants (Basel)*, 11(2), Article 213. doi: 10.3390/plants11020213
20. Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gómez, P. L., Leon-Lobos, P., & Alercia, A. (2015). Quinoa genetic resources and ex-situ conservation. In D. Bazile (Ed.), *State of the art report on quinoa around the world in 2013* (pp. 56–82). Rome: FAO.
21. Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional, and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion Food Science*, 14, 1–6. doi: 10.1016/j.cofs.2016.11.007
22. Fuentes, F., & Bhargava, A. (2011). Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 124–134. doi: 10.1111/j.1439-037X.2010.00445.x
23. Rao, N. K., & Shahid, M. (2012). Quinoa – a promising new crop for the Arabian peninsula. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 2, 1350–1355. doi: 10.5829/idosi.ajeaes.2012.12.10.1823
24. Langyan, S., Khan, F. N., & Kumar, A. (2024). Advancement in Nutritional Value, Processing Methods, and Potential Applications of Pseudocereals in Dietary Food: A Review. *Food Bioprocess Technology*, 17, 571–590. doi: 10.1007/s11947-023-03109-x
25. Hinojosa, L., González, J. A., Barrios-Masias, F. H., Fuentes, F., & Murphy, K. M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: a review. *Plants*, 7(4), Article 106. doi: 10.3390/plants7040106
26. Fathi, A., & Kardoni, F. (2020). The importance of quinoa (*Quinoa chenopodium* Willd.) cultivation in developing countries: a review. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 53(3), 337–356. doi: 10.46909/cerce-2020-030
27. Bandurska, H. (2022). Drought Stress Responses: Coping Strategy and Resistance. *Plants (Basel)*, 11(7), Article 922. doi: 10.3390/plants11070922
28. Gámez, A. L., Soba, D., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M., Aranjuelo, I., & Morales, F. (2019). Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of illpa and rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Plants*, 8(6), Article 173. doi: 10.3390/plants8060173
29. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa* – an Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23(1), 73–87. doi: 10.1016/j.indcrop.2005.04.002
30. Pathan, S., Ndunguru, G., Clark, K., & Ayele, A. G. (2023). Yield and nutritional responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes to irrigated, rainfed, and drought-stress environments. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2023.1242187>

31. Ruchkina, N. (2017). Kinoa. *Chemistry and Life*, 4. [In Ukrainian]
32. Prysiazniuk, O. I., Karazhbei, H. M., Leshchuk, N. V., Tsyba, S. V., Mazhuha, K. M., Brovkin, V. V., Symonenko, V. A., & Maslechkin, V. V. (2016). Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 10 package: methodological guidelines. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
33. Trotsenko, V. I., Melnyk, A. V., & Trotsenko, N. V. (2020). Study of basic characteristics of quinoa seeds. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and biology*, 1, 71–77. [In Ukrainian]
34. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*, 101(1), 104–116. doi: 10.1016/j.fcr.2006.10.001
35. Hafeez, M. B., Iqbal, S., Li, Y., Saddiq, M. S., Basra, S. M. A., Zhang, H., ... Curti, R. N. (2022). Assessment of phenotypic diversity in the USDA collection of quinoa links genotypic adaptation to germplasm origin. *Plants*, 11(6), Article 738. doi: 10.3390/plants11060738
36. Saddiq, M. S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Khan, S., Raza, A., ... Gulshan, A. B. (2021). Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*, 11, Article 1934. doi: 10.3390/agronomy11101934
37. Yang, A., Akhtar, S. S., Amjad, M., Iqbal, S., & Jacobsen, S.-E. (2016). Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(6), 445–453. doi: 10.1111/jac.12167
38. Spehar, C. R., & Santos, R. L. D. (2005). Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 609–612. doi: 10.1590/S0100-204X2005000600012
39. Oustani, M., Mehda, S., Halilat, M. T., & Chenchouni, H. (2023). Yield, growth development and grain characteristics of seven quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes grown in open-field production systems under hot-arid climatic conditions. *Scientific Reports*, 13, Article 1991. doi: 10.1038/s41598-023-29039-4
40. De Santis, G., Ronga, D., Caradonia, F., Ambrosio, T. D., Troisi, J., Rascio, A., ... Rinaldi, M. (2018). Evaluation of two groups of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) accessions with different seed colours for adaptation to the Mediterranean environment. *Crop and Pasture Science*, 69, 1264–1275. doi: 10.1071/CP18143

UDC 633.34:631.5:631.8

Kalenska, S. M.¹, Novytska, N. V.^{1*}, Martynov, O. M.², Melnychenko, V. V.³, Chubko, O. P.⁴, & Yelizarov, D. S.¹ (2024). Yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under the effect of cold stratification of seeds. *Advanced Agritechnologies*, 12(2). <https://doi.org/10.47414/na.12.2.2024.308580> [In Ukrainian]

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: novytska@ukr.net

²Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi Shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine

³Natural Fertilizers Limited, 23 Grattan Court, Celbridge, Co. Kildare, Ireland

⁴"Agrotechnosoiuz" LLC, 2 Zavodska St., village Putrivka, Fastivskyi district, Kyiv region, 08623, Ukraine

Purpose. To identify the effect of cold stratification of seeds on the growth, development and yield formation of quinoa. **Methods.** The research was carried out in 2022–2023 in the Demonstration and Collection Field of Crops of the Plant Breeding Department of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv) and in two laboratories of the Plant Breeding Department: Seed and Planting Material and Analytical Research in Crop Production. Design of the experiment: 1) control seeds (CS); 2) stratified seed (SS) after 7-day exposure to low (0–4 °C) temperatures in the refrigerator. The plot area in the small-scale experiment was 2 m² and replication was six times. **Results.** Stratified seeds of the 'Kvartet' variety germinated faster than the control seeds: they sprouted on the 5th day after sowing. Phenological stages of flowering and maturation in quinoa plants grown from seeds after cold stratification lasted longer compared to plants in control plots. Cold stratification of seeds contributed to a longer growing season and an increase in plant height to 116.3 cm. Prolonged explosion of quinoa seeds to low temperatures (0–4 °C) contributed to an increase in panicle length by 3.2 %, the number of branches on a panicle by 8%, the mass of seeds from one plant by 2.3%, and 1000-kernel weight by 3.9%. The crop yield reached 1.86 t/ha. **Conclusions.** Cold stratification of quinoa seeds before sowing helps to accelerate germination and germination rate: field germination increases by 5%, seedlings appear 4 days earlier, and the growing season is extended. Prolonged explosion of quinoa seeds to low temperatures (0–4 °C) in refrigerator helps to increase the indicators of individual productivity of plants and increases crop yield by 2.8%.

Keywords: quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.); seed; cold stratification; vegetation; plant height; individual productivity; crop yield.

Надійшла / Received 20.05.2024
Погоджено до друку / Accepted 04.06.2024