



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

IMPATTO DELLA TIPOLOGIA DI RACCOLTA DELLE NOCI SUL PROFILO DEGLI ACIDI GRASSI TOTALI

TIPO TESI: sperimentale

Studente:

FRANCESCA FECONDO

Relatore:

PROF. PAOLO LUCCI

Correlatori:

DOTT.SSA ANCUTA NARTEA

DOTT.SSA ROBERTA FOLIGNI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

INDICE

ELENCO DELLE TABELLE	3
ELENCO DELLE FIGURE	4
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	5
RIASSUNTO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUZIONE.....	8
1.1 Informazioni generali.....	8
1.2 Descrizione della pianta e della noce	9
1.3 Coltivazione, raccolta, essiccamento delle noci.....	9
1.4 Composizione nutrizionale e funzionale della noce.....	12
1.4.1 Composizione della frazione lipidica delle noci.....	13
1.4.2 Benefici delle noci.....	14
1.4.3 Fattori che influenzano la qualità nutrizionale delle noci.....	16
1.5 Usi e applicazioni delle noci.....	19
2. SCOPO DELLA TESI.....	20
3. MATERIALI E METODI	21
3.1 Campionamento.....	21
3.2 Estrazione del grasso con Soxhlet.....	21
3.3 Analisi del profilo degli acidi grassi.....	22
3.4 Analisi statistica.....	23
4. RISULTATI E DISCUSSIONE	24
4.1 Estrazione con Soxhlet.....	24
4.2 Profilo degli acidi grassi.....	24
5. CONCLUSIONI.....	30
BIBLIOGRAFIA.....	31

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1. Composizione degli acidi grassi (percentuale) dell'olio estratto da campioni di noce analizzati (media $\pm$ DS).....	25
--	----

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1. Luoghi di coltivazione delle noci.....	8
Figura 2. Il noce.....	10
Figura 3. Noci.....	11
Figura 4. Struttura trigliceride.....	13
Figura 5. PUFA essenziali.....	14
Figura 6. I fattori pre- e post- raccolta che influenzano la qualità delle noci.....	18
Figura 7. Soxhlet.....	21
Figura 8. GC TRACE 1300.....	22
Figura 9. Cromatogramma degli acidi grassi nell'olio di noci	24
Figura 10. Concentrazione di acidi grassi nelle noci.....	27

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

PUFA	acidi grassi polinsaturi
MUFA	acidi grassi monoinsaturi
SFA	acidi grassi saturi
FAO	Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura
LA	acido linoleico
ALA	acido alfa linolenico
DHA	acido docosaesaenoico
EPA	acido eicosapentaenoico
FAME	esteri metilici degli acidi grassi

RIASSUNTO

La noce è un frutto ricco di acidi grassi insaturi e per questo considerato molto importante nella nutrizione umana. Tuttavia, è ancora poco investigato l'impatto che la raccolta e i tempi di lavorazione delle noci può avere sul profilo degli acidi grassi. In questo studio sono stati valutati i cambiamenti nella composizione degli acidi grassi. I campioni (300 frutti ciascuno) sono stati raccolti dall'albero a due diversi gradi di maturazione (con mallo fessurato e completamente aperto), da terra dopo 24, 48, 72 e 96 ore dalla loro caduta, e stoccati nei bins per 0, 24, 48, 72 e 96 ore. Tutti i campioni sono stati essiccati entro 12 ore dal campionamento. Successivamente l'olio è stato estratto mediante Soxhlet e il profilo degli acidi grassi è stato analizzato mediante GC-FID. La resa di olio variava dal 60% al 68%. I PUFA (in particolare l'acido linoleico e linolenico) sono i composti preponderanti, seguiti da MUFA e SFA. Il contenuto maggiore di PUFA è stato riscontrato nelle noci ad un grado di maturazione più avanzato (noci con mallo aperto) e nelle noci che sono state più a lungo a terra, mentre è risultato pressoché costante in 72 ore di stoccaggio nei bins prima che le noci venissero essiccate. In conclusione, il tempo di raccolta delle noci ha un impatto sul profilo degli acidi grassi, che potrebbe influire sulla qualità del prodotto finale.

ABSTRACT

Walnut is rich in unsaturated fatty acids, thus being considered important for human nutrition. However, the impact of harvesting and post-harvest handling may have an impact on the lipid profile. In this study, the changes of fatty acid composition were evaluated. Samples (300 fruits each) were harvested from the tree at two different ripening degree (walnut with cracked husk and with fully open husk), from the ground at 24, 48, 72, and 96 h after their fall, and other were mechanically harvested and stored in bins for 24, 48, 72, and 96 h before being dried. All samples were air-dried within 12 hours after sampling. The oil was extracted by Soxhlet and fatty acid profile was analysed by GC-FID. The oil yield varied between 60% and 68 %. PUFA (mostly linoleic and linolenic acid) were the most abundant, followed by MUFA and SFA. The highest amount of PUFA was found in mature walnuts (with fully open husk) and in walnuts that stayed longer on the ground, while the content was constant within 72 h of storage in bins. In conclusion, the harvesting time of walnuts has an impact on fatty acid profile, which may affect the quality of the final product.

1 INTRODUZIONE

1.1 INFORMAZIONI GENERALI

La famiglia delle noci, Juglandaceae è composta da circa 10 generi e quasi 63 specie distribuite soprattutto nell'emisfero settentrionale. Le Juglandaceae comprendono alberi che svolgono un ruolo fondamentale negli ecosistemi forestali locali e alcuni hanno anche un importante significato economico, come *Juglans*, l'unica specie ampiamente coltivata per la produzione di noci (Mu et al., 2020).

Le Juglandaceae sono classificate in tre sottofamiglie, Rhoipteleoideae, Engelhardioideae e Juglandoideae, ognuna contenente diverse specie e generi (Mu et al., 2020).

I fossili antichi dimostrano la presenza delle noci sulla terra già da prima dell'arrivo dell'uomo, difatti sono numerosi i riferimenti agli alberi di noci nella letteratura antica (Bernard et al., 2018).

Diversi studi hanno dimostrato poi che dopo l'ultima glaciazione (circa un milione di anni fa) *Juglans Regia* L. sopravvisse e crebbe in Asia. Furono gli antichi a disperdere poi le noci in nuovi habitat attraverso il commercio e l'espansione culturale.

Alcuni dati hanno anche confermato la presenza di codeste piante nei rifugi glaciali nei Balcani e nell'Europa occidentale. La mescolanza tra germoplasma di noce anatolico e balcanico mediata dall'uomo iniziò nell'età del bronzo e durante l'Impero Romano si diffuse anche in Europa, con una maggiore distribuzione rilevata negli ultimi 5.000 anni (Figura 1) (Pollegioni et al., 2017).

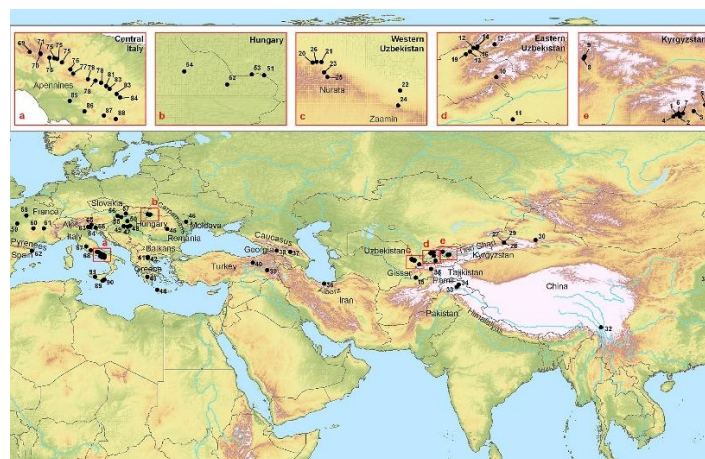


Figura 1. Luoghi di coltivazione delle noci (Pollegioni et al., 2017)

Nonostante la cultura molto antica delle specie di noci (*Juglans* spp.), la coltivazione in realtà è iniziata nel XX secolo. In particolare, negli ultimi 30 anni sono stati condotti molti studi

genetici sulla noce, tra cui quelli sulla diversità, sulla determinazione delle relazioni all'interno o tra collezioni e popolazioni di germoplasma, la costruzione di mappe genetiche etc (Bernard et al., 2018).

1.2 DESCRIZIONE DELLA PIANTA E DELLA NOCE

Per la produzione di noci, i semi vengono inizialmente essiccati in capannoni aperti. Per la germinazione richiedono la presenza di un ambiente freddo e umido, prima che germoglino. Pertanto, il seme deve essere stratificato per rilasciare i fattori di dormienza prima della semina primaverile. Innanzi alla stratificazione però i semi devono essere immersi in acqua bollente per un minuto per pulire lo sporco e gli agenti patogeni. Successivamente, vengono inseriti i semi in file su sabbia umida (Verma, 2014).

Dopodiché le piantine al momento della semina vengono disposte ad una certa distanza sul suolo, coprendo la parte della radice con terreno umido (Verma, 2014).

Le piante generalmente si adattano meglio ai climi mediterranei, con estati secche e calde e inverni miti. Non amano le gelate durante il periodo di fioritura, in primavera. La loro crescita può essere rallentata se si trovano in posizioni esposte al vento o a causa di ondate di freddo o comunque gelate tardive primaverili che potrebbero causare un grave deperimento. Per una maggiore produttività queste piante necessitano di suoli argillosi e ben drenati. Vengono generalmente applicati anche il letame e i fertilizzanti sulla base del rapporto di analisi dei nutrienti fogliari (Verma, 2014).

Dopo i primi anni di crescita viene eseguita la potatura (preferita nel periodo dormiente) attraverso la quale vengono rimossi tutti i germogli laterali, selezionando i rami primari. Nel frattempo, è importante fornire un'irrigazione sufficiente in assenza di pioggia.

La maturazione completa e la raccolta avvengono da settembre-ottobre, a seconda dell'altitudine e delle cultivar. È fondamentale non ritardare con la raccolta per evitare il deterioramento del gheriglio della noce (es. gheriglio di colore marrone) (Verma, 2014).

1.3 COLTIVAZIONE, RACCOLTA, ESSICCAMENTO DELLE NOCI

Il noce (Figura 2) è un albero deciduo perenne, ovvero in grado di vivere per più di due anni e di perdere le foglie alla fine della stagione di crescita, conservando vivo l'apparato radicale, da cui poi nella primavera rispunta la nuova vegetazione, e appartiene al genere *Juglans*. Il noce fa parte della lista FAO delle piante prioritarie ed è considerata una specie strategica per l'alimentazione umana (Masoodi et al., 2022).



Figura 2. Il noce

Il suo frutto, la noce, insieme a mandorle, anacardi e nocciole, costituiscono i quattro principali frutti secchi. Attualmente, ci sono circa 21 specie di noce ampiamente distribuite nelle Indie occidentali, Europa meridionale, Asia, America centrale, Nord America e Sud America occidentale (Li et al., 2023). Gli Stati Uniti sono il più grande esportatore di noci ed insieme alla Cina, forniscono più del 60% della produzione mondiale (Grilo & Wang, 2021). La superficie coltivata a noci raggiunge circa 1,3 milioni di ettari (Li et al., 2023). La produzione in questi paesi è aumentata velocemente negli ultimi anni e la coltivazione della noce ha facilitato lo sviluppo di nuovi genotipi di queste piante, adattati alle condizioni ambientali delle loro aree di coltivazione e alle preferenze dei mercati locali (Masoodi et al., 2022; Rabadán et al., 2018). In Italia la varietà maggiormente conosciuta e coltivata è la “Sorrento”, caratterizzata da un gheriglio (parte interna commestibile della noce) molto chiaro che si stacca facilmente dal guscio.

Le noci sono frutti ovali ricoperti da un involucro esterno carnoso chiamato mallo (Figura 3) e un nocciolo interno legnoso che contiene il seme, conosciuto anche come gheriglio, che è la parte commestibile.

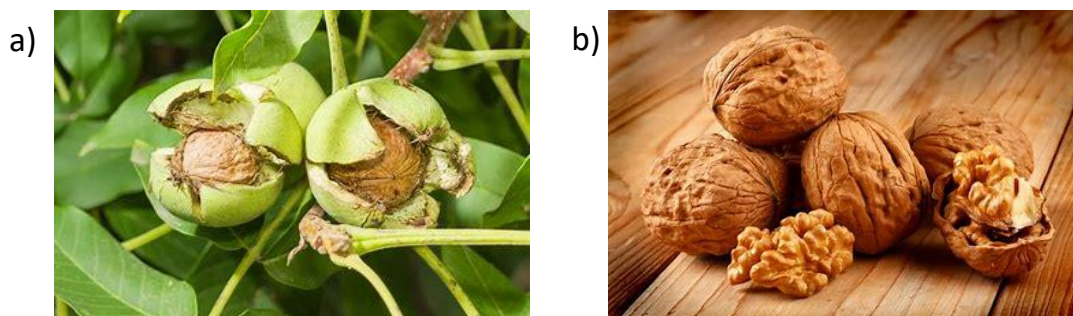


Figura 3. Noci. a) Noci mature con mallo esterno aperto; b) noci con involucro esterno legnoso e all'interno il gheriglio.

Quando il frutto raggiunge la maturazione completa, il mallo si secca e si annerisce, provocando la caduta naturale della noce.

Il frutto può anche essere raccolto prima del suo distacco naturale e la maturazione commerciale viene poi raggiunta quando il guscio assume una colorazione marrone, tenendo conto che la raccolta, prima della completa maturità, ha comunque un impatto sulla sua composizione, nonché sulla qualità del frutto (Siebeneichler et al., 2023).

Per la raccolta delle noci, sono state sviluppate attrezzature moderne e specifiche, impiegate anche per la lavorazione delle noci in guscio verde, ad esempio macchinari di scuotimento trainati o semoventi. Dopo la raccolta, le fasi di lavorazione sono: pulitura, smallatura, spazzolatura, lavaggio, selezione ed essiccazione. Codeste fasi sono state introdotte in queste nuove apparecchiature, lungo la linea di produzione, garantendo poi la distribuzione presso vari rivenditori di un prodotto di qualità e in ottime condizioni (Dumitru et al., 2022).

Al fine di ciò, la conoscenza della morfologia e delle dimensioni delle noci è essenziale per la progettazione accurata di attrezzature idonee per la pulizia, la classificazione e la separazione, l'essiccazione, lo stoccaggio e il trasporto di tale prodotto (Ebrahimi et al., 2009; Gharibzadeh et al., 2012).

Le noci fresche vengono raccolte con un contenuto iniziale di umidità del 25-40% nel guscio e del 15-25% del frutto (Chen et al., 2020).

Dopo la raccolta, tra le varie operazioni successive, svolge un ruolo importante l'essiccazione. Questa operazione permette di ridurre il contenuto di umidità e aumentare la durata di conservazione (Siebeneichler et al., 2023; Chen et al., 2020; Mao & Wang, 2021). Infatti, se non prontamente essiccate, le noci potrebbero andare incontro a fenomeni ossidativi (es. irrancidimento), che si verificano principalmente durante lo stoccaggio. A ciò segue il deterioramento della loro qualità sensoriale, nutrizionale e salutistica (dovuta al rischio di micotossine le quali sono genotossiche e cancerogene) (Mao & Wang, 2021).

Originariamente, l'essiccazione veniva effettuata all'aria aperta (essiccazione solare). Tuttavia, ad oggi, l'essiccazione artificiale (o essiccazione ad aria forzata) è il processo più efficiente e maggiormente utilizzato (Siebeneichler et al., 2023).

Un trattamento ad alta temperatura ($>40^{\circ}\text{C}$) potrebbe aumentare rapidamente anche quella della noce, accelerare la percentuale di umidità rimossa e asciugare parzialmente il guscio, il che andrebbe a vantaggio della riduzione del tempo utile per l'asciugatura e favorire un risparmio energetico (Chen et al., 2020; Chen & Pan, 2022).

D'altra parte, è altresì fondamentale notare che proprietà dei gherigli come il valore di perossidi, l'acidità libera e il peso del gheriglio, sono altamente sensibili al tempo e alla temperatura di essiccazione. Per questo che solitamente vengono applicati metodi a due stadi, come nell'essiccazione a radiofrequenza, in grado di ridurre il tempo di asciugatura grazie al vantaggio di un riscaldamento rapido e allo stesso tempo migliorare la qualità del prodotto, rispetto all'essiccazione monostadio esistente (Chen et al., 2020; Mao & Wang, 2021).

Un'essiccazione insufficiente o ritardata, invece, può provocare la perdita di prodotto e uno scadimento della sua qualità, che momentaneamente rappresenta circa il 3% dell'intera produzione di noci all'anno. Tuttavia, oggi, la temperatura di essiccazione applicata (circa 43°C) negli essiccatori ad aria calda industriale, richiede un grande consumo di energia (1284,6 MJ di gas naturale + 85,1 MJ di elettricità per tonnellata di noci essiccate) e lunghi tempi di asciugatura (fino a 24 ore). Secondo le stime, ogni anno in California, il consumo di energia in questo settore, è di 945,1 milioni di MJ (Chen et al., 2020). Poiché la produzione di noci sta crescendo rapidamente, per gestire l'aumento del volume di produzione, gli impianti di essiccazione delle noci stanno affrontando diverse sfide. Pertanto, è inevitabile andare incontro ad una evoluzione nell'approccio ai sistemi di essiccazione per migliorare la produttività e contenere i consumi, mantenendo una qualità accettabile del prodotto (Chen et al., 2020).

1.4 COMPOSIZIONE NUTRIZIONALE E FUNZIONALE DELLA NOCE

Le noci sono frutti molto calorici e quindi energetici (apportano infatti circa 650 calorie per 100 gr di prodotto). Sono ricche di nutrienti e tra questi si possono distinguere i grassi, il cui contenuto può superare il 60-72% del peso della noce e sono prevalentemente acidi grassi insaturi (monoinsaturi e polinsaturi) (Rabadán et al., 2018; Li et al., 2023). Il contenuto di proteine varia tra il 15% e il 24% del peso totale della noce; i carboidrati sono presenti tra il 12% e il 16%; i minerali hanno un contenuto variabile tra l'1,7% e il 2% e infine le vitamine (Gharibzadeh et al., 2012).

Per quanto riguarda i minerali sono presenti calcio, potassio, magnesio, fosforo e quindi le noci sono ricche di tali oligoelementi essenziali nella dieta (Yang, 2009). Le noci contengono inoltre diverse vitamine, tra cui la vitamina E, alcune vitamine del gruppo B ed A (Masoodi et al., 2022). Inoltre, le noci sono ricche di fibre e polifenoli (Sánchez-González et al., 2017; Ebrahimi et al., 2017).

L'origine della noce, le pratiche di gestione del territorio, le differenze climatiche e la posizione geografica, hanno un impatto importante sulla loro composizione chimica, influenzando in particolar modo il profilo degli acidi grassi (Yang et al., 2022; Rabadán et al., 2018).

Alcuni studi riportano anche differenze nel contenuto di acido linoleico, dovute all'irrigazione, e, insieme, la fertilizzazione azotata e l'irrigazione, sono state in grado di arricchire le noci in composti fenolici (Rabadán et al., 2018).

1.4.1 COMPOSIZIONE DELLA FRAZIONE LIPIDICA DELLE NOCI

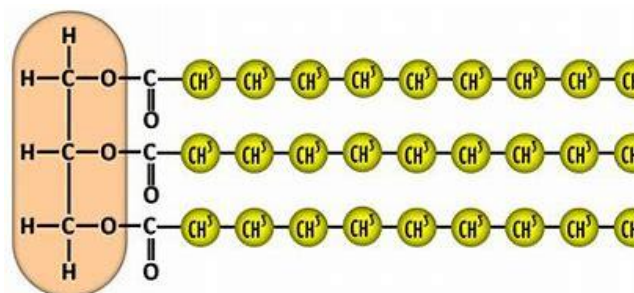


Figura 4. Struttura trigliceride

Le noci hanno un'elevata quantità di lipidi neutri (costituiscono il 96,9% del totale dei lipidi), che consistono principalmente in trigliceridi, costituiti cioè da una molecola di glicerolo esterificata con tre acidi grassi (Figura 4). Tra questi, l'acido grasso monoinsaturo più presente è l'acido oleico appartenente alla serie omega-9, presente con una percentuale intorno al 13%. Tra i polinsaturi troviamo un alto contenuto (58%) di acido linoleico (C18:2) e l'acido linolenico (C18:3) generalmente con un contenuto pari al 14% circa, che corrispondono ai grassi della serie omega-6 ed omega-3, rispettivamente (Figura 4) (Ebrahimi et al., 2017; Yang et al., 2022). Questi ultimi sono considerati acidi grassi essenziali (Figura 5), in quanto non possono essere sintetizzati dall'organismo, per cui devono essere introdotti mediante la dieta (Elouafy et al., 2022).

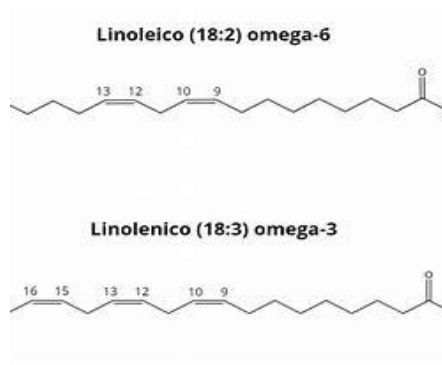


Figura 5. PUFA essenziali

Studi condotti confrontando diversi genotipi di *Juglans regia* L. hanno evidenziato che i PUFA costituiscono il più importante gruppo di acidi grassi, rappresentando oltre il 90% degli acidi grassi totali (Yildiz et al., 2021). In merito a precedenti ricerche condotte in alcune aree della Turchia, c'è stata un'ampia variazione in termini di composizione degli acidi grassi, tra i genotipi e le cultivar di noci.

Nel complesso, però, tali dati riguardanti la composizione lipidica sono risultati in armonia con quelli esaminati precedentemente in altre aree geografiche come l'Italia, la Nuova Zelanda, il Portogallo e Canada. Il contenuto principale rilevato è stato, difatti, quello di PUFA e MUFA e questo è positivo per il consumo di noci sia in termini di benessere che dal punto di vista dietetico (Yildiz et al., 2021).

I gherigli di noce hanno un quantitativo di LA (acido linoleico) e ALA (acido alfa linolenico), più elevato rispetto ad altri acidi grassi della frutta a guscio, avendo una concentrazione che varia tra il 40 e il 70% degli acidi grassi totali (Yildiz et al., 2021; Muradoglu et al., 2010). ALA è un precursore degli acidi grassi essenziali omega-3, DHA ed EPA, fondamentali in molti processi metabolici, nonché nella protezione del sistema cardiovascolare (Ebrahimi et al., 2017).

Oltre a ciò, le noci presentano invece una bassa quantità di lipidi polari, costituiti da sfingolipidi, e un esiguo contenuto di acidi grassi saturi (circa 9%) tra cui i più abbondanti sono l'acido palmitico (C16:0), seguito dall'acido stearico (C18:0) (Ebrahimi et al., 2017; Yildiz et al., 2021).

1.4.2 BENEFICI DELLE NOCI

Frutta secca (noci), noci verdi, gherigli, gusci, mali di noce verde (epicarpo), cortecce, foglie e olio sono stati applicati sia in cosmetica che nelle industrie farmaceutiche, per il trattamento di molteplici disturbi come malattie della pelle, infezioni, diabete, artrite reumatoide, cancro,

per aiutare a contrastare l'ipertensione arteriosa e a ridurre il fenomeno dei picchi glicemici (Elouafy et al., 2022; Ebrahimi et al., 2017).

A tal proposito nel luglio 2003, la Food and Drug Administration degli Stati Uniti ha fornito un'indicazione qualificata sulla salute, affermando che il consumo di 1,5 once (42 g) al giorno di noci può ridurre il rischio di disfunzioni cardiache (Sánchez-González et al., 2017; Masoodi et al., 2022; Miraliakbari & Shahidi, 2008).

Molti studi, infatti, suggeriscono che il consumo frequente di noci può fornire una certa protezione contro le malattie coronariche e ictus, poiché contenuti più elevati di minerali come fosforo, calcio, magnesio, ferro, sodio, e di acidi grassi insaturi (linoleico, linolenico), favoriscono lipidi buoni nel sangue, riducono le concentrazioni plasmatiche di colesterolo totale ed LDL e possono contribuire ad un miglioramento dal punto di vista nutrizionale (Pereira et al., 2008).

I benefici per la salute delle noci, quindi, sono attribuiti a molti dei loro nutrienti, in particolare l'abbondante presenza di acidi grassi polinsaturi. L'olio, infatti, è stato visto avere effetti benefici sui problemi cognitivi relativi all'invecchiamento, proteggere il cervello da altre malattie, e prevenire malattie cardiovascolari (Hussain et al., 2023).

Infatti, più acidi grassi insaturi contengono, maggiore sarà la capacità di protezione contro varie patologie umane associate ad un eccesso di acidi grassi saturi.

Alla luce della ricerca scientifica condotta sugli olii e sui loro acidi grassi, è stato riscontrato che un rapporto ottimale di 5/1 tra omega 6 e 3 e un rapporto simile tra omega 6 e 9, ha benefici paragonabili a quelli di alcuni farmaci (Simopoulos, 2002).

Infatti, se si rispettano questi rapporti tra acidi grassi insaturi, gli enzimi prodotti dal fegato che convertono gli acidi grassi porterebbero alla formazione di prostaglandine, trombossani e leucotrieni, componenti rilevanti nella vasodilatazione, nell'attività antinfiammatoria, nella capacità di ridurre il colesterolo cattivo nel sangue, etc.

Al contrario, se l'olio fosse eccessivamente ricco di acido linoleico e non contenesse omega 3 (acido linolenico), gli enzimi del fegato, concentrandosi solamente sulla trasformazione dell'omega 6 produrrebbero acido arachidonico, pericoloso e con un'influenza negativa sul metabolismo, per la capacità di aumentare le reazioni allergiche, la proliferazione cellulare, la pressione sanguigna, l'aggregazione piastrinica, la trombogenesi, aumentare il colesterolo LDL e diminuire il colesterolo HDL (Araujo et al., 2019; Simopoulos, 2002).

Inoltre, le noci sono state molto utilizzate per il loro potenziale antimicrobico. A tal proposito diversi sono i fattori che giustificano la ricerca e lo sviluppo di nuovi agenti antimicrobici, in particolare quelli di origine naturale (Pereira et al., 2008).

Inizialmente sorte preoccupazioni sul fatto che, a causa dell'alto contenuto di grassi nelle noci, un aumento del loro consumo avrebbe potuto portare ad un aumento di peso, sebbene abbiano un basso contenuto di acidi grassi saturi e un alto contenuto di PUFA.

Studi epidemiologici, però, hanno mostrato poi un'associazione inversa tra consumo di noci e variazione di peso ed è stato riconosciuto che possono fornire una maggiore sazietà, un ridotto consumo calorico e in più migliorare l'utilizzo del grasso corporeo negli adulti in sovrappeso (Brennan et al., 2010).

Inoltre, le noci sono una fonte di melatonina, benefiche per il cervello e il sistema nervoso (Ebrahimi et al., 2017).

I minerali presenti agiscono come cofattori per molte funzioni fisiologiche e metaboliche (Yang, 2009).

Le vitamine hanno proprietà biologiche positive e un impatto favorevole sui lipidi e sulle lipoproteine del sangue, regolano le funzioni del sistema nervoso, del sistema immunitario e muscolare (Masoodi et al., 2022).

Le fibre aiutano nella regolazione delle funzioni intestinali ed equilibrano i livelli di colesterolo e di glucosio ematici (Sánchez-González et al., 2017).

I polifenoli rappresentano sostanze dallo spiccato potere antiossidante (Ebrahimi et al., 2017).

L'olio di noci contiene in quantità significative anche alcuni componenti con caratteristiche farmacologiche e cosmo-nutraceutiche, come fitosteroli e tocoferoli, favorendone l'applicazione industriale (Ebrahimi et al., 2017).

1.4.3 FATTORI CHE INFLUENZANO LA QUALITA' NUTRIZIONALE DELLE NOCI

L'elevato contenuto di PUFA, da una parte, rende le noci funzionali per la salute umana, ma dall'altra conferisce una maggiore suscettibilità all'ossidazione. Questo si traduce in una bassa stabilità e breve durata di conservazione delle noci a causa di cambiamenti ossidativi indesiderati come l'irrancidimento (Elouafy et al., 2022; Ampofo et al., 2022; Bielecka et al., 2023).

Infatti, la suscettibilità all'ossidazione è tra le maggiori preoccupazioni per quanto riguarda la qualità della noce (Grilo & Wang, 2021).

Effettivamente ciò induce cambiamenti chimici che ne compromettono il sapore e che sono responsabili dell'insorgenza di un gusto indesiderato. Questo è dovuto ai perossidi, ovvero prodotti primari di ossidazione che vengono convertiti, ad esempio, in idroperossidi, malonaldeide, aldeidi e chetoni (Bielecka et al., 2023).

Secondo Phatanayindee (2012), l'elevata suscettibilità degli acidi grassi insaturi a codeste reazioni a catena dei radicali liberi, li rende responsabili della riduzione del valore nutritivo e della percezione di rancido, essendo sostanze che alla fine si scompongono in composti volatili.

Inoltre, Jensen et al. (2001) hanno studiato l'irrancidimento ossidativo della noce in diverse condizioni di conservazione (cioè luce/oscurità e 5/21 °C) per 25 settimane. Dai loro risultati, lo stoccaggio in condizioni di luce a 21°C ha causato un maggiore irrancidimento, rispetto ad una temperatura di 5°C, che non ha mostrato traccia di alterazione, tanto meno al buio. La temperatura è quindi uno dei fattori principali che può portare a tali ripercussioni sul prodotto (Ampofo et al., 2022).

Una cattiva gestione delle pratiche post-raccolta, come la temperatura e il tempo di lavorazione, può causare perdite della qualità nutrizionale e delle caratteristiche organolettiche (Ampofo et al., 2022). Per cui un corretto essiccamento e stoccaggio delle noci sono fondamentali per mantenere una buona qualità del prodotto (Grilo & Wang, 2021). In particolare, cultivar maggiormente suscettibili all'ossidazione, come Howard, andrebbero conservate a temperature più basse, rispetto a cultivar più resistenti come Chandler (Ampofo et al., 2022).

Anche altri studi hanno identificato ulteriori strategie per ridurre il fenomeno dell'ossidazione; è il caso di Savage et al. (1998), i quali hanno dimostrato che l'olio di noci conservato al buio e a temperatura ambiente non si deteriora e risulta moderatamente stabile per più di quattro mesi. Ciò potrebbe essere dovuto all'elevata concentrazione di antiossidanti (vitamina E) che potrebbero svolgere un ruolo chiave nella stabilità di conservazione dell'olio per lunghi periodi di tempo, mantenendo le sue proprietà sensoriali e nutrizionali (Masoodi et al., 2022). Gli isomeri del tocoferolo, infatti, forniscono una certa protezione contro l'ossidazione grazie al loro effetto antiossidante. La misurazione di questi isomeri però non è stata ben documentata, a parte su alcune noci coltivate in Francia, Germania e negli Stati Uniti. Lavedrine et al. (1997) hanno identificato α , γ e δ tocoferolo sia nelle noci fresche che in quelle conservate, osservando perdite significative solo dopo circa 3 mesi e a basse temperature (circa 4°C). Le stesse perdite sono state notate, soprattutto nel caso del γ tocoferolo, se le noci venivano conservate a queste basse temperature fino a 14 mesi.

Ulteriori ricerche hanno dimostrato come il tasso di ossidazione dell'olio può anche essere potenzialmente ridotto attraverso la conservazione del prodotto in imballaggi laminati in plastica e rivestiti in alluminio, per circa 8 mesi a temperatura ambiente (Diana Labuckas, Damián Maestri, Alicia Lamarque, 2011).

In aggiunta, diverse analisi hanno dimostrato che sia i fattori pre-raccolta che quelli post-raccolta (Figura 6) possono influenzare la qualità in termini di composizione chimica e aspetti sensoriali di questo frutto (Siebeneichler et al., 2023). Con fattori pre-raccolta si fa riferimento a quelli che possono influenzare la crescita e lo sviluppo della noce tra cui la temperatura, l'umidità, l'area geografica etc. I fattori post-raccolta sono invece relativi ad ogni fase, dopo la semina fino poi alla raccolta e al consumatore finale come l'essiccamento, l'immagazzinamento, il confezionamento. Come riportato nella Figura 6, si può osservare come, dopo la raccolta, l'elevata umidità e l'alto contenuto lipidico, rendono la noce vulnerabile all'ossidazione lipidica, allo sviluppo di funghi e micotossine e alla degradazione degli amminoacidi. Temperature annuali superiori a 30 °C possono compromettere la crescita dei frutti, l'accumulo di olio e addirittura causare la caduta prematura dei frutti. L'irrigazione è essenziale specialmente durante il riempimento dei frutti, poiché la pianta richiede molta acqua. Se, da una parte, periodi di siccità prolungati possono danneggiare la produzione e la qualità delle noci, dall'altra, umidità elevate (>80%) ed eccessive precipitazioni promuovono la proliferazione di funghi e la comparsa di malattie. Di conseguenza, per ottenere una buona produttività è necessario che la pianta sia molto esposta alla luce solare e che i terreni siano fertili (Siebeneichler et al., 2023).

Inoltre, la lavorazione, il tipo di confezionamento, possono accelerare reazioni chimiche come la reazione di Maillard oppure ridurre il contenuto di antiossidanti ad esempio.

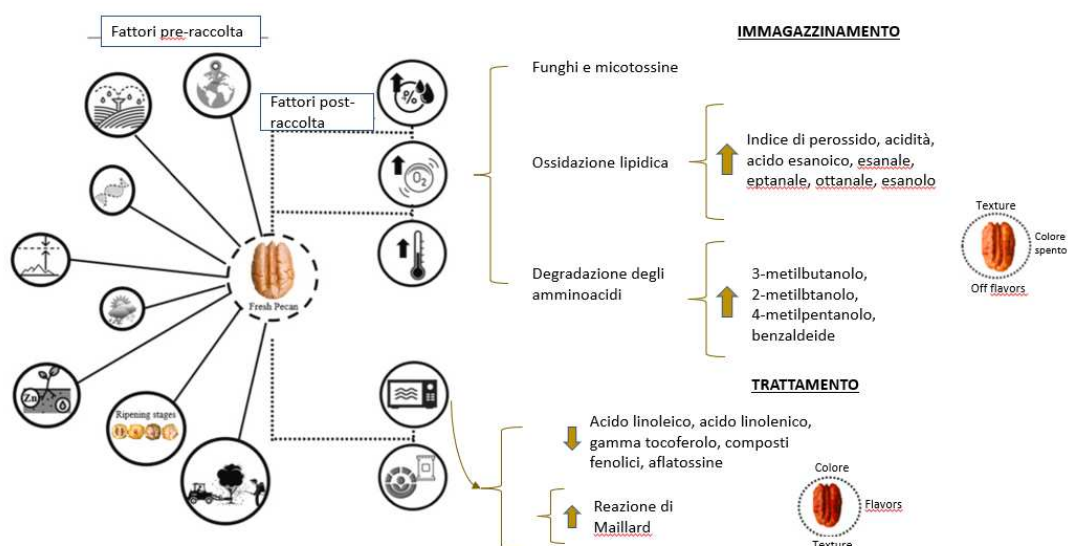


Figura 6. I fattori pre- e post- raccolta che influenzano la qualità delle noci (Siebeneichler et al., 2023).

1.5 USI E APPLICAZIONI DELLE NOCI

Nel settore alimentare si ha avuto un incremento delle richieste di acquisto delle noci, dove, generalmente, quelle essiccate sono preferite a quelle fresche a causa della loro deteriorabilità (Masoodi et al., 2022). Per giunta, possono essere consumate tal quali o possono essere aggiunte a cereali per la colazione, insalate, pasta e zuppe o utilizzate sottoforma di ingredienti in alimenti come formaggio, prodotti da forno, yogurt (Masoodi et al., 2022; Ampofo et al., 2022). Le noci sono spesso usate anche per aromatizzare prodotti da forno, alcune salse e insalate o possono essere mescolate con oli aromatizzati per produrre un gusto delicato (Masoodi et al., 2022; Ebrahimi et al., 2017).

Recenti indagini hanno però indicato come il consumo quotidiano di oli ottenuti dalle noci può conferire effetti più benefici rispetto al consumo di frutta a guscio intera, probabilmente a causa della presenza di lipidi insaturi e/o altri componenti presenti negli estratti dell'olio, rispetto ai carboidrati alimentari (Miraliakbari & Shahidi, 2008).

Con l'entrata in vigore del regolamento europeo 1169/2011, negli alimenti non sono più sufficienti le indicazioni generiche di «oli vegetali» o «grassi vegetali», ma è obbligatorio indicare la specie vegetale da cui derivano (es. olio di noci).

L'olio ottenuto dalle noci può essere usato come una potenziale fonte lipidica alternativa per la formulazione di alimenti per lattanti, poiché rispetto al latte animale e artificiale commerciale, ha mostrato una migliore digeribilità e un profilo di acidi grassi più vicino al latte umano (Hussain et al., 2023).

Negli ultimi anni, anche il burro a base di prodotti vegetali (noci e semi) è stato ampiamente consumato, come ad esempio, il burro di noci, che è una delle migliori alternative al burro di latte, essendo una buona fonte di proteine, fibre, acidi grassi essenziali e altri nutrienti (Leahu et al., 2022).

Un sottoprodotto della lavorazione dell'olio di noci con un potenziale utilizzo nell'industria della panificazione come supplemento è il pannello di noci. Esso rappresenta una ricca fonte di proteine e composti bioattivi. Questo sottoprodotto può essere incorporato nella formulazione di torte per migliorarne le proprietà sensoriali e l'attività antiossidante. Alcuni studi mostrano come anche il volume specifico, la fermezza, la masticabilità, la crosta si riducono con l'utilizzo dei pannelli di noci, aumentandone la morbidezza, probabilmente per un contenuto di grassi piuttosto elevato nelle noci. Il contenuto fenolico, i tocoferoli, le proteine, gli acidi grassi polinsaturi e la capacità antiossidante aumentano nel prodotto finale, utilizzando il pannello di noci (Bakkalbasi et al., 2015).

2 SCOPO DELLA TESI

Analisi relative alla classe lipidica degli acidi grassi e il loro profilo sono ampiamente diffuse nello studio di diverse varietà di noci. Tuttavia, c'è ancora una conoscenza insufficiente di come il tempo e le modalità di lavorazione delle noci possano influenzare il profilo degli acidi grassi. A tal proposito, in questo studio è stato analizzato il profilo degli acidi grassi di noci raccolte in diversi momenti e con modalità diverse, ovvero manualmente dalla pianta (noci con mallo fessurato e aperto), da terra (dopo 24, 48, 72, e 96 ore dalla caduta), e meccanicamente da terra dopo un'eventuale sosta in tramoggia (prelievo effettuato subito dopo la raccolta e dopo 24, 48, 72, e 96 ore dalla raccolta).

3 MATERIALI E METODI

3.1 CAMPIONAMENTO

Le noci (varietà Chandler) sono state campionate presso una piantagione sita a Cesena (Italia). 11 campioni di noci (300 frutti ognuno) sono stati prelevati a tempi diversi e con modalità diverse. Dalla pianta sono state raccolte manualmente le noci con il mallo appena fessurato (PTF) e con il mallo aperto (PTA). Contrariamente le noci cadute a terra sono state raccolte manualmente dopo 24, 48, 72 e 96 ore dalla caduta (T24, T48, T72 e T96, rispettivamente). Cinque campioni sono stati invece raccolti meccanicamente con una raccattatrice, portati in tramoggia e prelevati dopo 0, 24, 48, 72 e 96 ore dalla raccolta (B0, B24, B48, B72 e B96, rispettivamente). Tutti i campioni sono stati smallati manualmente, essiccati entro 12 ore dal prelievo a 40°C per 50 ore, e stoccati in sacchi di plastica chiusi ermeticamente, al buio e a temperatura ambiente.

3.2 ESTRAZIONE DEL GRASSO CON SOXHLET



Figura 7. Soxhlet

Per l'estrazione del grasso dalla matrice è stato utilizzato un sistema di estrazione Extraction System B-811 (Buchi, Svizzera) (Figura 8) suddiviso in tre scomparti principali: Buchi beaker, camera di estrazione e condensatore. Per ogni campione, sono stati pesati 10 g di noci triturate al momento con pestello e mortaio, e sono stati poi disposti all'interno di un ditale in carta posizionato nella camera di estrazione. 100 ml di esano sono stati aggiunti nel Buchi beaker.

Vari cicli di estrazione si sono susseguiti per un totale di 6 ore di estrazione alla temperatura di circa 70 °C. In breve, il solvente viene portato ad ebollizione da una piastra riscaldante posta sotto il Buchi beaker, evaporando sale sino al condensatore e percola nella camera di estrazione contenente il campione. Quando il solvente passa attraverso il campione, estrae i grassi che vengono raccolti nel beaker.

Successivamente, il solvente è stato fatto evaporare mediante evaporatore rotante (Rotary evaporator, Buchi, Svizzera). È stata poi calcolata la resa dell'olio ed espressa in %.

3.3 ANALISI DEL PROFILO DEGLI ACIDI GRASSI

La composizione in acidi grassi di ciascun olio estratto è stata valutata mediante analisi gascromatografica degli esteri metilici degli acidi grassi (FAME). Per ogni campione, sono stati pesati 20 mg di olio e disciolti in 500 µl di esano. Dopodiché, sono stati aggiunti 500 µl di KOH 2M in metanolo per derivatizzare gli acidi grassi, e quindi convertire tutti gli acidi grassi in esteri metilici.

Del surnatante è stata poi prelevata una certa aliquota (100 µl) e diluita 10 volte prima di essere iniettati nel gascromatografo. I campioni sono stati analizzati in triplicato.



Figura 8. GC TRACE 1300

I FAME sono stati analizzati su un gascromatografo Thermo Scientific TRACE serie 1300 (Figura 9), dotato di un rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) e di una colonna capillare Rt 2560 (100 m × 0,25 mm i.d. × 0,2 µm). La temperatura della colonna è stata mantenuta a 140 °C per 5 minuti, poi aumentata di 4 °C/min fino a 240 °C e mantenuta per 15 minuti.

L'elio è stato utilizzato come carrier gas a flusso costante di 1,6 ml/min. Per l'identificazione è stato utilizzato il F.A.M.E mix C4-C24 (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA). L'analisi è stata eseguita utilizzando il software Chromeleon 7.

I dati sono stati espressi come % relativa degli acidi grassi totali.

3.4 ANALISI STATISTICA

L'analisi statistica è stata eseguita utilizzando il software Statistica 10.

4 RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 ESTRAZIONE CON SOXHLET

La resa in olio dei diversi campioni di noci presentava un contenuto variabile dal 60% al 68%. Il campione stoccato all'interno dei bins per 24 h ha mostrato la resa maggiore (68%). Tali risultati presentano valori relativi alla resa in olio in linea con quanto riportato precedentemente in letteratura da altri studi (Elouafy et al., 2022; Matthäus et al., 2018).

4.2 PROFILO DEGLI ACIDI GRASSI

Dall'analisi gas cromatografica per la determinazione degli acidi grassi, sono stati identificati 11 acidi grassi, tra cui 6 SFA, 3 MUFA e 2 PUFA (Tabella 1).

Tutti i campioni di olio di noce analizzati presentano un profilo piuttosto simile. I PUFA sono quelli più abbondanti con concentrazioni che vanno dal 77 % all'80 %, rispettivamente nel campione T24 e PTA. A seguire i MUFA e gli SFA, i quali variavano dall'11 % a circa il 14% e dall'8 % circa a quasi il 10 %, rispettivamente nei campioni PTA, T24 e nei campioni B24 e B96. Tra gli acidi grassi preponderanti, sono stati identificati: l'acido linoleico (C18:2), l'acido linolenico (C18:3), l'acido oleico (C18:1), l'acido palmitico (C16:0) e l'acido stearico (C18:0) (Figura 9).

Gli acidi grassi presenti in piccole quantità sono rappresentati invece dal C14:0 (acido miristico), C15:1 (acido pentadecenoico), C16:1 (acido palmitoleico), C17:0 (acido eptadecanoico), C17:1 (acido eptadecenoico), C20:0 (acido arachidico).

Per quanto riguarda la composizione in acidi grassi minori, non sono state rilevate differenze significative tra i campioni.

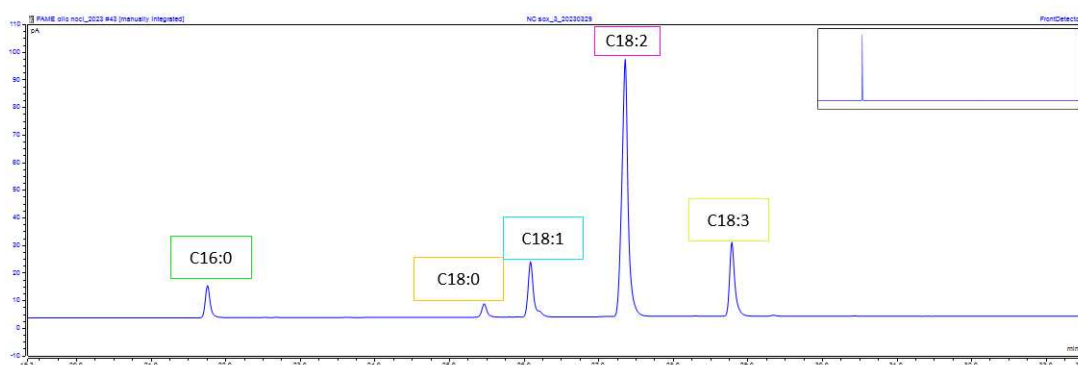


Figura 9. Cromatogramma degli acidi grassi nell'olio di noci. C16:0, acido palmitico; C18:0, acido stearico; C18:1, acido oleico; C18:2, acido linoleico; C18:3, acido linolenico.

Tabella 1. Composizione degli acidi grassi (percentuale) dell'olio estratto da campioni di noce analizzati (media $\pm$ deviazione standard)

	PTF	PTA	T24	T48	T72	T96	B0	B24	B48	B72	B96
C14:0	0,01 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00
C15:1	0,01 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00	0,01 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,06	0,01 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,01
C16:0	6,39 $\pm$ 0,05	6,34 $\pm$ 0,03	6,38 $\pm$ 0,06	7,09 $\pm$ 0,04	6,48 $\pm$ 0,07	6,53 $\pm$ 0,05	6,16 $\pm$ 0,01	5,80 $\pm$ 0,11	6,18 $\pm$ 0,10	6,24 $\pm$ 0,05	6,94 $\pm$ 0,02
C16:1	0,10 $\pm$ 0,01	0,09 $\pm$ 0,01	0,11 $\pm$ 0,02	0,12 $\pm$ 0,01	0,10 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,00	0,11 $\pm$ 0,02	0,12 $\pm$ 0,01	0,11 $\pm$ 0,01	0,10 $\pm$ 0,00	0,13 $\pm$ 0,01
C17:0	0,06 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,00	0,04 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,00	0,05 $\pm$ 0,01
C17:1	0,02 $\pm$ 0,00	0,01 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,01 $\pm$ 0,00	0,01 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00
C18:0	2,51 $\pm$ 0,04	2,47 $\pm$ 0,06	2,65 $\pm$ 0,06	2,36 $\pm$ 0,04	2,59 $\pm$ 0,03	2,67 $\pm$ 0,08	2,81 $\pm$ 0,09	2,54 $\pm$ 0,04	3,02 $\pm$ 0,16	2,66 $\pm$ 0,03	2,80 $\pm$ 0,04
C18:1	13,1 $\pm$ 0,03	10,93 $\pm$ 0,18	13,44 $\pm$ 0,03	12,85 $\pm$ 0,04	11,63 $\pm$ 0,02	11,86 $\pm$ 0,07	12,75 $\pm$ 0,02	13,25 $\pm$ 0,05	12,43 $\pm$ 0,09	12,58 $\pm$ 0,07	12,58 $\pm$ 0,02
C18:2	62,4 $\pm$ 0,05	64,83 $\pm$ 0,22	62,45 $\pm$ 0,08	62,37 $\pm$ 0,11	64,02 $\pm$ 0,01	63,60 $\pm$ 0,07	60,58 $\pm$ 0,14	63,13 $\pm$ 0,08	62,42 $\pm$ 0,13	61,41 $\pm$ 0,05	62,18 $\pm$ 0,07
C18:3	15,4 $\pm$ 0,08	15,18 $\pm$ 0,03	14,82 $\pm$ 0,03	15,04 $\pm$ 0,04	15,01 $\pm$ 0,05	15,08 $\pm$ 0,02	17,4 $\pm$ 0,03	15,00 $\pm$ 0,09	15,62 $\pm$ 0,04	16,84 $\pm$ 0,05	15,23 $\pm$ 0,06
C20:0	0,06 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,00	0,06 $\pm$ 0,01	0,07 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,00	0,08 $\pm$ 0,05	0,07 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,00

I risultati ottenuti hanno evidenziato differenze significative nel contenuto di PUFA, MUFA e SFA, tra i vari campioni (Figura 11).

Tra i campioni raccolti dalla pianta, le noci con mallo aperto (PTA) hanno registrato un incremento significativo nella concentrazione di PUFA rispetto a quelle con il mallo appena fessurato, PTF (80,01 % vs 77,77 %). Un simile incremento è stato notato anche tra i campioni di noci raccolte da terra, per cui maggiore è stato il tempo di sosta a terra, maggiore è stato anche il contenuto di PUFA. Al contrario, i campioni stoccati nei bins non hanno mostrato alcuna differenza significativa tra essi, eccetto B96.

Nel caso dei MUFA, tra i campioni raccolti dalla pianta, le noci con mallo aperto (PTA) hanno mostrato una concentrazione significativamente inferiore rispetto alle noci con il mallo appena fessurato (11,06 % vs 13,21 %). Inoltre, sia nei campioni raccolti da terra che quelli stoccati nei bins, il contenuto di MUFA diminuiva all'aumentare del tempo trascorso prima dell'essiccazione.

A proposito degli SFA, non è stata rilevata alcuna variazione significativa, né tra i campioni raccolti dalla pianta, né tra quelli raccolti da terra, ad eccezione di T48. Tra i campioni stoccati nei bins invece, si sono notate differenze significative nel contenuto di SFA specialmente tra B24 e B96 (8.47% vs 9,86 %).

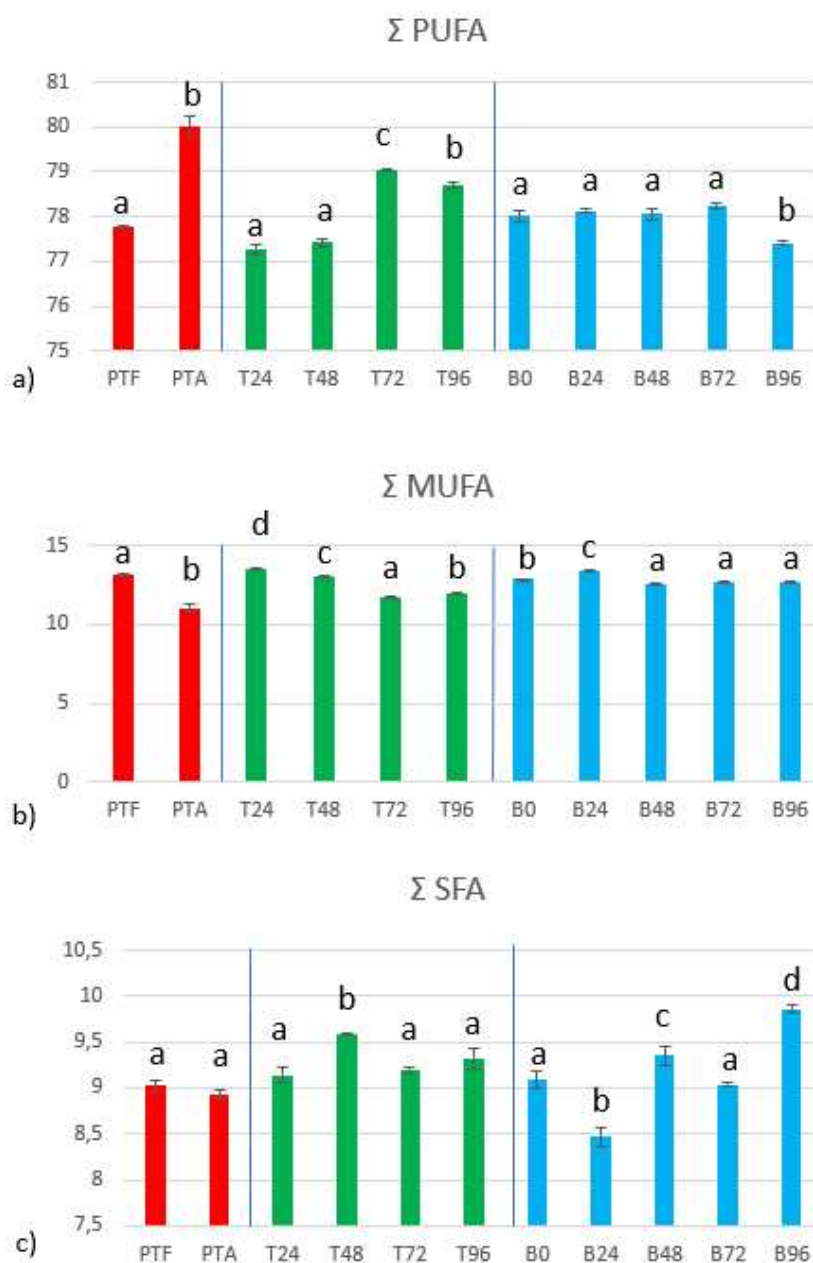


Figura 10. Concentrazione di acidi grassi nelle noci a) polinsaturi, PUFA; b) monoinsaturi, MUFA; c) saturi, SFA. Le lettere diverse indicano differenze significative ($p < 0.05$).

Tali variazioni nel profilo degli acidi grassi potrebbero essere ricondotte ai diversi tempi di raccolta e lavorazione delle noci, nonché alle condizioni ambientali. Infatti, precedenti studi hanno evidenziato come il periodo di conservazione/maturazione può condizionare il contenuto totale di PUFA, MUFA e SFA, con un incremento o un decremento in base al tempo

considerato, ma anche alle condizioni dell'ambiente, in special modo facendo riferimento alla temperatura e all'umidità presenti.

In particolare, Ampofo et al. (2022), prendendo in considerazione diverse temperature di stoccaggio, hanno osservato solo un leggero decremento del contenuto di MUFA conservando le noci ad una temperatura di 5°C per 4 mesi e un aumento invece con una conservazione a 23°C per lo stesso periodo di tempo.

Réboufa et al. (2022) hanno analizzato il contenuto di acidi grassi in 3 condizioni diverse: a maturità, 10 giorni prima della maturità e 10 giorni dopo. È stata notata una diminuzione significativa nel contenuto di PUFA con l'avanzare della maturazione. Questo è stato attribuito all'origine geografica delle noci e alle variazioni climatiche.

Zhang et al. (2020) hanno studiato gli effetti della maturazione post-raccolta sulla composizione in acidi grassi, utilizzando diverse temperature ed umidità. Il contenuto di acidi grassi polinsaturi, in generale, aumentava sia quando esposte ad una temperatura di 20°C con il 70% di umidità, così come a 30°C e umidità al 70% ma in questo caso solo fino al giorno 12, poiché si è poi assistita ad una diminuzione dal giorno 12 al giorno 16.

Nel nostro studio le variazioni osservate nel contenuto di PUFA, MUFA e SFA, si sono potute osservare dopo che le noci analizzate, in fase di maturazione avevano potuto subire influenze del clima come umidità, temperatura, escursioni termiche, più incisive nel caso della noce semi-aperta o totalmente fessurata; ma anche influenze del suolo, nel caso di noci raccolte a terra dopo diversi tempi di stoccaggio, che quindi avrebbero potuto avere un impatto sul loro stato.

Per quanto riguarda il profilo degli acidi grassi, la prevalenza degli acidi linoleico, linoleico ed oleico è in linea con quanto riportato da studi condotti in precedenza relativi a diverse varietà di noci provenienti da varie zone geografiche (Li et al. (2007); Pereira et al. (2008); Rabrenovic et al. (2011); Elouafy et al. (2022); Yang et al. (2022); Siebeneichler et al., (2023). Inoltre, nello studio di Hu et al. (2022) sono stati identificati anche altri acidi grassi non osservati nei nostri campioni, come l'acido vaccenico (compreso tra l'1,15% e il 4,65%), l'acido eicosenoico (presente tra 0,14% e il 2,83%) e l'acido docosanoico (tra 0,03% e l'1,16%).

Ulteriori ricerche, a differenza delle analisi attuate, hanno anche riscontrato come l'olio di noci era addirittura una fonte significativa di acido miristico (C14:0), presente invece in ridotte quantità in queste analisi, e l'acido grasso in maggiore quantità in assoluto riportato era l'acido oleico (C18:1), a differenza di questo studio in cui l'acido linoleico è risultato come tale (Miraliakbari & Shahidi, 2008).

Queste differenze sulla composizione di acidi grassi identificati negli studi riportati in letteratura, rispetto ai risultati ottenuti, potrebbero essere ricondotte alle diverse specie esaminate, all'interazione genotipo-ambiente, agli effetti dei fattori climatici che magari poi non ne ha consentito l'identificazione.

5 CONCLUSIONI

Le noci sono un importante alimento per la salute umana, in quanto rappresentano una fonte di acidi grassi insaturi. In particolare, la varietà “Chandler” è ricca di acido linoleico, linolenico e oleico, mentre gli acidi grassi saturi (principalmente l’acido palmitico e stearico) sono meno abbondanti. Da punto di vista qualitativo, il profilo degli acidi grassi non cambia al variare del tempo di raccolta e di processo. Tuttavia, all’aumentare del grado di maturazione o di sosta a terra delle noci, aumenta il contenuto di PUFA e diminuisce quello dei MUFA. Perciò, il tempo di raccolta e il tempo di lavorazione delle noci possono avere un impatto sul profilo degli acidi grassi del prodotto finale. Ulteriori ricerche saranno necessarie al fine di stabilire l’impatto sulla qualità del prodotto finale.

BIBLIOGRAFIA

- Ampofo, J., Grilo, F. S., Langstaff, S., & Wang, S. C. (2022). Oxidative Stability of Walnut Kernel and Oil: Chemical Compositions and Sensory Aroma Compounds. *Foods*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/foods11193151>
- Araujo, P., Belghit, I., Aarsæther, N., Espe, M., Lucena, E., & Holen, E. (2019). The effect of omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids on the production of cyclooxygenase and lipoxygenase metabolites by human umbilical vein endothelial cells. *Nutrients*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nu11050966>
- Bakkalbasi, E., Meral, R., & Dogan, I. S. (2015). Bioactive Compounds, Physical and Sensory Properties of Cake Made with Walnut Press-Cake. *Journal of Food Quality*, 38(6), 422–430. <https://doi.org/10.1111/jfq.12169>
- Bernard, A., Lheureux, F., & Dirlewanger, E. (2018). Walnut: past and future of genetic improvement. In *Tree Genetics and Genomes* (Vol. 14, Issue 1). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1214-0>
- Bielecka, M., Ziajka, J., Staniewski, B., & Nowak, H. (2023). Oxidative stability and health-related indices of anhydrous milk fat and vegetable oil blends. *International Dairy Journal*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105529>
- Brennan, A. M., Sweeney, L. L., Liu, X., & Mantzoros, C. S. (2010). Walnut Consumption Increases Satiation but Has No Effect on Insulin Resistance or the Metabolic Profile over a 4-day Period. *Obesity*, 18(6), 1176–1182. <https://doi.org/10.1038/oby.2009.409>
- Brufau, G., Boatella, J., & Rafecas, M. (2006). Nuts: Source of energy and macronutrients. In *British Journal of Nutrition* (Vol. 96, Issue SUPPL. 2). <https://doi.org/10.1017/BJN20061860>
- Chen, C., Venkitasamy, C., Zhang, W., Khir, R., Upadhyaya, S., & Pan, Z. (2020). Effective moisture diffusivity and drying simulation of walnuts under hot air. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119283>
- Chen, C., Venkitasamy, C., Zhang, W., Deng, L., Meng, X., & Pan, Z. (2020). Effect of step-down temperature drying on energy consumption and product quality of walnuts. *Journal of Food Engineering*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110105>
- Chen, C., & Pan, Z. (2022). Postharvest processing of tree nuts: Current status and future prospects—A comprehensive review. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 21, Issue 2, pp. 1702–1731). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12906>

- Diana Labuckas, D. M. A. L. (2011). *Lipid and protein stability of partially defatted walnut flour (Juglans regia L.) during storage - Labuckas - 2011 - International Journal of Food Science & Technology - Wiley Online Library*
- Dumitru, I., Nenciu, F., Vladuț, V., Voicea, I., Oprescu, R., Ciprian TELIBAN, G., & Grădilă, M. (2022). Equipment and technologies used in walnut processing. In *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering Tome XX*
- Dutta, P. (1998). *Vitamin E content and oxidative stability of fatty acids in walnut oils*. <https://www.researchgate.net/publication/327704765>
- Ebrahimi, S., Jamei, R., Nojoomi, F., & Zamanian, Z. (2017). Persian Walnut Composition and its Importance in Human Health. *International Journal of Enteric Pathogens*, 6(1), 3–9. <https://doi.org/10.15171/ijep.2018.02>
- Elouafy, Y., El Idrissi, Z. L., El Yadini, A., Harhar, H., Alshahrani, M. M., AL Awadh, A. A., Goh, K. W., Ming, L. C., Bouyahya, A., & Tabyaoui, M. (2022). Variations in Antioxidant Capacity, Oxidative Stability, and Physicochemical Quality Parameters of Walnut (*Juglans regia*) Oil with Roasting and Accelerated Storage Conditions. *Molecules*, 27(22). <https://doi.org/10.3390/molecules27227693>
- Elouafy, Y., El Yadini, A., El Moudden, H., Harhar, H., Alshahrani, M. M., Awadh, A. A. Al, Goh, K. W., Ming, L. C., Bouyahya, A., & Tabyaoui, M. (2022). Influence of the Extraction Method on the Quality and Chemical Composition of Walnut (*Juglans regia* L.) Oil. *Molecules*, 27(22). <https://doi.org/10.3390/molecules27227681>
- Gharibzahedi, S. M. T., Mousavi, S. M., Hamed, M., & Khodaiyan, F. (2012). Comparative analysis of new Persian walnut cultivars: Nut/kernel geometrical, gravimetric, frictional and mechanical attributes and kernel chemical composition. *Scientia Horticulturae*, 135, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.030>
- Grilo, F. S., & Wang, S. C. (2021). Walnut (*Juglans regia* L.) volatile compounds indicate kernel and oil oxidation. *Foods*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/foods10020329>
- Hewavitharana, G. G., Perera, D. N., Navaratne, S. B., & Wickramasinghe, I. (2020). Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review. In *Arabian Journal of Chemistry* (Vol. 13, Issue 8, pp. 6865–6875). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.039>
- Hu, W., Fitzgerald, M., Topp, B., Alam, M., & O'Hare, T. J. (2022). Fatty acid diversity and interrelationships in macadamia nuts. *LWT*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112839>
- Hussain, M., Sun, Y., Pan, Y., Liu, L., Zhang, X., Wang, Q., Lin, S., Qayum, A., Hussain, K., & Li, X. (2023). Formulation, invitro digestive study, and comparative fatty acid analysis of walnut

- oil-based infant formula, with human milk, animal milk, and commercial infant formula. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103279>
- Leahu, A., Ghinea, C., & Ropciuc, S. (2022). Rheological, Textural, and Sensorial Characterization of Walnut Butter. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/app122110976>
- Li, H., Han, J., Zhao, Z., Tian, J., Fu, X., Zhao, Y., Wei, C., & Liu, W. (2023). Roasting treatments affect oil extraction rate, fatty acids, oxidative stability, antioxidant activity, and flavor of walnut oil. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1077081>
- Li, L., Tsao, R., Yang, R., Kramer, J. K. G., & Hernandez, M. (2007). Fatty acid profiles, tocopherol contents, and antioxidant activities of heartnut (*Juglans ailanthifolia* Var. *cordiformis*) and Persian walnut (*Juglans regia* L). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(4), 1164–1169. <https://doi.org/10.1021/jf062322d>
- Mao, Y., & Wang, S. (2021). Simultaneous hot-air assisted radio frequency drying and disinfestation for in-shell walnuts using a two-stage strategy. *LWT*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112134>
- Marcela L Martinez, Diana O Labuckas, Alicia L Lamarque, Damian M Maestri (2010). *Walnut (Juglans regia L.) genetic resources, chemistry, by-products* – PubMed
- Masoodi, L., Gull, A., Masoodi, F. A., Gani, A., Nissar, J., Ahad, T., Nayik, G. A., Mukarram, S. A., Kovács, B., Prokisch, J., El-Ramady, H., & Solberg, S. Ø. (2022). An Overview on Traditional vs. Green Technology of Extraction Methods for Producing High Quality Walnut Oil. In *Agronomy* (Vol. 12, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102258>
- Matthäus, B., Özcan, M. M., Al Juhaimi, F., Adiamo, O. Q., Alsawmahi, O. N., Ghafoor, K., & Babike, E. E. (2018). Effect of the harvest time on oil yield, fatty acid, tocopherol and sterol contents of developing almond and walnut kernels. *Journal of Oleo Science*, 67(1), 39–45. <https://doi.org/10.5650/jos.ess17162>
- Miraliakbari, H., & Shahidi, F. (2008). Lipid class compositions, tocopherols and sterols of tree nut oils extracted with different solvents. *Journal of Food Lipids*, 15(1), 81–96. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2007.00104.x>
- Mu, X. Y., Tong, L., Sun, M., Zhu, Y. X., Wen, J., Lin, Q. W., & Liu, B. (2020). Phylogeny and divergence time estimation of the walnut family (Juglandaceae) based on nuclear RAD-Seq and chloroplast genome data. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106802>

- Muradoglu, F., Oguz, H. I., Yildiz, K., & Yilmaz, H. (2010). Some chemical composition of walnut (*Juglans regia* L.) selections from Eastern Turkey. In *African Journal of Agricultural Research* (Vol. 5, Issue 17). <http://www.academicjournals.org/AJAR>
- Pereira, J. A., Oliveira, I., Sousa, A., Ferreira, I. C. F. R., Bento, A., & Estevinho, L. (2008). Bioactive properties and chemical composition of six walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. *Food and Chemical Toxicology*, 46(6), 2103–2111. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.02.002>
- Pollegioni, P., Woeste, K., Chiocchini, F., Del Lungo, S., Ciolfi, M., Olimpieri, I., Tortolano, V., Clark, J., Hemery, G. E., Mapelli, S., & Malvolti, M. E. (2017). Rethinking the history of common walnut (*Juglans regia* L.) in Europe: Its origins and human interactions. *PLoS ONE*, 12(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172541>
- Rabadán, A., Pardo, J. E., Pardo-Giménez, A., & Álvarez-Ortí, M. (2018). Effect of genotype and crop year on the nutritional value of walnut virgin oil and defatted flour. *Science of the Total Environment*, 634, 1092–1099. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.090>
- Rabrenovic, B., Dimic, etelka, Maksimovic, milan, Sobajic, S., & Gajic-krstajic, L. (2011). Determination of Fatty Acid and Tocopherol Compositions and the Oxidative Stability of Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars Grown in Serbia. In *Czech J. Food Sci* (Vol. 29, Issue 1).
- Réboufa, C., Artaud, J., & Le Dréau, Y. (2022). Walnut (*Juglans regia* L.) oil chemical composition depending on variety, locality, extraction process and storage conditions: A comprehensive review. In *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 110). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104534>
- Sánchez-González, C., Ciudad, C. J., Noé, V., & Izquierdo-Pulido, M. (2017). Health benefits of walnut polyphenols: An exploration beyond their lipid profile. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 57, Issue 16, pp. 3373–3383). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1126218>
- Siebeneichler, T. J., Hoffmann, J. F., Galli, V., & Zambiasi, R. C. (2023). Composition and impact of pre- and post-harvest treatments/factors in pecan nuts quality. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 131, pp. 46–60). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.010>
- Simopoulos, A. P. (2002). *The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids*. www.elsevier.com/locate/bioph
- Song, H., Cong, Z., Wang, C., He, M., Liu, C., & Gao, P. (2022). Research progress on Walnut oil: Bioactive compounds, health benefits, extraction methods, and medicinal uses. In *Journal of Food Biochemistry* (Vol. 46, Issue 12). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14504>

- Verma, M.K. (2014). *Walnut Production Technology*.
<https://www.researchgate.net/publication/282365700>
- Wang, J., Zhang, K., Sheng,J., Ren,H. ,Gong,J. ,Wang,Y. ,Pan,D. ,Wang,X. e H. (2023).
BioRes_18_1_869_Wang_QGWPWH_Investig_Walnut_Kernel_Oil_Extraction_Methods_2
0386
- Yang, H., Xiao, X., Li, J., Wang, F., Mi, J., Shi, Y., He, F., Chen, L., Zhang, F., & Wan, X. (2022).
 Chemical Compositions of Walnut (*Juglans* Spp.) Oil: Combined Effects of Genetic and
 Climatic Factors. *Forests*, *13*(6). <https://doi.org/10.3390/f13060962>
- Yang, J. (2009). Brazil nuts and associated health benefits: A review. In *LWT* (Vol. 42, Issue 10,
 pp. 1573–1580). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.019>
- Yildiz, E., Pinar, H., Uzun, A., Yaman, M., Sumbul, A., & Ercisli, S. (2021). Identification of
 genetic diversity among *Juglans regia* L. genotypes using molecular, morphological, and fatty
 acid data. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *68*(4), 1425–1437.
<https://doi.org/10.1007/s10722-020-01072-6>
- Zhang, Z., Jin, H., Suo, J., Yu, W., Zhou, M., Dai, W., Song, L., Hu, Y., & Wu, J. (2020). Effect of
 Temperature and Humidity on Oil Quality of Harvested *Torreya grandis* cv.