

ДОСВІД ВИРОЩУВАННЯ ТА ГЕНЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ КІНОА

Троценко Надія Володимирівна

аспірантка

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-002-6671-2014

ntrotsenko15@ukr.net

Стаття висвітлює особливості культури кіноа як перспективної для вирощування в Європі та Україні. Останнім часом спостерігається диференціація продовольчого ринку за рахунок виробництва малопоширених рослин як перспективного високоякісного джерела продовольства. Більш глибоке вивчення цих культур та їхньої потенційної ролі допоможе забезпечити майбутнє та гарантувати продовольчі й харчові запити суспільства. Кіноа (*Chenopodium quinoa Willd.*) розглядається як один з найбільш перспективних видів, у вирішенні завдань продовольчої безпеки в XXI столітті завдяки підвищеній стійкості до екстремальних умов навколишнього середовища та високій потенційній врожайності. Кіноа може бути використана для диверсифікації сільськогосподарських культур та як альтернатива для освоєння маргінальних сільськогосподарських угідь. Генетичний потенціал культури кіноа є частиною культурної спадщини, тому його збереженням опікуються генетичні банки багатьох країн світу. Зростаючий попит на дієтичні, органічні продукти сприяв вирощуванню кіноа за межами регіону походження – Південної Америки. Можливості та перспективи вирощування кіноа в Європі доведено багатьма дослідженнями. На основі даних результатів інтродукції культури кіноа на європейському континенті сформовано базову модель селекційної та технологічної модернізації культури, яка враховує такі аспекти, як фотоперіод, особливості сівки, боротьбу з бур'янами. Інтродукція культури кіноа в Україні зосереджена переважно в зоні Лісостепу та Полісся. Сортовий потенціал культури кіноа в Україні забезпечується наявністю трьох внесених до реєстру сортів, орієнтованих на зони Степу (Олімп), Лісостепу та Полісся (Квартет, Комиза). Рівень урожайності, заявлений оригінаторами коливається в межах від 1,1 до 2,4 т/га. В Сумському НАУ розроблена базова технологія вирощування культури в зоні Лісостепу (сорт Квартет та Комиза). Визначено критичні (що потребують селекційного та технологічного підсилення) ланки технології вирощування кіноа в регіоні. Успішність процесу поширення кіноа в Україні стримується низьким рівнем споживання та комплексом технологічних факторів. Важливим етапом вирішення завдань з інтродукції культури в Україні може бути селекційна модернізація за рахунок покращення споживчих характеристик урожаю, підвищення рівня стійкості сортів до аборигенних шкочодочинних організмів.

Ключові слова: кіноа, технологія, генетичний потенціал, перспективи культури.

DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.4.8>

Вступ. За даними ФАО (<http://www.fao.org>), на зернові припадає близько 58 % щорічних посівних площ. До 2050 року частка трьох згаданих культур, як очікується, становитиме до 80 % приросту споживання зернових. (FAOSTAT (2021)). Проте поряд зі збільшенням обсягів вирощування основних видів зернових існує потреба в диверсифікації виробництва у зв'язку з підвищенням попиту на продукти харчування зі специфічними характеристиками. Наразі забезпечення продовольчих потреб населення та виробництво відповідної категорії товарів забезпечується на основі використання врожаю пшениці, рису та кукурудзи, що безсумнівно вимагає збільшення їх виробництва (Venuva & Kambizi, 2022).

Стойкою тенденцією останніх десятиліть є диференціація продовольчого ринку за рахунок формування специфічних груп товарів, у виробництві яких використовують урожай малопоширених, маргінальних та дикорослих рослин як перспективного високоякісного джерела продовольства. Оскільки багато з цих видів добре пристосовані до екстремальних умов навколишнього середовища, розширення їхніх посівних площ відповідає сьогоденним тенденціям кліматичних змін та захисту навколишнього середовища (Bioversity International FAO 2013; Chrungoo & Chetty, 2021). Культури цієї групи здатні потенційно доповнити провідні зернові та відігравати вагомий роль

у харчовому раціоні споживачів. Більш глибоке вивчення цих культур та їхньої потенційної ролі в харчуванні допоможе забезпечити майбутнє та гарантувати продовольчу й харчову безпеку (Bazile et al., 2016; Angeli et al., 2020; Andreotti et al., 2022).

Перспективи кіноа як продовольчої культури 21 століття. За останні десятиріччя суттєво розширилися вимоги до якості та характеристик продовольчих культур. Поряд зі зростанням попиту на продукти органічного виробництва все більше поширення набувають продовольчі товари адресного використання, орієнтовані на групи населення зі власними потребами. Найбільший обсяг продуктів цієї групи орієнтований на людей похилого віку, «енергетики» для військових та їх реабілітації, спортсменів. Наразі «відбір» на здатність до заповнення новостворених ніш проходять як традиційні культури (за рахунок їх сортової диференціації), так і група малопоширених та маргінальних культур, цінні характеристики яких не були затребувані раніше. Необхідними характеристиками для відбору є наявність історичного етапу доместикації, достатній генетичний потенціал та базові основи механізованої технології вирощування.

Наразі однією з культур, перспективних для включення до системи світового виробництва продуктів, а також формування специфічних напрямів харчування

є кіноа (Bazile & Baudron, 2015; Anaya et al., 2022; Asher et al., 2022). В історичному аспекті процес доместикації культури відбувся на Американському континенті в доколумбовий період. Вважається, що на час приходу європейців на Американський континент культура кіноа перебувала на рівні культур кукурудзи та картоплі. Однак на відміну від останніх вона не здобула поширення в інших частинах світу, а на батьківщині поступово була витіснена з товарного виробництва іншими, переважно зерновими, культурами (Jacobsen, 2011; Drucker et al., 2015; Hinojos et al., 2021; Vvenura & Kambizi, 2022).

Наразі кіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) розглядається як один з найбільш перспективних видів, у вирішенні завдань продовольчої безпеки в XXI столітті (Rojas et al., 2015; Anaya et al., 2022). Кіноа (у її сучасному вигляді) здатна поєднувати в собі характеристики культури придатної як для уніфікованого виробництва традиційних продуктів харчування, так і для специфічних напрямів. Завдяки підвищеній стійкості до екстремальних умов навколишнього середовища та високій потенційній врожайності культура здатна забезпечувати стабільні обсяги виробництва, що є однією із вимог формування світового ринку (Hussain et al., 2021; Isam et al., 2021; Vvenura & Kambizi, 2022; Singh et al., 2022).

У перспективі кіноа може бути використана для диверсифікації сільськогосподарських культур в Європі та інших частинах світу (незалежно від її генетичного походження), а також як альтернатива для освоєння маргінальних сільськогосподарських угідь (Chevarria-Lazo et al., 2015; Choukr-Allah et al., 2016; Jacobsen, 2017; López-Marqués et al., 2020; Серковá et al., 2022).

Селекційний потенціал кіноа. Генетичні ресурси культурних рослин мають важливе значення для продовольчої безпеки, а також роблять вагомий внесок у задоволення основних потреб людства. Генетичний потенціал культури кіноа – це частина загальної культурної спадщини, особливо для країн Андського регіону. Тому їх збереження та стале використання є відповідальністю всього суспільства (Rojas et al., 2015; Murphy et al., 2016; Repo-Carrasco-Valencia et al., 2022). Враховуючи історію доместикації *Chenopodium quinoa* Willd. у низці країн Америки, а саме Перу, Еквадору й Болівії існують державні програми селекції та збереження генофонду (Galluzzi & Noriega, 2014). Крім того, насіння *C. quinoa* у формі селекційних зразків наразі зберігається в генетичних банках багатьох країн світу. Збереження та доступність для селекціонерів культиварів кіноа Андського регіону та потенціал генетичних банків інших країн здатні забезпечувати успіх майбутніх селекційних програм з адаптації кіноа до сучасних агротехнологій та розширення генетичної основи культури до рівня основних сільськогосподарських культур (Ruiz et al., 2014; Bazile et al., 2016a; Jacobsen, 2017; Ruiz et al., 2021).

Генетичні ресурси *C. quinoa* та її диких родичів налічують 16 422 зразки по всьому світу, зберігаються в 59 установах (університетах, генних банках, науково-дослідних і сільськогосподарських установах) в 30 країнах. В Андському регіоні налічується та охороняється до 88% зразків. Найбільші колекції представлено в уста-

новах Болівії та Перу, де міститься понад 6 000 зразків (Rojas et al., 2015). Генетичні ресурси *C. quinoa*, що зберігаються в колекціях за межами Андського регіону, налічують загалом 2137 зразків. У базі даних біологічний статус 1 329 зразків вказано як традиційний сорт/раса, 552 зразків – як дикі, 1 007 зразків – як вдосконалений/покращений сорт і 100 зразків – як інші (Genesys, 2022). За походженням переважають зразки з Перу, далі йдуть США та Болівія. У 1 329 зразків тип зберігання зародкової плазми не визначено, 543 зразків генетичних ресурсів зберігаються як довгострокова колекція насіння, 193 – як колекція насіння, а 45 зразків – як короткострокова колекція (Galluzzi & Noriega, 2014).

Загалом, 478 зразків мають дублікати в Свальбардському світовому сховищі насіння в Норвегії та 143 зразки в Національному сховищі насіння в США. Більшість зразків (1306) зберігаються в Міжнародному центрі біосолончакового сільського господарства в Об'єднаних Арабських Еміратах. В Європі найбільша колекція (528 зразків) зберігається в Генбанку Інституту генетики рослин і досліджень сільськогосподарських рослин ім. Лейбніца в Німеччині (Eurisco, 2022).

Досвід вирощування кіноа. За останні десятиліття кіноа перетворилася із занедбаного традиційного продукту харчування на важливу експортно орієнтовану культуру, яку рекламують як "суперпродукт" у всьому світі (Bazile & Baudron, 2015; De Arco, 2015; Shokry, 2016; Tanwar et al., 2021; Singh et al., 2022). Насіння кіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) стало популярним у багатьох країнах, що обумовлено своїм технологічним та поживним властивостям. У окремих регіонах, завдяки стійкості до умов середовища та високій поживній цінності вегетативної маси культуру також вирощують на корм для худоби та птиці. У загальному аспекті, вирощування культури кіноа може бути представлено досвідом традиційних регіонів та регіонів, де вид був інтродукований. (Vidueiros et al., 2015; Wali et al., 2022)

Зростання попиту на врожай кіноа за відсутності ефективних селекційних та технологічних новацій супроводжувалось суттєвим зростанням ринкової ціни (Tschopp et al., 2018). Однак цей ринковий бум призвів до екологічної катастрофи в традиційних регіонах вирощування культури в Болівії та Перу (Jacobsen, 2011). Так, у Перу площі під кіноа збільшилися на 264%, і її вирощування поширилося на всі регіони країни (Bedoya-Perales та ін., 2018), що негативно вплинуло на навколишнє середовище (деградація ґрунтів, спалах епіфітотій, поширення шкідників), а також на соціально-економічні зв'язки та відносини в місцевих громадах (Jacobsen, 2011; Fuentes et al., 2012; Drucker et al., 2015; Bedoya-Perales et al., 2018; Alandia et al., 2020).

Наразі країни Андського регіону докладають значних зусиль для встановлення гармонійної взаємодії між соціально-економічними та екологічними вимогами при вирощуванні кіноа (Bedoya-Perales et al., 2018). Започатковані та реалізуються державні програми зі збереження генетичних ресурсів *C. quinoa*, встановлено пріоритети селекції та наукових досліджень. Запроваджено більш прозору політику комерційного ланцюга для змен-

шення негативного впливу розширених товарних посівів (Ruiz et al., 2014; Bazile and Baudron, 2015; Bazile et al., 2016a; Bedoya-Perales et al., 2018; Hinojosa et al., 2021).

Зростаючий попит на дієтичні, органічні продукти сприяв вирощуванню кіноа за межами Південної Америки. Наразі триває процес збільшення кількості країн-виробників та площ під культурою. Географічне поширення кіноа свідчить про неабияку адаптивність цього виду, який сформував різні захисні механізми, щоб протистояти широкому спектру екологічних стресів (Mosyakin, & Schwartau, 2015; Rachid et al., 2015; Hinojosa et al., 2018; Pinto et al., 2021). Кількість країн, які сертифікували вирощування кіноа, в період із 2010 до 2018 рік зросла більш ніж утричі (307%). Найбільш активно ці процеси відбуваються на Європейському континенті (Noulas et al., 2017; Jacobsen et al., 2017; Granado-Rodriguez et al., 2021; Phara et al., 2021; Jovanovic et al., 2022; Trotsenko et al., 2023).

Можливості вирощування кіноа в Південно-Східній Європі доведено на основі досліджень, проведених в Греції, Румунії, Сербії, Північній Македонії та Туреччині. Хоча ринок кіноа в Південно-Східній Європі не такий великий, як в інших європейських країнах, він зростає дуже інтенсивно, а харчова промисловість розробляє нові продукти на основі цієї культури. Перспективи майбутнього виробництва кіноа в країнах Південно-Східної Європи є багатообіцяючими (Jovanovic et al., 2021).

Найвищий рівень формування традицій споживання та вирощування кіноа спостерігається в центральній та Північній Європі, де Франція, Нідерланди та Німеччина наразі є найбільшими споживачами виробниками та імпортерами насіння культури. Іншими виробниками та імпортерами наразі можуть бути Великобританія, Іспанія, Італія, Данія та Швеція. Потенційно саме країни Європи розглядаються як основний споживач урожаю та продуктів переробки кіноа. У першу чергу це стосується органічних харчових продуктів (Gesinski, 2012; Geren, 2015; Drew et al., 2017; Prager et al., 2018; De Bock et al., 2021; Phara et al., 2021; Serková et al., 2022).

На основі даних щодо результатів інтродукції культури кіноа на європейському континенті сформовано базову модель селекційної та технологічної модернізації культури, яка враховує такі аспекти.

1. Фотоперіод. Сорти, придатні до вирощування повинні бути з нейтральною тривалістю світлового дня.

2. Сівба та структура посіву. Для формування врожаю кіноа ювенільний розвиток рослин має вирішальне значення. Це пов'язано з дрібнонасінністю та низьким рівнем конкурентоспроможності.

3. Боротьба з бур'янами. Повинна бути максимально ретельною та завчасною, з розпушенням міжрядь.

4. Збирання врожаю та урожайність на рівні 1,5–3,0 т/га.

Напрями досліджень з культурою кіноа. Особливістю розширення ареалу культури була її початкова орієнтація на менш сприятливі для ефективного вирощування інших культур ґрунтово-кліматичні умови. Формування такого підходу визначалось характеристиками базового виду. Так, *S. quinoa* може рости в різних кліматичних умовах, з діапазоном вологості 40–90%, на висоті

від рівня моря до 4500 м, рослини можуть переносити коливання температури від -8 °С до +38 °С. Ця культура використовує воду з високим коефіцієнтом корисної дії і формує врожай навіть при 100–200 мм опадів за вегетаційний період (Jacobsen, 2003; Bois et al., 2006; Rachid et al., 2015; Reguera et al., 2018; Prager et al., 2019). Проте фізіологічні механізми стресостійкості цієї культури вивчені недостатньо.

Низькою (для вимог сучасного виробництва) залишається також урожайність культури, на що вказують дані, отримані з Ірану (0,16–1,56 т/га), Єгипту (0,41–3,87 т/га), Італії (0,11–3,05 т/га), Японії, (1,0–3,0 т/га) (Shokry, 2016; Isobe et al., 2016; Prager et al., 2019; Beccari et al., 2020; Razzaghi et al., 2020; El-Serafy et al., 2021; Israel & Bilsborrow, 2022).

Регіоном, що розглядається як основний споживач кіноа та найбільш віддалений від природних умов походження, є Європа. Першою країною в Середземноморському басейні континенту, де з середини 1990-х років почалися дослідження для оцінки адаптації кіноа, була Греція (Karyotis et al., 2003; Noulas et al., 2017).

У Східній Європі перші спроби з вивчення культури зроблені в кінці 90-х років ХХ ст. у Чехії, де була створена робоча колекція генотипів лободи в генетичному банку Інституту рослинництва в Празі, яка нині налічує 70 генотипів. Зразки тестуються в польових умовах з використанням дескрипторів лободи та її диких родичів (Bioversity International та ін., 2013; Serkova et al., 2022).

Дослідження, проведені науковцями Бельгії, показали, що більшість протестованих сортів кіноа добре себе почувають в умовах Північно-Західної Європи, а їх поживні властивості знаходяться в межах значень, описаних для інших регіонів вирощування. Однак не було виділено жодного генотипу, в межах якого поєднувалася б оптимальна врожайність та якісні характеристики, що підкреслює важливість селекції сортів лободи, адаптованих до умов регіону (De Bock et al., 2021).

В північно-східній Англії основним обмеженням для збільшення місцевого виробництва кіноа є недостатня інформація про продуктивність сортів та їхню придатність до умов прохолодного помірному клімату. Основні дослідження в цьому регіоні направлені на вивчення відмінностей у формуванні продуктивності та особливостях розвитку сортів, що можуть бути використані для покращення генетичних характеристик для майбутньої адаптації культури до умов помірному клімату північно-східної Англії (Israel & Bilsborrow, 2022).

Більш широкі дослідження, орієнтовані на реалізацію адаптивного потенціалу культури проводяться в умовах південно-західної Німеччини. За результатами цих робіт виділено сорти, які відзначаються найбільшим потенціалом врожайності з найнижчою варіабельністю за розміром зерна, або найкращими показниками щодо вмісту білка та синтезу незамінних амінокислот. Варіабельність показників врожайності та якості насіння свідчить про можливість подальшого поліпшення або стабілізації врожайності та якості насіння європейських сортів кіноа на високому рівні, за використання відповідних агротехнічних прийомів (Phara et al., 2021; Phara et al., 2022).

Численні дослідження з культурою проводяться в інших країнах світу. Переважна більшість наукових робіт присвячена питанням вдосконалення агрономічної практики та досягнення більшої продуктивності й прибутковості культури кіноа, зрошення та внесення добрив за різних агроекологічних умов (Erley et al., 2005; Basra et al., 2014; Geren, 2015; Alandia et al., 2016; Singh et al., 2021). Традиційними також є дослідження, направлені на оцінювання кіноа як культури з низьким рівнем витрат (De Santis et al., 2016) та ідеально придатної для органічних та низьковитратних виробничих систем (Callisaya et al., 2015).

Важливим напрямом селекційних та технологічних досліджень є стійкість до шкочинних організмів та якість урожаю. Насамперед це резистентність до несправжньої борошнистої роси (*Peronospora variabilis*), контроль вмісту сапонінів та окремих елементів (Se(VI), (Kitaguchi et al., 2008; Craine & Murphy, 2020; Beccari, et al., 2021; Grimberg et al., 2022; Fan Zhu, 2023).

Кіноа в Україні. Процес інтродукції кіноа в Україні має певні особливості. Так, зміни в структурі аграрного сектора держави, спричинені формуванням агрохолдингів з орієнтацією на вирощування експортно орієнтованих культур, призвели до скорочення сівозмін та виокремлення специфічної групи «нішевих» культур. Особливістю цієї групи є відсутність визначеного місця в сівозміні, низький рівень сортового та технологічного забезпечення. Посівні площі, обсяги виробництва та ціна на врожай визначаються кон'юнктурою ринку та суттєво змінюються по рокам. Виробництво таких культур, а це – круп'яні, переважна частина бобових та овочевих – орієнтовані переважно на внутрішній ринок. Попит на їх врожай та гарантовані обсяги реалізації визначаються традиціями споживання та рівнем переробки. За цих умов поширення культури обумовлюється також попитом на органічні та екзотичні продукти харчування.

Сортовий потенціал культури кіноа в Україні забезпечується наявністю трьох внесених до реєстру сортів, орієнтованих на зони Степу (Олімп), Лісостепу та Полісся (Квартет, Комиза). Заявлений оригінаторами рівень урожайності коливається в межах від 1,1 до 2,4 т/га. Сорти придатні до механізованого вирощування. Виконання основних технологічних операцій забезпечується сільськогосподарською технікою, задіяною у вирощуванні зернових культур.

В Сумському національному аграрному університеті розроблена базова технологія вирощування культури в зоні Лісостепу (сорт Квартет та Комиза). Технологія передбачає використання в якості попередника озимих зернових культур. Основний обробіток ґрунту виконується за типом покращеного зябу. Весняний обробіток передбачає закриття вологи, внесення добрив та передпосівну культивування. Залежно від умов, сівба може проводитися разом із ранніми або з культурами середніх строків сівби. Пізній строк сівби проводять за необхідності використання неселективних гербіцидів проти пір'ю повзучого, *Elytrigia repens* L., осоту (*Sonchus* spp.)

та інших бур'янів. Висівають кіноа широкорядним способом з міжряддям 45 см або суцільним способом з міжряддям 15 см. Глибина загортання насіння залежно від строку сівби та стану ґрунту може змінюватися в межах від 2,5 до 3,5 см. Сівбу проводять у розрахунок на кінцеву (передзбиральну) густоту посіву – 0,8 млн рослин /га для суцільного та 0,5 млн/га для широкорядного посіву.

Догляд за посівом передбачає використання гербіцидів проти однодольних злакових бур'янів та інсектицидний захист проти стеблоїда амарантового. Підживлення азотом проводять (аміачна селітра, до 40 кг д. р./ га) за формування рослинами 6–8 справжніх листків.

Збирають кіноа прямим комбайнуванням в першій-другій декаді вересня. Зібраний урожай потребує термінового первинного очищення, та досушування для вирівнювання вологості насіння (Trotsenko et al., 2017; Trotsenko et al., 2023).

Наразі критичними (такими, що потребують селекційного та технологічного підсилення) ланками технології вирощування кіноа в Україні є:

- низький рівень польової схожості та виживаності на ранніх фазах розвитку,
- відсутність ефективних методів контролю дводольних однорічних бур'янів, особливо лободи білої *Chenopodium album* L.,
- низька стійкість базового виду до пошкоджень стеблоїдом амарантовим,
- значні втрати насіння в процесі його збирання, первинного очищення та досушування.

Висновки. На світовому ринку продуктів харчування спостерігається диференціація «споживчої» ніші з виокремленням груп товарів, що потребують використання врожаю культур зі специфічними характеристиками. Це, як правило, мало поширені та маргінальні культури, посіви яких зосереджені в традиційних районах вирощування.

Однією із найбільш перспективних до широкого впровадження є культура кіноа, що має комплекс цінних характеристик урожаю, високий рівень доместикації базового виду, достатній рівень селекційної та технологічної модернізації до умов сучасного виробництва.

Успішність інтродукції культури кіноа в окремо взятих країнах або географічних областях визначається комплексом ґрунтово-кліматичних умов та рівнем стійкості базового виду до розповсюджених шкочинних організмів.

Наразі інтродукція культури кіноа в Україні зосереджена переважно в зоні Лісостепу та Полісся. Успішність цього процесу стримується низьким рівнем споживання всередині країни та комплексом технологічних факторів насамперед відсутністю спеціалізованих засобів захисту рослин.

Важливим етапом вирішення завдань з інтродукції культури в Україні може бути селекційна модернізація за рахунок покращення споживчих характеристик урожаю, підвищення рівня стійкості сортів до аборигенних шкочинних організмів.

Бібліографічні посилання:

1. Abdalla, D., Jorge, A-B., Abdou, G., Amidou, G., Louis, N., & Jacob, S. (2020) Effect of different planting techniques and sowing density rates on the development of quinoa. *African Journal of Agricultural Research*, 16, 1325–1333.
2. Alandia, G., Rodriguez, J. P., Jacobsen, S. E., Bazile, D., & Condori, B. (2020) Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, 100429. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
3. Aluwi, N. A., Murphy, K. M., & Ganjyal, G. M. (2017). Physicochemical characterization of different varieties of quinoa. *Cereal Chem.* 94, 847–856. doi: 10.1094/CHEM-10-16-0251-R
4. Anaya, R. B., De La Cruz, E., Muñoz-Centeno, L. M., Córdor, R., León, R. & Carhuaz, R. (2022) Food and medicinal uses of ancestral Andean grains in the districts of quinoa and acos vinchos (Ayacucho-Peru). *Agronomy*, 12, 1014. doi: 10.3390/agronomy12051014
5. Andreotti, F., Bazile, D., Biaggi, M.C., CalloConcha, D., Jacquet, J., Jemal, O.M., King, O.I., Mbosso, C., Padulosi, S., Speelman, E. N. & Van Noordwijk, M. (2022) When neglected species gain global interest: lessons learned from quinoa's boom and bust for teff and minor millet. *Global Food Security* 32, 100613. doi: 10.1016/j.gfs.2022.100613
6. Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A.; Khajehi, F., Graeff-Hönninger, S. & Piatti, C. (2020) Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the “Golden Grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
7. Asher, A., Galili, S., Whitney, T., & Rubinovitch, L. (2020) The potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivation in Israel as a dual-purpose crop for grain production and livestock feed. *Sci. Horti.* 272, 109534. doi: 10.1016/j.scienta.2020.109534
8. Aydoğdu, M., & Koç, A. (2021) Screening quinoa. *Crop and Pasture Science*, doi: 10.1071/CP20508, 72, 6, 416-425
9. Bazile, D., & Baudron, F. (2015) The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity. In *State of the Art Report on Quinoa Around the World*, 44–55.
10. Bazile, D., Jacobsen, S. E., & Verniau, A. (2016). The global expansion of quinoa: trends and limits. *Front Plant Sci.* 7, 622. doi: 10.3389/fpls.2016.00622
11. Bazile, D., Martínez Enrique, A., Negrete Sepulveda, J., Thomet, M., Chia, E., Hocdé, H., & Nuñez, L. (2014) Biocultural Heritage: Quinoa as an important resource to be maintained through tourism experiences for food security in the face of climate change. *Tour. Leis. Glob. Chang.*, 1, 10–13.
12. Beccari, G., Quaglia, M., Tini, F., Pannacci, E., & Covarelli, L. (2021) Phytopathological threats associated with quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Cultivation and Seed Production in an Area of Central Italy. *Plants*, 10(9), 1933. doi: 10.3390/plants10091933, 10, 9
13. Bedoya-Perales, N. S., Pumi, G., Mujica, A., Talamini, E., & Padula, A. D. (2018) Quinoa expansion in Peru and its implications for land use management. *Sustainability*, 10, 532. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/2/532#>
14. Bedoya-Perales, N. S., Pumi, G., Talamini, E., & Padula, A. D. (2018) The quinoa boom in Peru: will land competition threaten sustainability in one of the cradles of agriculture? *Land Use Policy*, 79, 475–480. doi: 10.1016/j.landusepol.2018.08.039
15. Bhargava, A., & Ohri, D. (2016) Origin of Genetic Variability and Improvement of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). In: Rajpal, V., Rao, S., Raina, S. (eds) *Gene Pool Diversity and Crop Improvement. Sustainable Development and Biodiversity*. 10. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-27096-8_8
16. Bioversity International FAO, Proinpa, I., & Ifad, A. (2013) Descriptors for quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) and wild relatives, in Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF and IFAD. (Rome: Bioversity International and FAO).
17. Bois, J. F., Winkel, T., Lhomme, J. P., Raffailac, J. P. & Rocheteau, A. (2006) Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25, 299–308. doi: 10.1016/j.eja.2006.06.007
18. Bonifacio, A., Gomez-Pando, L., & Rojas, W. (2015) Quinoa breeding and modern variety development. In D. Bazile, D. Bertero, & C. Nieto (Eds.). *State of the art report of quinoa in the world in 2013*, FAO and CIRAD, 172–191..
19. Buckland, K., Rasmussen, A., & Smith, E. (2020) Quinoa production for the Willamette Valley. Oregon State University Extension Service. <https://catalog.extension.oregonstate.edu/em9300/html>
20. Buckland, K. R., Reeve, J. R., Creech, J. E., & Durham, S. L. (2018) Managing soil fertility and health for quinoa production and weed control in organic systems. *Soil & Tillage Research*, 184, 52–61. doi: 10.1016/j.still.2018.07.001
21. Bvenura, C., & Kambizi, L. (2022) “Future grain crops,” in *Future Foods Global Trends, Opportunities, and Sustainability Challenges*, ed. R. Bhat (London: Academic Press), 81–105. doi: 10.1016/B978-0-323-91001-9.00032-3
22. Callisaya, V., Roly, A., Sea, Y. & Edwin, E. (2015). Assessment of change in quinoa expansion in a year child using Landsat images. *RIIARn [online]*. 2 (1), 35–44.
23. Cepková, P. H., Dostalíková, L., Viehmannová, I., Jágr, M., & Janovská, D. (2022) Diversity of quinoa genetic resources for sustainable production: A survey on nutritive characteristics as influenced by environmental conditions. *Front. Sustain. Food Syst.*, 6, 501. doi: 10.3389/fsufs.2022.960159
24. Chevarria-Lazo, M., Bazile, D., Dessauw, D., Louafi, S., Trommetter, M., & Hocdé, H. (2015) Quinoa and the exchange of genetic resources: improving the regulation systems, in *State of the Art Report on Quinoa Around the World in 2013*, eds D. Bazile, H. D. Bertero, and C. Nieto (Roma: FAO & CIRAD). 83–105. doi: 10.13140/RG.2.1.5076.4249
25. Choukr-Allah, R., Rao, N. K., Hirich, A., Shahid, M., Alshankiti, A., Toderich, K., & Butt, K. (2016) Quinoa for marginal environments: toward future food and nutritional security in MENA and Central Asia Regions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 346. doi: 10.3389/fpls.2016.00346
26. Craine, E. B., & Murphy, K. M. (2020) Seed composition and amino acid profiles for quinoa grown in Washington State. *Front. Nutr.* 7, 126. doi: 10.3389/fnut.2020.00126

27. Christensen, S. A., Pratt, D. B., Pratt, C., Nelson, P. T., Stevens, M. R., Jellen, E. N., Coleman, C. E., Fairbanks, D. J., Bonifacio, A., & Maughan, P. J. (2007) Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP-FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers. *Plant Genet Resour*, 5, 82–95. doi : 10.3390/plants10122802
28. Curti, R. N., de la Veja, A. J., Andrade, A. J., Bramardi, S. J., & Bertero, H. D. (2016) Adaptive responses of quinoa to diverse agro-ecological environments along an altitudinal gradient in Northwest Argentina. *Field Crops Research*, 189, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.01.014>
29. De Arco, S. N. (2015) Quinoa's Calling. In *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*; Murphy, K., Matanguihan, J., Eds.; John Wiley & Sons, Inc: Hoboken, NJ, USA, 211–226.
30. De Bock, P., Daelemans, P., Selis, L., Raes, L., Vermeir, K. & Eeckhout, P. M. (2021) Comparison of the chemical and technological characteristics of whole meal flours obtained from amaranth (*Amaranthus* sp.), quinoa (*Chenopodium quinoa*) and buckwheat (*Fagopyrum* sp.) seeds. *Foods*, 10, 651. doi: 10.3390/foods10030651
31. De Bock, P., Van Bockstaele, P., Muylle, F., Quataert, H., Vermeir, P., Eeckhout, P. M., et al. (2021) Yield and nutritional characterization of thirteen quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties grown in north-west Europe-part I. *Plants* 10, 689. doi: 10.3390/plants10122689
32. De Santis G., Ronga, D., Caradonia F., Ambrosio, T., Troisi, J., Rascio, A., Fragasso, M., Pecchioni, N., & 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, 12, (1264). doi : 10.1071/CP18143
33. Dost, M. (2015) Field evaluation results across locations and identification of suitable quinoa varieties. In *Wrap up Workshop of Regional Quinoa Project (TCP/RAB/3403–FAO)*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
34. Drew, J., Dickinson, A., Sueiro, C., & Stepp, J. (2017) Ancient Grains and New Markets: The selling of quinoa as story and substance, corporate social responsibility and corporate governance (*Developments in Corporate Governance and Responsibility*; Emerald Publishing Limited: Bingley, UK. 11, 251–274.
35. Drucker, A. G., Pascual, U., Narloch, U., Midler, E., Soto, J. L., Pinto, M., Valdivia, E., & Rojas, W. (2015) Voluntary payments for the conservation of quinoa diversity: Exploring the role of payments for ecosystem services in the Andes. In *State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013*; FAO & CIRAD: Rome, Italy, 106–119. <http://www.fao.org/3/a-i4042e.pdf>
36. El-Serafy, R. S., El-Sheshtawy, A. N. A., Abd El-Razek, U. A., Abd El-Hakim, A. F., Hasham, M. M. A., Sami, R. Al-Mushhin, A.M. (2021) Growth, yield, quality, and phytochemical behavior of three cultivars of quinoa in response to moringa and azolla extracts under organic farming conditions. *Agronomy*, 11, 186. doi: 10.3390/agronomy11112186
37. Erley, G. S., Kaul, H. P., Kruse, M., & Aufhammer, W. (2005) Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization, *European Journal of Agronomy*, 22 (1), 95–100. doi: 10.1016/j.eja.2003.11.002
38. Eurisco (2022). The European Search Catalogue for Plant Genetic Resources (EURISCO). Available online at: https://eurisco.ipk-gatersleben.de/apex/f?p=10357:::P57_NATIONAL_INVENTORY,P57_INCLUDE_SYNONYMS:12,NO (accessed February 11, 2022).
39. FAOSTAT (2021). Total production and yield of quinoa in 1961–2017. FAO. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
40. Fan Zhu (2023) Development of quinoa grain as a sustainable crop. *Quinoa Chemistry and Technology*, 1-15 doi :10.1016/B978-0-323-99909-0.00011-8
41. Filho, A. M. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. S., Pinheiro Sant'Ana, H. M., Chaves, J. B. P., & Coimbra, J. S. D. R. (2017) Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 57, 1618–1630. doi: 10.1080/10408398.2014.1001811.
42. Flórez-Martínez, D. H., Rodríguez-Cortina, J., Chavez-Oliveros, F. L., Aguilera-Arango, G. A., Morales-Castañeda, A. (2023) Current trends and prospects in quinoa research: An approach for strategic knowledge areas. *Food Science & Nutrition* doi:<https://doi.org/10.1002/fsn3.3891>
43. Fuentes, F., Bazile, D., Bhargava, A., & Martinez, E. A. (2012) Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science* 150, 702–716. doi:10.1017/S0021859612000056
44. Fuentes, F., & Paredes-Gonzales, X. (2015) Nutraceutical perspectives of quinoa: Biological properties and functional applications. In *State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013*; Bazile, D., Bertero, D., Nieto, C., Eds.; FAO & CIRAD: Rome, Italy, 286–299. <http://www.fao.org/3/a-i4042e.pdf>
45. Galluzzi, G., & Noriega, I. L. (2014) Conservation and use of genetic resources of underutilized crops in the Americas – a continental analysis. *Sustainability* 6, 980–1017. doi: 10.3390/su6020980
46. Geren, H. (2015) Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. *Turk. J. Field Crop*, 20, 59–64. doi: 10.17557/39586
47. Gesinski, K. (2012) Evaluation of the development and yielding potential of *Chenopodium quinoa* Willd. under the climatic conditions of Europe. Part one: accomodation of *Chenopodium quinoa* (Willd.) to different conditions. *Acta Agrobotanica*, 61(1). doi:10.5586/aa.2008.025
48. González, J. A., Mercado, M. I. & Martínez-Calsina, L. (2022) Plant density effects on quinoa yield, leaf anatomy, ultrastructure and gas exchange. *The Journal of Agricultural Science*. 160(5), 349-359. doi: 10.1017/S0021859622000533
49. Granado-Rodríguez, S., Aparicio, N., Matias, J., Perez-Romero, L. F., Maestro, I., Graces, I. (2021). Studying the impact of different field environmental conditions on seed quality of quinoa: the case of three different years changing seed nutritional traits in southern Europe. *Front. Plant Sci.* 12, 649132. doi: 10.3389/fpls.2021.649132

50. Granado-Rodriguez, S., Vilarino-Rodriguez, S., Maestro-Gaitan, I., Matias, J., Rodriguez, M. J., Calvo, P. (2021). Genotype-dependent variation of nutritional quality-related traits in quinoa seeds. *Plants*, 10, 128. doi: 10.3390/plants10102128
51. Graziano, S., Agrimonti, C., Marmioli, N., & Gulli, M. (2022) Utilisation and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 125, 154-165. doi : 10.1016/j.tifs.2022.04.007
52. Grimberg, A., Ganapathi, V. S., Ritva A.M., Bengtsson, T., Alandia, G., & Anders S. C. (2022) Transcriptional regulation of quinoa seed quality: identification of novel candidate genetic markers for increased protein content. *Frontiers in Plant Science*, 13. doi : 10.3389/fpls.2022.816425
53. Hinojosa, L., González, J., Barrios-Masias, F., Fuentes, F., & Murphy, K. (2018) Quinoa abiotic stress responses: A Review. *Plants*, 7(4), 106. doi : 10.3390/plants7040106
54. Hinojosa, L., Leguizamo, A., Carpio, C., Munoz, D., Mestanza, C., Ochoa, J. (2021). Quinoa in Ecuador: recent advances under global expansion. *Plants*, 10, 298. doi: 10.3390/plants10020298
55. Hussain, M. I., Farooq, M., Syed, Q. A., Ishaq, A., Al-Ghamdi, A. A. & Hatamleh, A. A. (2021). Botany, nutritional value, phytochemical composition and biological activities of quinoa. *Plants*, 10, 2258. doi: 10.3390/plants10112258
56. Isam, A., Ahmed, M., Al Juhaimi, F., & Musa Özcan, M. (2021) Insights into the nutritional value and bioactive properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*): past, present and future prospective. *International Journal of Food Science & Technology*, 56, 8, 3726-3741. doi: 10.1111/ijfs.15011
57. Isobe, K., Sugiyama, H., Okuda, D., Murase, Y., Harada, H., Miyamoto, M., Koide, S., Higo, M., & Torigoe, Y. (2016) Effects of sowing time on the seed yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in South Kanto, Japan. *Agricultural Science*, 7, 146–153. doi: 10.4236/as.2016.73014
58. Israel, D., & Bilsborrow, P. (2022) Optimizing quinoa growth cycle duration in northeast England by varying the sowing date. *Agronomy Journal*, 114, 4, 2186–2199. doi: 10.1002/agj2.21131
59. Jacobsen, S. E. (2011) The situation for quinoa and its production in southern Bolivia: from economic success to environmental disaster. *J. Agron. Crop Sci.*, 197, 390–399. doi: 10.1111/j.1439-037X.2011.00475
60. Jacobsen, S. E. (2017) The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *J. Agron. Crop Sci.*, 203, 603–613. doi: 10.1111/jac.12228
61. Jacobsen, S. E., & Christiansen, J. L. (2016) Some agronomic strategies for organic quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Agron. Crop Sci.*, 202, 454–463. doi: 10.1111/jac.12174
62. Jacobsen, S. E., & Mujica, A. (2002) Genetic resources and breeding of the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plant Genetic Res. Newsletter*, 130, 54–61.
63. Jovanovic, Z., Stkic, R., & Jacobsen, S-E. (2022) Climate Change: challenge of introducing quinoa in Southeast European Agriculture. In book: *Biology and Biotechnology of Quinoa*, 345-371. doi:10.1007/978-981-16-3832-9_16
64. Karyotis, T., Iliadis, C., Noulas, C. & Mitsibonas, T. (2003). Preliminary research on seed production and nutrient content for certain quinoa varieties in a saline-sodic soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 189(6), 402–408
65. Kitaguchi, T., Ogra, Y., Iwashita, Y., & Suzuki, K. T. (2008) Speciation of selenium in selenium-enriched seeds, buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow). *Eur Food Res Technol.*, 227(5), 1455–6067.
66. Lesjak, J., & Calderini, D. F. (2017) Increased night temperature negatively affects grain yield, biomass and grain number in Chilean quinoa. *Front. Plant Sci.* 8, 352. doi: 10.3389/fpls.2017.00352
67. López-Marqués, R.L., Nørrevang, A.F., Ache, P., Moog, M., Visintainer, D., Wendt, T., Østerberg, J.T., Dockter, C., Jørgensen, M.E., Salvador, A.T., Rainer, H., Gao, C., Jacobsen, S-E., Shabala, S., & Palmgren, M. (2020) Prospects for the accelerated improvement of the resilient crop quinoa. *Journal of Experimental Botany*, 71, 18, 5333–5347. doi: 10.1093/jxb/eraa285
68. Maliro, M. F. A., Guwela, V. F., Jacinta, N. & Murphy, K. M. (2017) Preliminary studies of the performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under irrigated and rainfed conditions of central Malawi. *Front. Plant Sci.* , 8, 227.
69. Maradini, A. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. Sant'ana, H. M. P., Chaves, J. B. P., & Coimbra, J. (2017) Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57, 1618–1630. doi: 10.1080/10408398.2014.100181
70. Mosyakin, S., & Schwartz, V. (2015) Quinoa as a promising pseudocereal crop for Ukraine. *Agricultural Science and Practice*, 2(1), 3-11. doi: 10.15407/agrisp2.01.003
71. Murphy, K. M., Bazile, D., Kellogg, J., & Rahmanian, M. (2016) Development of a worldwide consortium on evolutionary participatory breeding in quinoa. *Frontier in Plant Science*, 7, 608. doi: 10.3389/fpls.2016.00608
72. Noulas C., Tziouvalekas, M., Vlachostergios, D., Baxevanos, D., Karyotis, T., & Iliadis, C. (2017) Adaptation, agronomic potential, and current perspectives of quinoa under Mediterranean conditions: case studies from the Lowlands of Central Greece. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48 (22), 2612–2629. doi:10.1080/00103624.2017.1416129
73. Nowak, V., Du, J. & Charrondière, U. R. (2015) Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chem.*, 193, 47–54. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.02.111
74. Owji T., Mohajeri F., Madandoust M., & Salehi M. (2020) Evaluation of the effect of seed rate and nitrogen fertilizer management on agronomic characteristics and yield components of spring quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *International Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological Research*, 10(4), 264–272. 26. doi: https://doi.org/10.12911/22998993/146515
75. Phara, B., Bockstaele, F., Muylle, H., Quataert, P., Vermeir, P., Eeckhout, M., & Cnops, G. (2021) Yield and nutritional characterization of thirteen quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Varieties Grown in North-West Europe—Part I, *Plants*, 10, 12, 2689. doi : 10.3390/plants10122689

76. Phara, B., Cnops, G., Muylle, H., Quataert, P., Eeckhout, M., & Bockstaele, F. (2022) Physicochemical characterization of thirteen quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Varieties Grown in North-West Europe—Part II, *Plants*, 11, 3, 265. doi : 10.3390/plants11030265
77. Pinto, A. A., Fischer, S., Wilckens, R., Bustamante, L. & Berti, M. T. (2021) Production efficiency and total protein yield in quinoa grown under water stress. *Agriculture*, 11, 1089. doi: 10.3390/agriculture11111089
78. Prado, F. E., Fernandez-Turiel, J. L., Tsarouchi, M., Psaras, G. K., & Gonzalez, J. A. (2014) Variation of seed mineral concentrations in seven quinoa cultivars grown in two agroecological sites. *Cereal Chem.*, 91, 453–459. doi: 10.1094/CCHEM-08-13-0157-R
79. Prager, A., Boote, K. J., Munz, S., & Graeff-Hönninger, S. (2019) Simulating growth and development processes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): adaptation and evaluation of the CSM-CROPGRO Model, *Agronomy*, 9, 12, 832. doi : 10.3390/agronomy9120832
80. Prager, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mast, B., & Graeff-Honninger, S. (2018) Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in southwestern Germany. *Agronomy*, 8, 197. doi: 10.3390/agronomy8100197
81. Rachid, F., Said, W., Fatima, A., Oudou, I. A., Ouafae, B., Ragab, R. (2015) Response of quinoa to different water management strategies: Field experiments and Saltmed model application results. *Irrig. Drain.* 64, 232–238.
82. Rahut, D. B., Aryal, J. P., Manchanda, N., & Sonobe, T. (2022) Expectations for household food security in the coming decades: A global scenario, in *Future Foods. Global Trends, Opportunities, and Sustainability Challenges*, ed. R. Bhat. (London: Academic Press), 107–131.
83. Razzaghi, F., Bahadori-Ghasroldashti, M. R., Henriksen, S., Sepaskhah, A. R. & Jacobsen, S. E. (2020). Physiological characteristics and irrigation water productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to deficit irrigation imposed at different growing stages—A field study from Southern Iran. *J. Agro. Crop Sci.*, 206(3), 390-404.
84. Reguera, M., Conesa, C. M., Gil-Gomez, A., Haros, C. M., Perez-Casa, M. A. & Briones-Labarca, V. (2018) The impact of different agroecological conditions on the nutritional composition of quinoa seeds. *Peer J*, 6, e4442. doi: 10.7717/peerj.4442
85. Repo-Carrasco-Valencia, R., Basilio-Atencio, J., Isabel Luna-Mercado, G., Pilco-Quesada, S., & Vidaurre-Ruiz, J. (2022) Andean Ancient Grains: nutritional value and novel uses. *Biology and Life Sciences Forum*, 8, 1, (15). doi : 10.3390/blsf2021008015
86. Rojas, W., Milton, P., Alanoca, C., Gómez Pando, L., Leónlobos, P. & Alercia, A. (2015) Quinoa genetic resources and ex situ conservation. In *State of the Art Report on Quinoa Around the World in 2013*, eds. D. Bazile, D. Bertero and C. Nieto (Rome: FAO/CIRADE), 56–82.
87. Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I. S., Antognoni, F., Martínez- Mosqueira, E. A. (2014) Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 349–59. doi:10.1007/s13593-013-0195-0
88. Ruiz, K. B., Biondi, S., Oses, R., Acuna-Rodriguez, I. S., Antognoni, F., Martínez-Mosqueira, E. A., et Schmidt, D., Verruma-Bernardi, M. R., Forti, V. A., & Borges, M. (2021) Quinoa and amaranth as functional foods: a review. *Food Rev. Int.*, 37, 1–20. doi: 10.1080/87559129.2021.1950175
89. Singh, M. P., Soni, K., Bhamra, R., & Mittal, R. K. (2022) Superfood: value and need. *Curr. Nutr. Food Sci.* 18, 65–68. doi: 10.2174/1573401317666210420123013
90. Singh, U., Praharaj, C. S., Ram, D., Jat, N. K., & Kumar, M. (2021) Agronomic manipulations for cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). In: Varma, A. (eds) *Biology and Biotechnology of Quinoa*. Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-16-3832-9_6
91. Shokry, A. M. (2016) The usage of quinoa flour as a potential ingredient in production of meat burger with functional properties. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 6, 1128–1137.
92. Stanschewski, C. S., Rey, E., Fiene, G., Craine, E. B., Wellman, G., Melino, V.J., Patiranage, D. S. R., Johansen, K., Schmöckel, S. M., Bertero, H. D., Oakey, H., Afzal, I., Raubach, S., Miller, N., Streich, J., Buchvaldt Amby, D., Emrani, N., Warmington, M., Moussa, M.A.A., Wu, D., Jacobson, D., Andreasen, C., Jung, C., Murphy, K., Bazile, D. & Tester, M. (2021) Quinoa phenotyping methodologies: an international consensus. *Plants*, 10, 1759, 1–52. doi: 10.3390/plants10091759.
93. Tabatabaei, I., Alseekh, S., Shahid, M., Leniak, E., Wagner, M. & Mahmoudi, H. (2022) The diversity of quinoa morphological traits and seed metabolic composition. *Sci. Data*, 9, 1–7. doi: 10.1038/s41597-022-01399-y
94. Tanwar, B., Goyal, A., Irshaan, S., Kumar, V., Sihag, M.K., Patel, A., & Kaur, I. (2019) Quinoa. In *Whole Grains and Their Bioactives*; John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester, UK, 269–305.
95. Thiam, E., Allaoui, A., & Benlhabib, O. (2021) Quinoa productivity and stability evaluation through varietal and environmental interaction. *Plants*, 10, 714. doi: 10.3390/plants10040714
96. Trotsenko V. I., Kovalenko I. M. & Ilchenko V. O (2017). Stan ta perspektyvy kul'tury kinoa v pivnichno-skhidnomu lisostepu Ukrayiny. [State and prospects of quinoa crop in the north-eastern forest-steppe of Ukraine] *Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Seriya: Ahronomiya i biolohiya* 9, 77-81. [in Ukrainian]
97. Trotsenko, N., Zhatova, H. & Radchenko, M. (2023). Growth and yield capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) depending on the sowing rate in the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine. *AgroLife Scientific Journal*, 12(2), 206–213. doi: <https://doi.org/10.17930/AGL2023226>
98. Tschopp, M., Bieri, S., & Rist, S. (2018) Quinoa and production rules: how are cooperatives contributing to governance of natural resources? *J. Commons*, 12, 402–427. doi: 10.18352/ijc.826

99. Vidueiros, S. M., Curti, R. N., Dyner, L. M., Binaghi, M. J., Peterson, G., Bertero, H. D., & Pallaro, A. N. (2015) Diversity and interrelationships in nutritional traits in cultivated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Northwest Argentina. *J. Cereal Sci.*, 62, 87–93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.01.001>
100. Wali, A. M., Kenaway, M. K., Ibrahim, O. M., & El Lateef, E.M.A. (2022) Productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) under new reclaimed soil conditions at north-western coast of Egypt. *Bull. Natl. Res. Cent.*, 46, 38.
101. Wang, N., Wang, F. X., Shock, C. C., Meng, C. B., & Qiao, L. F. (2020) Effects of management practices on quinoa growth, seed yield, and quality. *Agronomy* 10, 445. doi: 10.3390/agronomy10030445
102. Wang, S., & Zhu, F. (2016) Formulation and Quality Attributes of Quinoa Food Products. *Food Bioprocess Technol.*, 9, 49–68.
103. Wang, N., Wang, F., Shock, C.C., Meng, C., & Qiao, L. (2020) Effects of management practices on quinoa growth, seed yield, and quality. *Agronomy*, 10(3), 445. doi:10.3390/agronomy1003044
104. Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S. E. & Schwember, A. R. (2014) Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Potential and perspectives. *Molecular Breeding*, 3, 13–30. doi:10.1007/s11032-014-0023-5

Trotsenko N. V., PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Experience in growing and genetic potential of quinoa

*The article highlights the peculiarities of quinoa as a promising crop for cultivation in Europe and Ukraine. Recently, there has been a differentiation of the food market due to the production of less common plants as a promising high-quality source of food. A deeper understanding of these crops and their potential role will help to secure the future and meet the food and nutritional needs of society. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is considered to be one of the most promising species in addressing food security challenges in the 21st century due to its increased resistance to extreme environmental conditions and high potential yields*

Quinoa can be used for crop diversification and as an alternative one for the development of marginal agricultural land. The genetic potential of the quinoa crop is part of the cultural heritage, and its preservation is the responsibility of genetic banks in many countries. The growing demand for dietary and organic products has contributed to the cultivation of quinoa outside the region of its origin – South America.

The possibilities and prospects of quinoa growing in Europe have been proven by many studies. Based on results of quinoa introduction on the European continent, a basic model of breeding and technological modernisation of the crop has been formed; it takes into account such aspects as photoperiod, sowing, and weed control. The introduction of quinoa in Ukraine is concentrated mainly in the Forest-Steppe and Polissya regions. The varietal potential of quinoa in Ukraine is ensured by the presence of three registered varieties oriented to the Steppe (Olymp), Forest-Steppe and Polissya zones (Quartet, Komyza).

The yield level declared by the originators ranges from 1.1 to 2.4 t/ha. Sumy NAU has developed a basic technology for growing the crop in the Forest-Steppe zone (Kvartet and Komyza varieties). Critical links (requiring breeding and technological enhancement) in the technology of quinoa growing in the region have been identified. The e process success of spreading quinoa in Ukraine is constrained by the low level of consumption and a set of technological factors. Breeding modernisation can be an important step in solving the problems of introducing the crop in Ukraine by improving the consumer characteristics of it and increasing the level of variety resistance to native pests.

Key words: quinoa, technology, genetic potential, crop perspectives.