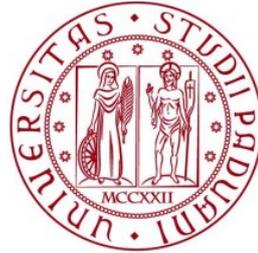


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea in Biologia



ELABORATO DI LAUREA

***Amaranthus caudatus* L.: origini, caratteristiche botanico-nutraceutiche e prospettive per il futuro**

Tutor: Prof.ssa Francesca Dalla Vecchia

Dipartimento di Biologia

Laureanda: Giulia Fenio

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Sommario

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUZIONE..... | 4 |
| 2. CENNI STORICO-GEOGRAFICI..... | 5 |
| 2.1 UTILIZZI TRADIZIONALI NEL MONDO..... | 5 |
| 3. CARATTERISTICHE BOTANICHE | 6 |
| 3.1 ADATTAMENTO A CONDIZIONI AMBIENTALI ESTREME..... | 8 |
| 3.2 FILOGENESI, ADDOMESTICAMENTO E COLTIVAZIONE | 9 |
| 3.3 FITORISANAMENTO..... | 10 |
| 4. PROFILO NUTRACEUTICO..... | 11 |
| 4.1 PROTEINE | 11 |
| 4.2 LIPIDI..... | 12 |
| 4.3 CARBOIDRATI | 13 |
| 4.4 VITAMINE E MINERALI..... | 13 |
| 4.5 FIBRA VEGETALE..... | 14 |
| 5. COMPOSTI BIOATTIVI..... | 15 |
| 5.1 ATTIVITÀ BIOLOGICHE E TERAPEUTICHE | 16 |
| 6. IMPIEGO NEL MIGLIORAMENTO DI CIBI PROCESSATI..... | 17 |
| 7. CONCLUSIONI: POTENZIALE SUPERFOOD DEL FUTURO | 18 |
| 8. BIBLIOGRAFIA | 19 |

1. INTRODUZIONE

Il genere *Amaranthus* comprende circa 70 specie, la maggior parte delle quali originarie dell'America e solo 15 provenienti da Europa, Asia, Africa e Australia. *Amaranthus caudatus* L. è conosciuto con il nome di amaranto granuloso, anche detto pseudocereale (Waisundara, 2020).

L'amaranto è una coltura di origini antiche, in quanto scavi archeologici nel nord dell'Argentina, suggeriscono che semi di amaranto selvatico siano stati raccolti e utilizzati per il consumo umano durante l'Olocene medio-iniziale. Nell'impero azteco, l'amaranto era una coltivazione di gran valore e veniva utilizzata come tributo dagli agricoltori, essendo il suo valore quasi al pari del mais (Stetter *et al.*, 2017).

Al pari delle altre specie appartenenti al genere *Amaranthus*, *A. caudatus* presenta diverse caratteristiche che lo rendono una coltura promettente, sia nel mondo occidentale che nei paesi in via di sviluppo. *A. caudatus* è una pianta che si adatta prontamente a diversi ambienti anche se estremi, compresi alcuni che sarebbero inadatti per altri cereali (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

In ambito nutraceutico, *A. caudatus* è stato classificato come alimento caratterizzato da una notevole importanza nutraceutica, grazie alle sue ricche proprietà nutrizionali e all'abbondanza di fitonutrienti.

Il genere *Amaranthus* è anche considerato un superfood (Jimoh *et al.* 2019). *A. caudatus*, comunemente noto come kiwicha, è una delle poche colture di pseudocereali che fornisce semi in enormi quantità (Martínez-López *et al.*, 2020).

A. caudatus è ricco di composti bioattivi quali acidi fenolici, licopene, polifenoli, acidi grassi insaturi, glucosinolati, proteine, peptidi solubili, flavonoidi, squalene e betacarotene. Nonostante i suoi numerosi potenziali, la pianta è ad oggi sottoutilizzata come fonte alimentare e medicinale in Africa e in altre parti del mondo (Jimoh *et al.*, 2019).

Da alcuni decenni *Amaranthus* è stato riscoperto come un promettente genere vegetale, fornente proteine di alta qualità, oli insaturi e altri preziosi costituenti. A tutt'oggi, la ricerca incentrata su varie specie di *Amaranthus* è in rapida espansione (Jimoh *et al.*, 2018). In particolare, grazie alle sue eccellenti caratteristiche, il genere *Amaranthus* è considerato un potenziale rimedio nella lotta contro la malnutrizione nel XXI secolo in molti paesi in via di sviluppo (Waisundara, 2020).

2. CENNI STORICO-GEOGRAFICI

La storia dell'amaranto è profondamente radicata nelle culture precolombiane del nuovo mondo (Waisundara, 2020). Infatti, nel periodo precoloniale azteco era una pianta centrale nel culto degli dèi (Ruth *et al.*, 2021). *A. caudatus*, in particolare, rivestiva un ruolo significativo nell'epoca precolombiana in Sud America. Gli Incas le attribuivano molto valore, al pari di cereali e patate. Ciò era probabilmente dovuto alla sua enorme variabilità genetica, plasticità fenotipica, alta resa e adattamento ad ambienti anche marginali (Jimoh *et al.*, 2019).

I semi di amaranto erano legati ai rituali pagani delle popolazioni native e per questo motivo i conquistadores spagnoli vietarono l'uso e la coltivazione di questa pianta, riducendone la coltivazione a piccoli appezzamenti (Waisundara, 2020). Il grano di amaranto fu messo al bando, i campi bruciati ed i coltivatori o possessori di *Amaranthus* venivano severamente puniti. Tuttavia, queste misure non furono in grado di eliminare completamente la coltivazione di amaranto, tanto che modeste quantità di semi riuscirono a sopravvivere in poche aree remote, dove le piante venivano utilizzate principalmente per fare dolci tradizionali chiamati *alegria* (Ruth *et al.*, 2021).

300 anni dopo esser diventato una coltura secondaria di poca importanza, *Amaranthus* venne riscoperto in Messico, dove veniva utilizzato dai discendenti degli Aztechi nelle loro pratiche religiose. Il grano di amaranto venne ufficialmente reintrodotta negli Stati Uniti negli anni '70 dello scorso secolo. *Amaranthus* è stato così riscoperto negli ultimi decenni, grazie ad alcuni studi al riguardo che hanno dimostrato la potenzialità dell'amaranto come pianta commestibile a livello di semi, fusto e foglie, le quali potrebbero venire utilizzate per migliorare cibi già pronti di bassa qualità nutrizionale (Ruth *et al.*, 2021).

2.1 UTILIZZI TRADIZIONALI NEL MONDO

Amaranthus viene coltivato ed apprezzato in molte aree rurali grazie alla sua potenzialità alimentare per gli esseri umani (Ruth *et al.*, 2021). La parola "Amaranto" deriva dal greco "Amarantos", che significa letteralmente "privo di fronzoli"; questa denominazione è stata attribuita alla pianta come simbolo di immortalità (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Sebbene l'amaranto sia stato per lungo tempo una coltura dimenticata, è ben noto in molte comunità rurali e urbane in quanto utilizzato a livello familiare-tradizionale, anche se la modalità di consumo differisce per gruppo etnico (Ruth *et al.*, 2021). L'utilizzo azteco della pianta prevedeva il mescolamento del grano di amaranto schiacciato assieme a sangue umano o a latte, che veniva poi consumato durante rituali e feste (Waisundara, 2020). Questa specie veniva anche utilizzata come pianta medicinale, fonte di colorante, foraggio e a scopo ornamentale, oltre al suo principale impiego come alimento base nelle zone di

coltivazione (Ruth *et al.*, 2021). Vi sono testimonianze che fanno riferimento all'invio di tonnellate di amaranto a Tenochtitlàn (l'attuale Città del Messico) come tributo per l'imperatore Montezuma (Waisundara, 2020).

Nella cultura indiana, l'amaranto si è guadagnato i nomi di *rajgira* e *ramdana* (seme del re e seme inviato da Dio, rispettivamente). Nella cucina indiana è conosciuto anche come *laddoo*, un piatto a base di una miscela di semi di amaranto e miele (Waisundara, 2020).

L'amaranto fa parte dell'agricoltura indigena africana da lungo tempo, essendo stato parzialmente addomesticato e utilizzato principalmente come ortaggio in Etiopia e in altri paesi dell'Africa orientale (Fig.1). Oltre che per scopi medicinali, i semi vengono utilizzati in Etiopia per la preparazione di una bevanda locale conosciuta come *chaqa*. I semi cotti vengono aggiunti al porridge, mentre i semi macinati vengono mescolati con il teff per preparare il pane fermentato detto *injera*. *Amaranthus* viene anche usato per realizzare una bevanda alcolica detta *borde*, pane azzimo *kita* e un porridge delicato *atmit* per neonati e madri che hanno recentemente partorito (Alemayehu *et al.*, 2015).

Nel proprio paese d'origine, *A. caudatus* è ancora oggi conosciuto con il nome di *kiwicha*. Viene coltivato in alcuni luoghi del mondo come Messico, Guatemala, Perù, India e Nepal, e prospettive di ampliamenti di coltivazione negli Stati Uniti e nei paesi tropicali (Martínez-López *et al.*, 2020).



Figura 1. Campo di *Amaranthus* in Uganda, coltivato per l'autoconsumo (Alemayehu *et al.*, 2015).

3. CARATTERISTICHE BOTANICHE

Gli amaranto appartengono alla famiglia delle Amarantacee. Il genere *Amaranthus* comprende generalmente piante annuali monoiche tranne alcune forme dioiche, molto più limitate nella distribuzione (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Amaranthus caudatus L. è una pianta erbacea annuale, eretta, che raggiunge un'altezza di 2,0 m, con fusti rossastri o violacei. I fusti sono piuttosto robusti,

scarsamente ramificati, nudi o finemente ricoperti da lunghi peli multicellulari, sempre più numerosi verso la sommità (Fig. 2a). Le foglie sono semplici, lunghe e picciolate (con picciolo che raggiunge gli 8 cm di lunghezza), con lamina ampia, ovoidale/romboidale/ellittica, lanceolata, che misura 3-15 cm × 1-8 cm; l'apice fogliare è acuto mentre la base è brevemente cuneata; la foglia è glabra, con peli lungo i margini (Das, 2016).

Le infiorescenze si presentano estremamente allungate, morbide e lasse (misurano fino 1,5 mt.) con forma di spighe cadenti o simili a pannocchie. I fiori sono disposti in spighe ascellari e terminali formate da grappoli cimosi aggregati. Fiori maschili e femminili sono presenti in tutte le spighe. Le brattee sono ovali, membranose ed acuminate, sono dotate di un'arista lunga, pallido-rossastra e rigida, con venatura centrale che dà verso l'esterno, lunga fino a due volte il perianzio (Fig.2b). Il perianzio presenta cinque tepali (Fig. 2c), quelli del fiore maschile sono oblungo-ellittici, acuti, e misurano 2,5–3,5 mm di lunghezza (Fig. 2d), mentre quelli del fiore femminile sono ampiamente ovali a spatola, con una bruscamente smussati, lunghi 1,75–2,5 mm e tepali interni più corti dei tepali esterni (Fig. 2e) (Das, 2016).

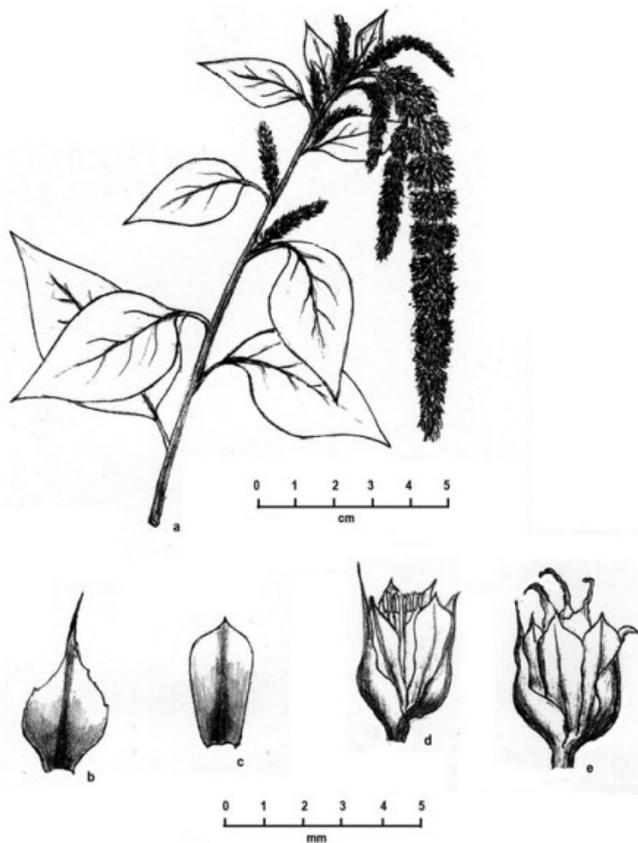


Figura 2. *Amaranthus caudatus* L. (A) fusto; (B) bratte; (C) tepali; (D) fiore maschile; (E) fiore femminile (Das, 2016).

Grazie alla loro densa infiorescenza rossa *A. caudatus* viene apprezzato anche come pianta ornamentale (Fig.3) (Waisundara, 2020). I frutti sono ovoidali-globosi, circumscissili, sacciformi e non formano grappoli all'apice; l'opercolo può essere liscio o solcato, ed è bruscamente ristretto a formare un manico corto e spesso di 2,0-2,5 mm. I semi sono compressi, lucidi, di color bianco crema o grigio, con uno spesso bordo rosa- giallastro, centro traslucido e misurano 0,75-1.25 mm di diametro (Das, 2016).



Figura 3. Infiorescenza di *A. caudatus* (Kongdan et al., 2021).

3.1 ADATTAMENTO A CONDIZIONI AMBIENTALI ESTREME

Le specie del genere *Amaranthus* sono piante di clima tropicale di tipo C4. Le piante C4 utilizzano uno specifico meccanismo di fotosintesi, noto come “fotosintesi C4” utile ad evitare la fotorespirazione e che consente la crescita in ambienti caldi e asciutti (Ruth *et al.*, 2021).

Al pari delle altre piante C4, *Amaranthus* ha la capacità di ridurre la perdita d'acqua, fotosintetizzando a velocità superiori o pari alle normali piante C3, dimostrandosi così una coltura promettente per le regioni aride e semi-aride. A temperature elevate, il metabolismo C4 è tipicamente efficiente in particolare in condizioni di illuminazione intensa, oltre che in condizioni estremamente aride. La via fotosintetica C4 permette a queste specie di tollerare condizioni ambientali ostili, rendendole facilmente adattabili (Jimoh *et al.*, 2018).

La salinità è un altro problema crescente che colpisce la produttività di molte colture in aree aride e semi-aride del mondo. Uno studio realizzato sulla pre-germinazione dei semi *Chenopodium quinoa* e *caudatus* dimostra che è possibile raggiungere una tolleranza a salinità moderate per entrambe le specie grazie al metodo del seed-priming (Moreno *et al.*, 2018).

3.2 FILOGENESI, ADDOMESTICAMENTO E COLTIVAZIONE

Le prime testimonianze della coltivazione di amaranto risalgono al periodo del medio Olocene (8000–7000 a.C.) (Waisundara, 2020). Il più antico reperto preistorico è uno scavo archeologico in una grotta a Tehuacàn, (Messico), in cui vennero trovati semi di diverse specie di amaranto risalenti a 6000 anni fa. Ciò conferma l'utilizzo dell'amaranto come alimento principale in America Centrale durante il periodo Maya e Azteco (Martinez-Lopez *et al.*, 2020). Le tre principali specie di amaranto di grano (*A. hypocondriacus*, *A. cruentus* e *A. caudatus*) venivano coltivate in diverse regioni in America, in particolare *A. caudatus* veniva coltivato nella zona dell'America meridionale, nei pressi delle Ande e all'Argentina settentrionale (Waisundara, 2020).

La storia della coltivazione dell'amaranto e del suo addomesticamento è ancora in discussione (Fig. 4). L'analisi genotipica e fenotipica delle colture di amaranto di grano sudamericano e dei suoi parenti stretti, suggerisce che *A. caudatus* sia una specie di coltura non completamente addomesticata. Tratti chiave dell'addomesticamento, come la forma delle infiorescenze, la frantumabilità dei semi e la dimensione del seme, sono piuttosto simili tra amaranto coltivati e le specie *wild type* (Stetter *et al.*, 2017).

Possibili spiegazioni per l'incompleta fissazione dei tratti di addomesticamento nell' amaranto sudamericano includono: una selezione debole, vincoli genetici o flusso genico in corso. Inoltre, poiché in Messico è molto sviluppato l'utilizzo delle foglie di amaranto, l'utilizzo dei semi *A. caudatus* potrebbe non essere stato l'obiettivo principale della sua selezione durante l'addomesticamento, consentendo quindi l'esistenza di una varietà di tratti nel seme, essendo stata la selezione del grano debole o incompleta (Stetter *et al.*, 2017).

Per quanto riguarda la coltivazione, uno studio recentemente eseguito su *A. caudatus* ha dimostrato che le proprietà chimiche del suolo si riflettono sulle caratteristiche della pianta, in quanto influenzano l'accumulo di minerali e nutrienti nel cereale stesso. Anche l'invecchiamento della pianta provoca cambiamenti sulle le sue caratteristiche nutrizionali. Per una resa ottimale delle vitamine A ed E, *A. caudatus* deve venir coltivato in terricci argillosi ed essere raccolto poco prima o appena iniziata la fioritura (Jimoh *et al.*, 2020). Luce intensa e adeguata disponibilità di sostanze nutritive sono vantaggiose per massimizzare il raccolto di amaranto (Ruth *et al.*, 2021).

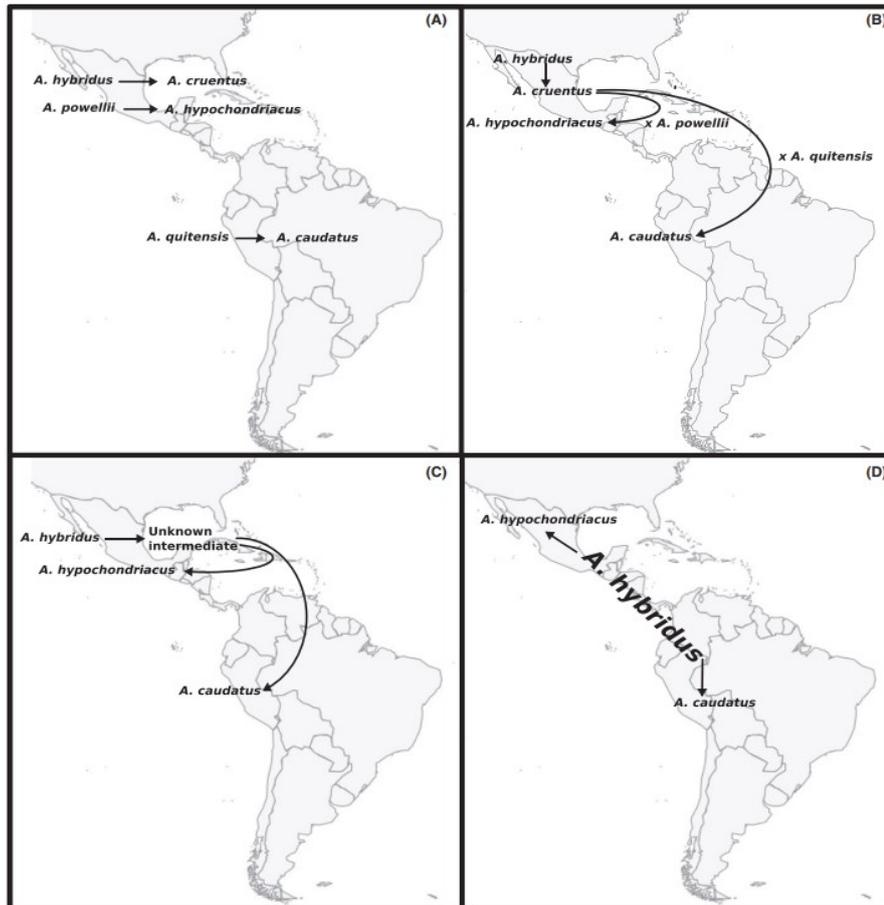


Figura 4. Modelli di addomesticamento dell'amaranto. (A) Ipotesi polifiletica: addomesticamento indipendente delle 3 specie di grano di amaranto partendo da diverse specie strettamente imparentate. (B) Ipotesi monofiletica: addomesticamento iniziale da *A. hybridus* con successiva migrazione e ibridazione con ulteriori parenti stretti. (C) Addomesticamento singolo avvenuto nelle Ande o in Mesoamerica con successiva separazione spaziale di due lignaggi che porta a *A. caudatus* e *A. hypochondriacus*. (D) Due eventi di addomesticamento da un singolo lignaggio di *A. hybridus* che si estense successivamente in America centro-meridionale (Stetter *et al.*, 2017).

3.3 FITORISANAMENTO

La contaminazione ambientale da metalli pesanti dovuta a numerosi fattori è diffusa in molte parti del mondo, a causa del rilascio di numerosi metalli pesanti nel suolo. Il cadmio (Cd), elemento naturalmente presente in tracce nella crosta terrestre è uno dei più pericolosi. La sua presenza nel terreno è però aumentata a causa di attività umane come la lavorazione dei metalli, vernici, batterie, smaltimento dei rifiuti, combustione di combustibile e uso eccessivo di fertilizzanti chimici e pesticidi; pertanto, qualsiasi terreno contaminato da Cd necessita urgente risanamento. Uno studio ha dimostrato che *A. caudatus*, che cresce spontaneamente nella flora naturale del Mar Nero (Turchia), assorbe cadmio dal suolo inquinato e lo accumula nella sua biomassa. Pertanto, queste

piante ornamentali sono buone candidate al fitorisanamento ambientale (Cay, 2016).

4. PROFILO NUTRACEUTICO

Dal punto di vista botanico, il grano di amaranto non è un vero cereale, come il grano e il riso, ma appartiene alla classe degli pseudocereali (Ruth *et al.*, 2021). Il grano di amaranto è composto principalmente da 61,3-76,5% di carboidrati (principalmente amido), 13,1-21,5% di proteine, 5,6-10,9% di grassi, 2,7-5% di fibre e 2,5-4,4% di materiale inorganico (Waisundara, 2020). I principali minerali presenti nel seme di amaranto sono Ca, Fe, Mg, Mn, K, P, S e Na; l'amaranto è anche ricco di vitamine del complesso B (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Per comprendere al meglio la composizione nutrizionale ed il valore proteico dell'amaranto è necessario conoscerne la struttura del seme. Il seme di amaranto è molto piccolo (1-1,5 mm di diametro), ed è composto da diversi strati: il tegumento, il perisperma ricco in amido, l'endosperma e l'embrione, caratterizzato dalle 2 foglie cotiledonari ricche di proteine (Fig. 5). La distribuzione delle principali sostanze di riserva è diversa nelle varie aree: l'embrione e l'endosperma immagazzinano proteine, lipidi e minerali, mentre il perisperma accumula principalmente amido (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

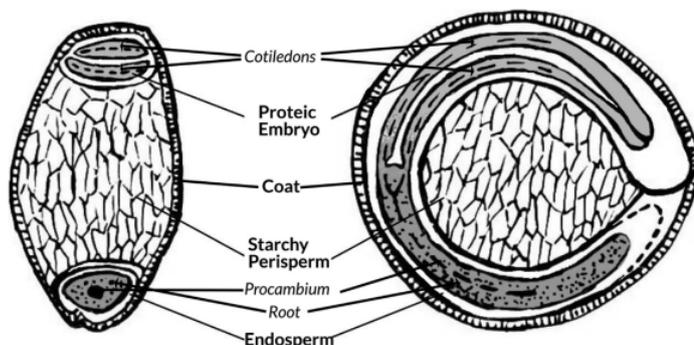


Figura 5. Sezioni trasversali e longitudinali del seme di amaranto. Nel seme maturo si distinguono quattro compartimenti: tegumento, embrione, endosperma e perisperma (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

4.1 PROTEINE

Il grano di amaranto presenta un contenuto proteico più elevato rispetto ai cereali. La lisina, che costituisce l'aminoacido limitante nei cereali, è presente in maggiori quantità nel grano di amaranto (Waisundara, 2020). La quantità di lisina

biodisponibile rende l'amaranto una fonte proteica di alta qualità. Una delle ragioni è dovuta al fatto che un 65% delle proteine totali disponibili dell'amaranto si trovano nell'embrione del seme (ricco di lisina) e solo il 35% nel perisperma (povero di lisina), al contrario del seme di molti altri cereali, che concentrano fino a un 85% delle loro proteine nel perisperma (Martinez-Lopez *et al.*, 2020). L'elevato contenuto proteico del grano di amaranto è evidente anche dal suo alto indice di amminoacidi essenziali (EAAI = 90,4%), che lo rende paragonabile alle proteine dell'uovo (Tab. 1) (Waisundara, 2020).

Tabella 1: amminoacidi essenziali in *A. caudatus* (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Essential amino acid composition from *A. caudatus*.

| Nutrient | <i>A. Caudatus</i> g/100 g protein (Venskutonis & Kraujalis, 2013) | <i>A. caudatus</i> g/100 g protein (Montoya-Rodríguez <i>et al.</i> , 2015) | <i>A. caudatus</i> g/100 g protein (Bressani, 1989; Mota <i>et al.</i> , 2016) |
|---------------------|---|---|--|
| Isoleucine | 3.6-4.2 | 4.1 | 5.2 |
| Leucine | 5.7-6.4 | 6.3 | |
| Lysine | 4.8-5.2 | 5.9 | 6.7 |
| Sulfur amino acid | 4.5-4.7 | 4.9 | |
| Aromatic amino acid | 7.2-7.0 | 8.1 | |
| Threonine | 3.3-3.4 | 4.0 | 5.1 |
| Tryptophan | 1.1-1.8 | 1.1 | 1.1 |
| Valine | 4.5-4.6 | 4.7 | |
| Histidine | | | |

Le principali proteine presenti in *Amaranthus* sono le albumine e le globuline, mentre i livelli rilevati di prolamine sono bassi o addirittura assenti. Le varie specie di amaranto presentano lievi differenze riguardanti le proteine contenute, in media *A. caudatus* contiene 13,5 g di proteine per 100 g di pseudo-cereale. Inoltre, la proporzione di amminoacidi come isoleucina, lisina, triptofano, treonina, zolfo-triptofano e valina è più elevata in *A. caudatus* rispetto ad altre specie di *Amaranthus* (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Un'altra misura della qualità proteica è il rapporto di efficienza proteica (PER); il punteggio proteico viene determinato prendendo il PER degli amminoacidi essenziali raccomandati dalla FAO/OMS e moltiplicandolo per 100. Per il seme *A. caudatus* questo punteggio si aggira intorno a 67-87, mentre nel grano è 47, nella soia 68-89, nel riso 69 e nel mais 35. Inoltre, le proteine nei semi cotti di amaranto hanno un'alta digeribilità, pari a circa il 90%. Per queste caratteristiche, la componente proteica delle diverse specie di amaranto è, in qualità e quantità, conforme a quanto raccomandato dalla FAO/OMS, e ciò lo rende una fonte proteica ideale per supportare le esigenze dietetiche umane (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

4.2 LIPIDI

Il grano di amaranto contiene solitamente un 5-8% di grassi, importanti dal punto di vista nutraceutico. Il contenuto di grassi del grano di amaranto è da due a tre volte superiore a quello dei cereali: ciò dipende dalla specie in considerazione e

dal tipo di coltivazione (Waisundara, 2020). In *A. caudatus*, le frazioni lipidiche sono composte da triacilgliceroli, fosfolipidi, squalene (7-8% e 11%), vitamine liposolubili come tocoferoli e tocotrienoli (5-8%) e steroli (0,27-0,32 mg/g). Altri grassi minori nella frazione lipidica dei semi di amaranto sono fitosteroli, cere e alcoli terpenici. Tra i fitosteroli rilevati nelle frazioni grasse insaponificabili, il condriasterolo è il più abbondante in *A. caudatus* L. (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Il profilo degli acidi grassi di amaranto è ricco di acidi grassi insaturi, pari al 73% degli acidi grassi totali, con una maggioranza di acidi linoleico (44,5-47,8%) e oleico (23,7-28,8%). Nell'amaranto il rapporto di acidi grassi insaturi/saturi è di 2,7 ed il rapporto linoleico/ α -linoleico è 52,4. Queste quantità rendono l'amaranto una importante fonte di acidi grassi insaturi (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Dal grano di amaranto è possibile estrarre, solitamente con l'aiuto di un solvente organico, circa il 5-8% di olio, contenente principalmente triacilgliceroli (78-82%). L'olio contiene anche squalene, fitosteroli, tocoferoli, carotenoidi e fosfolipidi. L'alto contenuto di tocoferoli e squalene, che agiscono come antiossidanti, fornisce all'olio di amaranto un'elevata stabilità ossidativa. La composizione dell'olio di semi di amaranto lo rende pertanto un ingrediente utile nell'industria alimentare, farmaceutica e cosmetica (Waisundara, 2020).

4.3 CARBOIDRATI

I granuli di amido di amaranto sono per lo più composti da amilopectina (93,6-95,2%) ed appaiono molto piccoli rispetto ai granuli contenuti nei semi di altri cereali. Le caratteristiche uniche dell'amido di amaranto, come la sua elevata solubilità e digeribilità, sono dovute alle sue dimensioni estremamente ridotte, circa un decimo delle dimensioni dell'amido di mais. L'amido di amaranto mostra proprietà uniche di gelatinizzazione e congelamento/scongelo che possono costituire un vantaggio nell'industria alimentare, ed essere utili in ambito farmacologico e cosmetico. (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Poiché l'amido di amaranto ha un indice glicemico elevato, il suo consumo porta ad una migliore prestazione fisica e ad un recupero più rapido in seguito ad attività fisica intensa e ad un rapido recupero dei depositi di glicogeno dopo l'allenamento (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

4.4 VITAMINE E MINERALI

Il valore vitaminico dei semi di amaranto differisce quando è cotto, scoppiato, germinato o essiccato. Per quanto riguarda le vitamine, nel seme grezzo di *A.*

caudatus sono stati registrati valori di acido ascorbico (vitamina C) pari a 12,5mg/kg, vitamine del complesso B come niacina o B3 (28,0 mg/kg), piridossina o B6 (4,5 mg/kg) e riboflavina o B2 (2,4 mg/kg). Tuttavia, la vitamina più importante identificata in *A. caudatus* è costituita dalle diverse isoforme della vitamina E, come tocoferoli e tocotrienoli, con un range di concentrazione che va da 63,7 a 129,3 mg/kg. Tocoferoli e tocotrienoli sono importanti perché agiscono come antiossidanti naturali e la loro presenza nei semi oleosi è spesso correlata con l'abbondanza relativa di acidi grassi insaturi (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

In *A. caudatus* è inoltre rappresenta una fonte ricca di ferro, calcio, magnesio, fosforo e zinco, le cui quantità relative sono riportate in (Tab. 2) (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Tabella 2: Composizione minerale nel seme grezzo di *A. caudatus* (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

| Mineral composition from raw <i>A. caudatus</i> seed. | | | | |
|---|----------|-----------------------------------|---|--------------------------------|
| Nutrient | mg/100 g | mg/L (Gamel <i>et al.</i> , 2005) | g/100 g (Alvarez-Jubete <i>et al.</i> , 2009) | DRIs* men/ women mg/ day |
| Ca | 159 | 1300-2850 | 180.1 ± 6.1 | 1000 |
| Fe | 7.61 | 72-174 | 9.2 ± 0.2 | 8/18 |
| Mg | 248 | 2300-3360 | 279.2 ± 1.1 | 420/320 |
| P | 557 | | | 700 |
| Zn | 2.87 | 36.2-40 | 1.6 ± 0.0 | 11/8 |
| Mn | 3.33 | | | 2.3/1.8 |

4.5 FIBRA VEGETALE

La fibra alimentare è benefica per la salute umana, velocizzando la funzione fecale, stimolando il tratto gastrico e regolando i livelli di glucosio e colesterolo nel sangue (Kurek *et al.*, 2018). L'amaranto ha un contenuto di fibra alimentare che varia dall'8 al 16% del seme; il 33-44% di questo contenuto è solubile. La fibra solubile di amaranto (SDF) è prevalentemente composta da xiloglucani ramificati con una maggioranza di catene laterali di- e trisaccaridiche, oltre a polisaccaridi pectici. La composizione monosaccaridica di fibra insolubile dell'amaranto (IDF) risulta essere glucosio (57%), arabinosio (22%), xilosio (9%), galattosio (6%), ramnosio (4%), mannosio (2%), e fucosio (1%) (Lamothe *et al.*, 2015).

Dato che la quinoa e l'amaranto hanno percentuali più elevate di SDF rispetto ai cereali, e che la composizione delle loro fibre assomiglia a quella di frutta, e verdura, compresi i legumi, piuttosto che a quella dei cereali, riveste un particolare interesse approfondirne la funzionalità e le proprietà fermentabili. La composizione strutturale e le caratteristiche delle fibre alimentari di questi due pseudocereali (amaranto e quinoa) suggeriscono un buon potenziale nella loro funzione di una colonizzazione del colon (Lamothe *et al.*, 2015).

5. COMPOSTI BIOATTIVI

Oltre a macro- e micronutrienti, l'amaranto contiene metaboliti vegetali secondari, che possono svolgere un ruolo significativo nella dieta umana grazie ai loro potenziali effetti benefici per la salute (Karamać *et al.*, 2019). I polifenoli sono metaboliti vegetali secondari che svolgono un ruolo nella protezione delle piante contro le radiazioni ultraviolette, gli agenti patogeni e gli erbivori. Tra i principali composti polifenolici identificati in *A. caudatus* L. vi è l'acido ferulico (120–620 mg/kg), mentre acido vanillico (15,5–69,5 mg/kg), acidi benzoici (4,7–136 mg/kg), acido caffeico (6,41–6,61 mg/kg) e acido p-cumarico (1,2–17,4 mg/kg) sono stati rilevati in minori concentrazioni (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

I tannini sono un gruppo unico di composti fenolici solubili in acqua, di peso molecolare relativamente elevato, di grande interesse in ambito nutraceutico grazie alla loro potente capacità antiossidante e possibili effetti protettivi sulla salute umana. Questi metaboliti sono presenti nelle foglie di *A. caudatus* (Jo *et al.*, 2015).

In aggiunta agli acidi fenolici, nei semi di *A. caudatus* sono stati rilevati alcuni flavonoidi monomerici e dimerici come quercetina (214–843 mg/kg), kaempferolo (22,4–59,7 mg/kg), rutina (7–592 mg / kg), e altri flavonoidi minoritari. I flavonoidi come la quercetina sono importanti antiossidanti, in grado di inibire significativamente l'ossidazione dell'HDL (colesterolo lipoproteico ad alta densità) (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Tra i composti bioattivi presenti nell'amaranto, i peptidi bioattivi hanno guadagnato interesse negli ultimi anni (Vilcacundo *et al.*, 2019). In *A. caudatus* sono stati identificati diversi peptidi bioattivi (Martinez-Lopez *et al.*, 2020). I peptidi di basso peso molecolare sono principalmente responsabili dell'attività enzimatica e dell'eliminazione di radicali liberi, mentre i peptidi di dimensioni più elevate svolgono un'importante azione inibitrice dell'effetto citotossico svolto dalle cellule tumorali del colon (Martinez-Lopez *et al.*, 2020). Cinque dei tredici peptidi identificati nelle proteine di *A. caudatus*, mostrano proprietà multifunzionali e perciò potrebbero essere utilizzati come ingredienti per alimenti funzionali, per la prevenzione e/o gestione di malattie croniche legate allo stress ossidativo, all'ipertensione e al diabete (Vilcacundo *et al.*, 2019).

I semi di amaranto sono anche ricchi di squalene e sono da considerare una fonte alternativa di squalene dietetico. Lo squalene è un composto terpenico derivante dagli squali, sebbene sia diffuso anche nella frazione insaponificabile degli oli vegetali. La sua importanza come integratore alimentare è legata alla sua capacità di ridurre i livelli di colesterolo e trigliceridi, nonché di migliorare gli effetti di alcuni farmaci che abbassano il colesterolo. Inoltre, lo squalene dietetico potrebbe svolgere anche un ruolo importante nella prevenzione tumorale (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Altre importanti sostanze fitochimiche identificate in *A. caudatus* sono le betalaine, (betacianine e betaxantine) ovvero una classe di pigmenti di derivazione indolica, di colore rosso e giallo. Le principali betalaine in *A. caudatus* sono l'amarantina (151,3 mg/kg) e isoamarantina (58,7 mg/kg). Le betalaine sono ampiamente utilizzate come colorante alimentare naturale e per le loro proprietà antiossidanti, applicabili nell'industria alimentare (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

Le specie appartenenti al genere *Amaranthus*, presentano inoltre alte quantità di β -carotene. Inoltre, gli estratti di *A. caudatus* contengono $24,1 \pm 1,29$ mg/100 g di antociani che agiscono inibendo l'ossidazione delle lipoproteine a bassa densità, e riducendo il rischio di malattia coronariche (Martinez-Lopez *et al.*, 2020).

5.1 ATTIVITÀ BIOLOGICHE E TERAPEUTICHE

Le proprietà nutraceutiche di *A. caudatus* permettono di classificare questa specie come fonte di fitonutrienti importanti per salute umana (Jimoh *et al.*, 2019). Di seguito in (Tab. 3) vengono riportati alcuni utilizzi terapeutici di *A. caudatus*.

Tabella 3: Utilizzi terapeutici di *A. caudatus* (Jimoh *et al.*, 2019)

| S/N | Therapeutic use | Media of extraction | Plant parts | Model | Pharmacological effect | Dosage | References |
|-----|---|--------------------------------------|---------------|---|---|-----------------------------|--|
| 1 | Antidiabetics | Hexane | Seeds | Wister rat | Plant extract's squalene is higher than synthetic squalene. | | Conforti <i>et al.</i> , 2005 |
| | | Hydro-ethanolic | Seeds | Wister rat | | 2000mg/kg | Zambrana <i>et al.</i> , 2018 |
| | | Methanol | Seeds, leaves | Wister rat | High activity on streptozotocin-induced diabetic rats | 400mg/kg | Conforti <i>et al.</i> , 2005; Girija <i>et al.</i> , 2011 |
| | | Ethyl acetate | Seeds | Wister rat | | | Conforti <i>et al.</i> , 2005 |
| 2 | Helminthic infections | Methanol | Whole plant | Pheretima posthuma | Higher activity than Piperazine | | Kumar <i>et al.</i> , 2010 |
| 3 | Anticancer | Commercial <i>A. caudatus</i> lectin | | Tumor cells | Cell apoptosis | 0.1 mg/ml & 0.08 mg/ml | Quiroga <i>et al.</i> , 2015 |
| 4 | Antimalarial | Polyherbal | Whole plant | SAABMAL [®] polyherbal | Polyherbal remedy | 100 and 200 mg/kg | Obidike <i>et al.</i> , 2015 |
| 5 | Antibacterial, antimicrobial & antifungal | Chitin binding proteins | Seeds | Fast atom bombardment mass spectroscopy | Inhibition of pathogenic fungi and activity against gram +ve bacteria | | Broekaert <i>et al.</i> , 1992; Das & Kumar, 2013; Verheyden <i>et al.</i> , 1995 |
| 6 | Antihypercholesteromic | | Leaf | | significant reduction in cholesterol | Artherosclerotic regression | Plate and Areas, 2002; Mendonça <i>et al.</i> , 2009 and Kabir <i>et al.</i> , 2011. |
| 7 | Hepatoprotective function | Paracetamol-induced liver damages | Leaf | Wister rats | Hepatogenic activity | 200 and 400mg/kg | Kumar <i>et al.</i> , 2011 |
| 8 | Cardiovascular protection | hydroalcoholic | Plant shoot | Rabbits | Regression of fatty lesions in aorta | 150 mg/kg day | Kabiri <i>et al.</i> , 2011 |
| 9 | Biotin deficiency | Consumption of 25g amaranth/day | Leaf and stem | Paediatric patient | Correction of biotin deficiency | 10mg biotin/day | Guzmán-Maldonado & Paredes-López, 1998 |

Diverse specie di *Amaranthus* contengono una combinazione di fitonutrienti, in particolare polifenoli e fibre alimentari, che si dimostrano promettenti per la salute dell'apparato gastrointestinale (Kongdang, 2021). Inoltre, studi clinici hanno dimostrato che l'amaranto esibisce attività ipocolesterolemizzanti,

ipoglicemizzanti, antineoplastiche e stimola il sistema immunitario (Peiretti et al., 2017).

Lo stress ossidativo è dovuto ad uno squilibrio tra la presenza di molecole ossidanti e i meccanismi di difesa antiossidante. I radicali liberi, come le specie reattive dell'ossigeno (ROS) e dell'azoto (RSN), generati durante il metabolismo aerobico, provocano stress ossidativo. ROS e RNS provocano danni al DNA, come modificazioni di basi azotate e nucleotidi, rotture dei filamenti, ossidazione proteica, formazione di aggregati proteici per reticolazione delle catene polimeriche, perdita di attività enzimatica, alterazioni delle vie metaboliche e morte cellulare (Paz et al., 2021). *A. caudatus* è stato classificato come uno dei primi cinque vegetali con maggiori proprietà antiossidanti. Queste proprietà possono essere dovute alla presenza di sostanze antiossidanti come fitosteroli, polifenoli, vitamine, squalene, e peptidi bioattivi in grado di migliorare la salute e il benessere umano (Martinez-Lopez et al., 2020).

6. IMPIEGO NEL MIGLIORAMENTO DI CIBI PROCESSATI

A. caudatus è uno dei cereali andini più consumati in America latina, utilizzato come sostituto senza glutine dei cereali convenzionali. L'utilizzo della sua farina per ottenere prodotti alimentari come snacks è di interesse, ma alcune sue proprietà possono diminuire in seguito alla sua cottura per trafilatura, una tecnologia che consente la trasformazione di prodotti simili ai cereali in snack digeribili, attraverso un processo che prevede alte temperature e alte pressioni. La condizione ottimale per ottenere snacks con adeguata capacità antiossidante e alto contenuto di composti fenolici, è una temperatura di trafilatura di 190 °C, e 14% di umidità iniziale. Gli amminoacidi essenziali di *A. caudatus* non sono significativamente influenzati dalla trafilatura. Snacks a base di cereali prodotti per trafilatura hanno solitamente un alto indice glicemico ma questo può venir ridotto includendo gli amaranto tra i cereali trafilati (Basilio-Atencio et al., 2020).

Le elevate qualità nutritive del grano di amaranto lo rendono adatto ad essere utilizzato per aumentare il valore biologico dei cibi processati. Di seguito sono riportati alcuni di questi utilizzi (Jimoh et al., 2018):

- Preparazione di impasti, creme pasticcere e condimenti per insalate;
- Produzione di farine miste, di cereali e pseudocereali, per la realizzazione di prodotti da forno;
- Produzione di pane con aggiunta di grano-amaranto senza intaccare le caratteristiche organolettiche;
- Gelatinizzante per l'amido per migliorare la qualità e il gusto della mollica del pane e l'assorbimento d'acqua;
- Amido, utilizzato per addensante di zuppe, salse, sgrassanti, sughi, cereali per la colazione e muffin,
- Semi scoppiati utilizzati nella produzione di melassa e caramelle;

- Semi scoppiati usati come farina o mescolati con sciroppo in Perù;
- Semi di amaranto scoppiati, uniti a miele per torte snack.

Con l'aumentare dell'interesse per i cereali alternativi, quindi, la quinoa e l'amaranto sono considerati buoni candidati per l'integrazione o la sostituzione di cereali comuni (Lamothe *et al.*, 2015).

7. CONCLUSIONI: POTENZIALE SUPERFOOD DEL FUTURO

Due attuali obiettivi della FAO sono:

1. Garantire che il cibo abbia un buon profilo nutrizionale e sia accessibile a tutta la popolazione mondiale
2. Fare in modo che la gestione delle risorse naturali preservi le funzioni degli ecosistemi, per la soddisfazione dei bisogni umani attuali e futuri.

L'amaranto, una coltura sottoutilizzata e una fonte economica di proteine, minerali, e vitamine A e C, sembra soddisfare queste richieste grazie al suo enorme potenziale e alle sue qualità nutrizionali (Paz *et al.*, 2021).

A. caudatus è considerato uno dei pochi pseudocereali multiuso per il suo potenziale utilizzo, non solo come fonte di nutrienti e fibre, ma anche per i suoi composti bioattivi (Paz *et al.*, 2021). La letteratura disponibile evidenzia che questa coltura viene sottoutilizzata senza ricevere la giusta attenzione, dal momento che *A. caudatus* esibisce numerose proprietà (Martinez-Lopez, 2020). Tra le caratteristiche dell'amaranto occorre ricordare anche quella di contrastare le conseguenze alimentari dei cambiamenti climatici sui raccolti vegetali, essendo la pianta in grado di crescere in condizioni di calore e siccità ed inoltre essendo resistente a parassiti emergenti (Alemayehu *et al.*, 2015).

L'amaranto è attualmente un alimento richiesto da vari consumatori, come atleti professionisti e persone affette da diabete e celiachia (Alemayehu *et al.*, 2015), dal momento che il grano di amaranto è considerato uno pseudocereale adeguato ad essere consumato nella dieta di pazienti celiaci in quanto non contiene glutine (Waisundara, 2020).

Tra le altre varie misure per combattere le carenze alimentari che minacciano la salute pubblica e la qualità di vita nei paesi in via di sviluppo, la coltivazione e l'addomesticamento di nuove colture come l'amaranto potrebbe contribuire a migliorare l'alimentazione delle famiglie a basso reddito. Secondo una stima dell'Accademia Nazionale delle Scienze degli USA del 1975, *Amaranthus* è stato identificato come la potenziale coltura con il valore economico più promettente tra 36 piante tropicali sottosfruttate, in grado di alleviare la fame in Africa e nel mondo in generale (Jimoh *et al.*, 2018). Grazie alle sue eccezionali qualità in vari ambiti, l'amaranto è considerato uno dei potenziali "superfood", con ottime prospettive per il futuro (Waisundara, 2020).

8. BIBLIOGRAFIA

- Alemayehu, F. R., Bendevis, M. A., & Jacobsen, S. E. (2015). The potential for utilizing the seed crop amaranth (*Amaranthus* spp.) in East Africa as an alternative crop to support food security and climate change mitigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(5), 321-329. <https://doi.org/10.1111/jac.12108>
- Basilio-Atencio, J., Condezo-Hoyos, L., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2020). Effect of extrusion cooking on the physical-chemical properties of whole kiwicha (*Amaranthus caudatus* L) flour variety centenario: Process optimization. *LWT*, 128, 109426. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109426>
- Cay, S. (2016). Enhancement of cadmium uptake by *Amaranthus caudatus*, an ornamental plant, using tea saponin. *Environmental monitoring and assessment*, 188(6), 1-8. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-016-5334-z>
- Das, S. (2016). *Amaranthus: A promising crop of future*. Singapore, Springer, 21-24 p. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-1469-7_3
- Jimoh, M. O., Afolayan, A. J., & Lewu, F. B. (2018). Suitability of *Amaranthus* species for alleviating human dietary deficiencies. *South African Journal of Botany*, 115, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.01.004>
- Jimoh, M. O., Afolayan, A. J., & Lewu, F. B. (2019). Therapeutic uses of *Amaranthus caudatus* L. *Tropical Biomedicine*, 36(4), 1038-1053. <https://msptm.org/files/Vol36No4/1038-1053-Anthony-Jide-Afolayan.pdf>
- Jimoh, M. O., Afolayan, A. J., & Lewu, F. B. (2020). Nutrients and antinutrient constituents of *Amaranthus caudatus* L. Cultivated on different soils. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3570-3580. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.07.029>
- Jo, H. J., Chung, K. H., Yoon, J. A., Lee, K. J., Song, B. C., & An, J. H. (2015). Radical scavenging activities of tannin extracted from amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). *Journal of microbiology and biotechnology*, 25(6), 795-802. <https://doi.org/10.4014/jmb.1409.09088>
- Karamać, M., Gai, F., Longato, E., Meineri, G., Janiak, M. A., Amarowicz, R., & Peiretti, P. G. (2019). Antioxidant activity and phenolic composition of amaranth (*Amaranthus caudatus*) during plant growth. *Antioxidants*, 8(6), 173. <https://doi.org/10.3390/antiox8060173>
- Kongdang, P., Dukaew, N., Pruksakorn, D., & Koonrunsesomboon, N. (2021). Biochemistry of *Amaranthus* polyphenols and their potential benefits on gut ecosystem: A comprehensive review of the literature. *Journal of Ethnopharmacology*, 281, 114547. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114547>

- Kurek, M. A., Karp, S., Wyrwicz, J., & Niu, Y. (2018). Physicochemical properties of dietary fibers extracted from gluten-free sources: quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*) and millet (*Panicum miliaceum*). *Food Hydrocolloids*, *85*, 321-330.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.021>
- Lamothe, L. M., Srichuwong, S., Reuhs, B. L., & Hamaker, B. R. (2015). Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food chemistry*, *167*, 490-496. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.022>
- Martinez-Lopez, A., Millan-Linares, M. C., Rodriguez-Martin, N. M., Millan, F., & Montserrat-de la Paz, S. (2020). Nutraceutical value of kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). *Journal of Functional Foods*, *65*, 103735.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103735>
- Moreno, C., Seal, C. E., & Papenbrock, J. (2018). Seed priming improves germination in saline conditions for *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus caudatus*. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *204*(1), 40-48.
<https://doi.org/10.1111/jac.12242>
- Paz, S. M. D. L., Martinez-Lopez, A., Villanueva-Lazo, A., Pedroche, J., Millan, F., & Millan-Linares, M. C. (2021). Identification and characterization of novel antioxidant protein hydrolysates from kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). *Antioxidants*, *10*(5), 645. <https://doi.org/10.3390/antiox10050645>
- Peiretti, P. G., Meineri, G., Gai, F., Longato, E., & Amarowicz, R. (2017). Antioxidative activities and phenolic compounds of pumpkin (*Cucurbita pepo*) seeds and amaranth (*Amaranthus caudatus*) grain extracts. *Natural Product Research*, *31*(18), 2178-2182.
<https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1278597>
- Ruth, O. N., Unathi, K., Nomali, N., & Chinsamy, M. (2021). Underutilization Versus Nutritional-Nutraceutical Potential of the *Amaranthus* Food Plant: A Mini-Review. *Applied Sciences*, *11*(15), 6879.
<https://doi.org/10.3390/app11156879>
- Stetter, M. G., Müller, T., & Schmid, K. J. (2017). Genomic and phenotypic evidence for an incomplete domestication of South American grain amaranth (*Amaranthus caudatus*). *Molecular ecology*, *26*(3), 871-886.
<https://doi.org/10.1111/mec.13974>
- Vilcacundo, R., Martínez-Villaluenga, C., Miralles, B., & Hernández-Ledesma, B. (2019). Release of multifunctional peptides from kiwicha (*Amaranthus caudatus*) protein under in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(3), 1225-1232. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9294>
- Waisundara, V. Y. (2020). *Nutritional value of Amaranth*. London, UK: Intechopen, 3-131 p. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.82910>