



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e
Ambiente

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Alimentari

Fiori edibili nel piatto: ornamento con potenziale bioattivo

Relatore

Prof. Gabriella Pasini

Laureanda

Gabriela Toncu

Matricola n. 1192177

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Indice

Introduzione.....	5
Abstract.....	7
1. Caratteristiche generali.....	9
2. Composizione nutrizionale e chimica.....	12
3. Componenti bioattivi.....	15
3.1 Composti fenolici.....	15
3.2 Antociani.....	20
4. Effetti benefici sull'uomo.....	22
4.1 Proprietà antiossidante.....	22
4.2 Attività antidiabetica.....	23
4.3 Attività antitumorale.....	24
4.4 Attività anti-Alzheimer.....	24
4.5 Attività antimicrobica.....	25
5. Bioaccessibilità.....	27
6. Tossicità.....	34
7. Conclusioni.....	36
8. Bibliografia.....	38

INTRODUZIONE

Negli ultimi tempi si sta aprendo una nuova frontiera nel campo dell'alimentazione, quella dei fiori commestibili. Il consumo di fiori, come alimento, in realtà non è una cosa totalmente nuova. Infatti i fiori commestibili sono stati tradizionalmente utilizzati per il consumo umano in varie culture. Essi venivano consumati già nell'antica Roma, in Grecia e anche in Cina, come medicine alternative o come parte della cucina tradizionale.

Molti fiori hanno un ruolo storico nella preparazione dei cibi, aggiungendo aroma, sapore e valore estetico, come le rose (*Rosa* spp. L.), utilizzate nell'antica Roma per conferire sapore e dolcezza a bevande, insalate, puree, frittate e dessert. Nel XVII secolo si parla dell'utilizzo della violetta (*Viola odorata* L.) come fonte di zucchero e per la colorazione di sciroppi.

Possono essere consumati freschi (es. fiori di calendola in insalata), oltre che in piatti salati a base di carne e pesce, in zuppe e bevande (vino, birra), in dessert, dolci, gelatine, ma anche spezie e coloranti. Oppure in forma secca (infusi, petali di rosa essiccati nei dessert), in polvere, cristallizzati o come schiume.

A differenza della credenza popolare, i fiori sono più di una prelibatezza o una guarnizione per il loro valore nutritivo, come fonte di proteine e aminoacidi essenziali. In questo scenario, i fiori rappresentano un segmento importante per espandere il mercato alimentare, per le loro caratteristiche sensoriali e nutrizionali adeguate, nonché per la presenza di composti bioattivi benefici per la salute umana.

L'interesse per i fiori commestibili è in crescita e diverse specie sono state valutate in modo più approfondito, come centaurea (*Centaurea cyanus* L.), crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.), ibisco (*Hibiscus rosa-sinensis* L.), lavanda (*Lavandula pedunculata* Cav.), viola del pensiero (*Viola × wittrockiana* Gams), peonia (*Paeonia suffruticosa* Andr.), calendula (*Calendula officinalis* L.) e rosa (*Rosa* spp.).

Inoltre, la crescente conoscenza della composizione chimica e delle proprietà biologiche dei fiori commestibili, della portata della tossicità e della disponibilità di strumenti analitici innovativi, come HPLC-DAD-MS/MS, per identificare i loro componenti chimici, rende i fiori commestibili interessanti possibilità per lo sviluppo di alimenti funzionali.

I fiori edibili conservano vitamine, proteine, oli essenziali e antiossidanti soprattutto se consumati freschi o minimamente lavorati.

Seguendo questa tendenza, diverse proprietà biologiche sono state recentemente associate ai fiori commestibili come il miglioramento della colite ulcerosa (Meurer et al., 2019), l'attività anti-iperglicemica e anticolinergica (Nowicka & Wojdyło, 2019), la protezione dagli effetti ossidativi negli eritrociti (Yang et al., 2019) e persino nell'attività antitumorale (Nguyen et al., 2019).

Questo elaborato riassume i dati di studi condotti fino ad ora sui fiori commestibili, concentrandosi sulle attività nutrizionali, antiossidanti e antimicrobiche, nonché sugli effetti sulla salute. Informazioni utili al fine di caratterizzarli meglio e aumentare la loro divulgazione tra l'industria alimentare e i consumatori.

ABSTRACT

In recent times, a new frontier has been opening up in the field of nutrition, that of edible flowers. The consumption of flowers, as a food, is actually not a totally new thing.

In fact, edible flowers have traditionally been used for human consumption in various cultures. They were already consumed in ancient Rome, Greece and even China, as alternative medicines or as part of traditional cuisine.

Many flowers have a historical role in the preparation of food, adding aroma, flavor and aesthetic value, such as roses (*Rosa* spp. L.), used in ancient Rome to give flavor and sweetness to drinks, salads, purees, omelettes and desserts. In the 17th century there is talk of the use of violet (*Viola odorata* L.) as a source of sugar and for coloring syrups.

They can be eaten fresh (eg marigold flowers in salads), as well as in savory dishes based on meat and fish, in soups and drinks (wine, beer), in desserts, sweets, jellies, but also spices and dyes. Or in dry form (infusions, dried rose petals in desserts), in powder form, crystallized or as foams (molecular gastronomy).

Unlike popular belief, flowers are more of a delicacy or garnish due to their nutritional value as a source of essential amino acids and proteins. In this scenario, flowers represent an important segment for expanding the food market, for their adequate sensory and nutritional characteristics, as well as for the presence of bioactive compounds beneficial for human health. Interest in edible flowers is growing and several species have been evaluated in greater depth, such as centaury (*Centaurea cyanus* L.), chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.), Hibiscus (*Hibiscus rosa-sinensis* L.), lavender (*Lavandula pedunculata* Cav.), Pansy (*Viola × wittrockiana* Gams), peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.), Marigold (*Calendula officinalis* L.) and rose (*Rosa* spp.).

Furthermore, the growing knowledge of the chemical composition and biological properties of edible flowers, the extent of toxicity and the availability of innovative analytical tools such as HPLC-DAD-MS / MS to identify their chemical components makes edible flowers interesting possibilities for the development of functional foods.

Edible flowers retain vitamins, proteins, essential oils and antioxidants especially when eaten fresh or minimally processed.

Following this trend, several biological properties have recently been associated with edible flowers such as the improvement of ulcerative colitis (Meurer et al., 2019), anti-hyperglycemic and anticholinergic activity (Nowicka & Wojdyło, 2019), protection from oxidative effects in erythrocytes (Yang et al., 2019) and even in antitumor activity (Nguyen et al., 2019).

This paper summarizes the data from studies conducted so far on edible flowers, focusing on nutritional, antioxidant and antimicrobial activities, as well as health effects. Useful information in order to better characterize them and increase their dissemination among the food industry and consumers.

1 CARATTERISTICHE GENERALI

C'è una vasta gamma di fiori, ma solo alcuni sono commestibili (Figura 1). Pertanto, la loro corretta identificazione è essenziale. La Tabella 1 descrive alcuni fiori commestibili usati per scopi culinari. Secondo Lu et al. (2016), i fiori commestibili sono ottenuti da 97 famiglie, 100 generi e 180 specie in tutto il mondo. Il modo più frequente per consumare i fiori commestibili è da freschi ma possono essere consumati anche secchi, nei cocktail (in cubetti di ghiaccio), inscatolati nello zucchero e conservati nei distillati. Sono solitamente usati per aggiungere colore, fragranza e sapore a cibi come insalate, zuppe, antipasti, dessert e bevande. In questo ordine, i fiori commestibili hanno attirato la curiosità di alcuni ricercatori e chef professionisti, ma c'è ancora un alto potenziale per migliorarne l'utilizzo e la conoscenza.

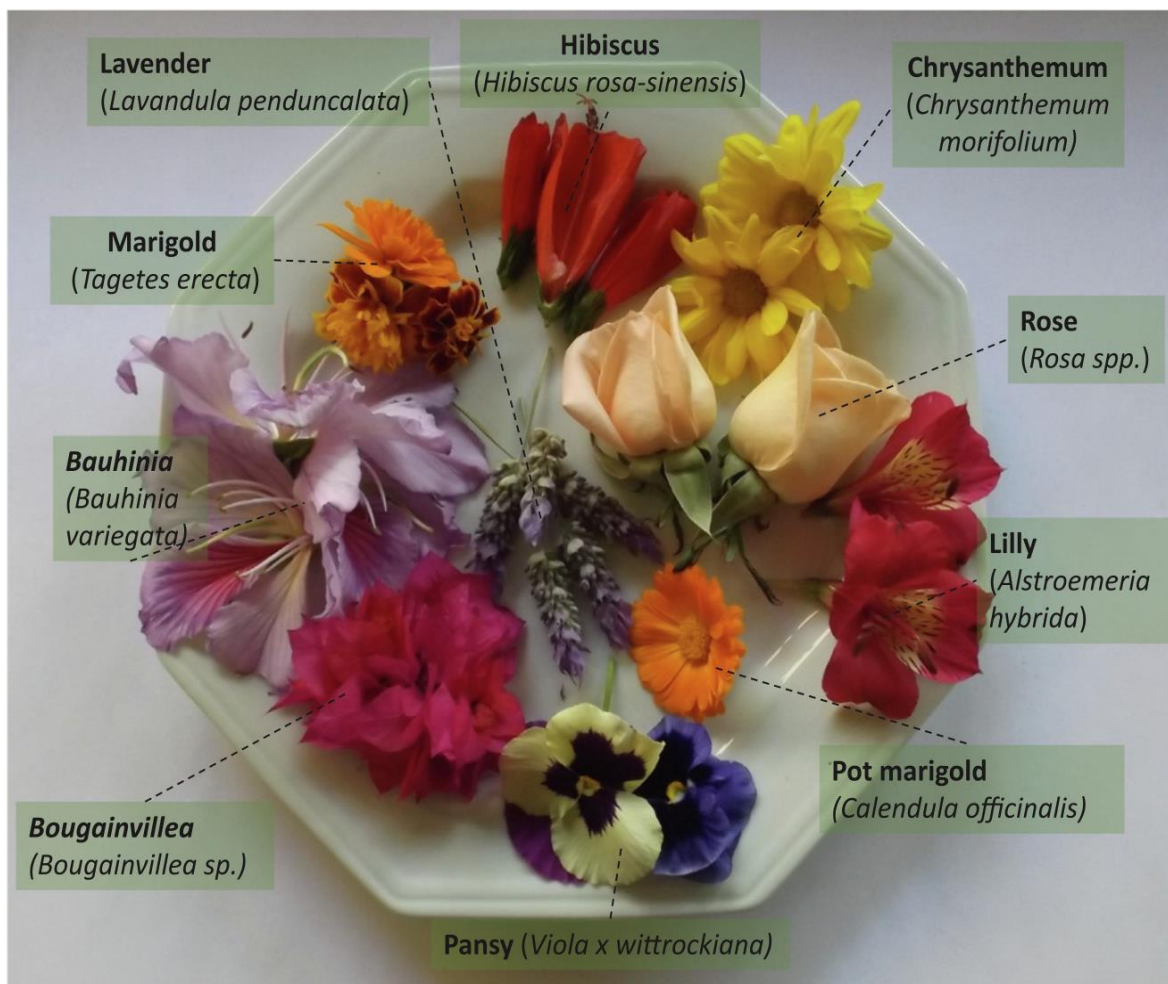


Fig. 1. Some edible flowers and their respective common and scientific names.

(Takahashi et al., 2020)

Common name	Scientific name	Flavor	Edible parts	Cooking style	Biological Activities	Reference
Chives	<i>Allium schoenoprasum</i>	Mild onion	All parts of the plant	Salads, cooked vegetables, casseroles, cheese dishes, eggs, potatoes, or cream cheese	Bladder and kidney infections, cleanse the blood, lower blood pressure and cholesterol, build up resistance to infection, respiratory disorders, assist digestive tract and urinary system, natural antibiotic.	(Roberts, 2000; Grzeszczuk et al., 2011)
Begonia	<i>Begonia</i> × <i>tuberhybrida</i>	Slightly lemon	Leaves, flowers, and stems	Salads and garnishes	Nondescript, antiphlogistic, antispasmodic, ophthalmic, gastric	(Mlecek and Rop, 2011)
Dorogę	<i>Dorogę officinalis</i>	Crisp, cucumber	Blossoms and leaves	Cakes decoration, postrics, and desserts	Antispasmodic, antihypertensive, antipyretic, aphrodisiac, diuretic and is also considered useful to treat asthma, bronchitis, cramps, diarrhea, palpitations and kidney ailments	(Roberts, 2000; Gilani et al., 2007)
Calendula, pot marigold	<i>Calendula officinalis</i>	Slightly bitter	Petals	Use petals in salads, soups, butter, rice, stews, poultry, or in tea	Anti-inflammatory, regulates menstruation, aids gastric disturbances, colitis, fevers and infections problems, eczema, oily skin and psoriasis.	(Mlecek and Rop, 2011; Hamad et al., 2011; Muley et al., 2009; Roberts, 2000; Jauron and Naeve, 2013)
Comflower, bachelor's button, hartsickle or cyani flower	<i>Centaurea cyanus</i>	Slightly sweet to spicy, clove-like	Petals	Garnish, tea, the petals are also a natural food colorant	Soothing, antioxidant, and used in ocular inflammation.	(Jauron and Naeve, 2013; Garbacki et al., 1999)
Chrysanthemum	<i>Chrysanthemum</i> spp.	Slightly to very bitter	Remove the bitter flower base and use petals only	Tea	For the treatment of constipation, vertigo, hypertensive symptoms and several infectious diseases such as pneumonia, colitis, stomatitis,	(Mlecek and Rop, 2011; Sasi et al., 2009)
Daylilies	<i>Hemerocallis</i> spp.	Slightly sweet, combination of asparagus and zucchini	Buds, flowers, petals, remove the stems.	Salads or garnishes	To treat aching muscles and strains, antipyretic, oral disinfectant.	(Tai and Chen, 2000; Mlecek and Rop, 2011; Roberts, 2000; Jauron and Naeve, 2013)
Bee balm/bergamot	<i>Monarda didyma</i>	Girous, minty	Flowers, leaves	Salads, garnishes, beet balm tea	Helps to calm digestive problems, colic, nausea, bloated distended stomach, flatulence and belching	(Roberts, 2000)
Rose	<i>Rosa</i> spp.	Sweet and aromatic	Petals, remove the bitter white portion of the petals	Salads or make jelly	Anticancer, diuretic, laxative, ophthalmic, antirheumatic, kidneys	(Mlecek and Rop, 2011; Jauron and Naeve, 2013)
Common Lilac	<i>Syringa vulgaris</i>	Flowery, lemony taste, floral, pungent	Blossoms, petals	Great in salads and crystallized with egg whites and sugar.	Reduces fever and to get rid of internal parasites	(Mlecek and Rop, 2011; Jauron and Naeve, 2013)
Nasturtium	<i>Tropaeolum majus</i>	Peppery, zesty taste that can be a substitute for mustard	Blossoms, leaves, whole flowers	Salads or cure in vinegar, garnish	Disinfectant, wound-healing, antibiotic, expectorant to relieve chest conditions, antiscorbutic and anticancer activity	(Mlecek and Rop, 2011; Garzón and Wroslad, 2009; Jauron and Naeve, 2013)
Tulip	<i>Tulipa</i> spp.	Sweet lettuce, fresh baby peas, or cucumber-like	Petals (Some people are strongly allergic)	Salads	Antipyretic, anticancer, laxative, expectorant, depurative	(Mlecek and Rop, 2011)
Pansies	<i>Viola</i> × <i>witrocliana</i>	Perfumed taste, sweet	Whole flower	Garnish, salad and tea	Phytotherapy, skin	(Mlecek and Rop, 2011; Jauron and Naeve, 2013)

Tabella 1. Caratteristiche e attività biologiche di alcuni fiori (Fernandes et al., 2017)

Viola del pensiero (*Viola × wittrockiana*), centaurea (*Centaurea cyanus*), borago (*Borago officinalis*), rosa (*Rosa* spp.), nasturzi (*Tropaeolum majus*) e ibisco (*Hibiscus rosa-sinensis*) sono esempi di fiori commestibili che vengono normalmente utilizzati per guarnire piatti. Tuttavia, altri sono più conosciuti dai consumatori come ortaggi, come il carciofo (*Cynara scolymus*), i broccoli e il cavolfiore (*Brassica oleracea*), anche se si tratta di infiorescenze. Sono inoltre commestibili alcuni fiori di erbe aromatiche: allium (porri, erba cipollina, aglio), timo (*Thymus vulgaris*), santoreggia (*Satureja hortensis*), maggiorana (*Origanum majorana*), menta (*Mentha* spp.) e salvia comune (*Salvia officinalis*), che servono per insaporire i piatti. I fiori di alcuni alberi da frutto possono essere utilizzati anche in cucina come sciroppi, ad esempio i fiori di sambuco (*Sambucus* spp) e i fiori di agrumi (arancio, limone, lime, pompelmo, kumquat).

In generale, i fiori commestibili si mangiano interi, ma a seconda della specie di fiori se ne dovrebbero consumare solo alcune parti. Ad esempio, solo i petali di Tulipa, *Chrysanthemum*, *Rosa* spp. oppure si consumano i boccioli di margherite (*Bellis perennis*) o di nasturzio da giardino (*T. majus*). Inoltre in alcuni fiori è necessario asportare alcune parti per la loro amarezza, come le porzioni bianche della base dei petali di rose e crisantemi.

Alcune proprietà dei fiori commestibili possono anche influenzare i consumatori al momento dell'acquisto. Kelley et al. (2001a) hanno riportato che il colore era il fattore più influente quando i consumatori dovevano decidere quale confezione avrebbero acquistato. Il prezzo era il secondo fattore più importante e le dimensioni del container il meno importante. Inoltre, i consumatori preferivano un mix di colori floreali rispetto a colori singoli e alcuni contrasti di colore specifici erano preferiti ad altri. La maggior parte dei consumatori di solito sceglievano colori giallo e arancione, mentre il blu e le combinazioni di altri colori erano meno favoriti.

In conclusione, l'accettabilità dei fiori commestibili dipende da una serie di fattori, vale a dire: gruppo sociale (cuochi contro consumatori), specie di fiori e loro caratteristiche (gusto, consistenza e aspetto), caratteristiche personali dei consumatori (istruzione, genere, reddito annuo) e il packaging in vendita (composizione dei fiori, dimensioni e prezzo).

Per quanto riguarda la produzione, non ci sono dati statistici nella produzione globale. Tuttavia, sono disponibili dati limitati sulla produzione di fiori edibili selezionati (fiori ma non considerati tali, come broccoli e cavolfiori e zafferano) (Fernendes et al., 2019).

Nello scenario globale, l'Asia è il maggior produttore di cavolfiori e broccoli (76,6%), mentre l'Europa solo l'11,9%, tra il 2000 e il 2014. Nel 2014, il Portogallo ha prodotto 38969 tonnellate di questi due prodotti (FAOSTAT, 2019). Condizioni climatiche favorevoli e bassi costi del lavoro sono entrambi fattori chiave responsabili della posizione vantaggiosa dell'Asia-Pacifico nell'esportazione di prodotti floricoli. Oltre a questo, l'Europa ha mostrato una notevole domanda di fuori edibili a causa della crescente preferenza per i fiori recisi in alcune parti della Germania, Francia e Paesi Bassi. L'Olanda è il principale esportatore di bulbi e fiori recisi in Europa. Nell'anno 2013, la Colombia è emersa come il secondo esportatore di fiori recisi attraverso l'esportazione di rose, garofani, crisantemi (Fernandes, 2019).

2 COMPOSIZIONE NUTRIZIONALE E CHIMICA

Sono stati condotti pochi studi sulla composizione nutrizionale dei fiori commestibili, ma la maggior parte di essi ha riferito che il contenuto di componenti comuni non è diverso dalla composizione di altri organi vegetali. Mlcek e Rop (2011) hanno riportato che, dal punto di vista nutrizionale, i fiori possono essere divisi in polline, nettare, petali e altre parti. Il polline è una fonte di proteine e carboidrati, lipidi saturi e insaturi, carotenoidi e flavonoidi. Il nettare contiene una miscela equilibrata di zuccheri (fruttosio, glucosio e saccarosio), insieme ad amminoacidi liberi, proteine, ioni inorganici, lipidi, acidi organici, sostanze fenoliche, alcaloidi e terpenoidi.

I petali e altre parti dei fiori sono ricchi di vitamine, minerali e antiossidanti (Mlcek e Rop, 2011). Nei fiori commestibili, l'acqua è il costituente principale, che varia tra il 70% e il 95% (Tabella 2). Quindi, mentre i fiori aggiungono delizia visiva, aroma gradevole e gusto delizioso, altri fiori commestibili sono normalmente consumati in quantità maggiori come ortaggi (es. B. oleracea – broccoli e cavolfiori), aventi un valore energetico inferiore.

Tuttavia, è stato riportato un range di valori elevato, da 75 a 465 kJ/100 g di peso fresco, probabilmente a causa degli alti valori di carboidrati totali in alcuni casi. I carboidrati sono infatti il macronutriente più abbondante nei fiori commestibili, con valori compresi tra 42,4 e 90,2 g/100 g di peso secco rispettivamente per *E. caribaea* e *Rosa micrantha*, seguiti dagli altri parametri (proteine, ceneri e lipidi) (Tabella 3). Mentre, sono state rilevate quantità inferiori di carboidrati in *B. oleracea* var. *italica* (10,0 g/100 g peso secco).

Questa variazione può essere probabilmente dovuta alle differenze dei tessuti prevalenti tra le specie, ad esempio, nel cavolfiore la parte edibile è rappresentata dalla proliferazione dei tessuti meristemati e parenchimatici, mentre in altre prevalgono i tessuti tegumentali, o/e all'uso di differenti metodi di calcolo dei carboidrati totali, comprese o meno le fibre.

Per quanto riguarda il contenuto di fibre, è stato osservato un intervallo compreso tra 6,1 e 55,4 g/100 g di peso secco per *A. schoenoprasum* e *Spilanthus oleracea/Tagetes erecta*, rispettivamente. Questo ampio intervallo sul contenuto di fibre può essere dovuto all'applicazione di metodi diversi per la determinazione di questo componente, comprese la fibra grezza e la fibra alimentare totale.

Anche per le proteine è stato riscontrato un range di valori elevato, variabile tra 2,0 e 52,3 g/100 g peso secco per *Begonia boliviensis* e *B. oleracea* var. *corsivo*, rispettivamente.

Sebbene questi fiori commestibili abbiano un basso contenuto proteico in relazione agli alimenti di origine animale, come il pollo, hanno livelli di proteine più elevati rispetto a verdure come banana, broccoli e cavolfiore.

I lipidi erano presenti nei fiori, compresi tra 1,3 e 6,1 g/100 g di peso secco rispettivamente per *R. micrantha* (petali) e *Madhuca indica*.

È stato riscontrato che il profilo lipidico e le combinazioni nutrizionali dei fiori commestibili hanno composizioni eccezionalmente interessanti dal punto di vista sanitario. I risultati della ricerca indicano che la maggior parte dei fiori commestibili sono molto ricchi dei loro profili di acidi grassi e in particolare di acidi grassi essenziali. La vitamina E, chiamata tocoferolo, risulta avere un'attività biologica molto elevata.

I carotenoidi che si trovano principalmente in questi fiori commestibili sono xantofille, come la luteina e il carotene. Anche β – carotene e licopene sono segnalati con attributi di salute molto buoni (Fernandes et al., 2018b).

I minerali (ceneri) sono i componenti con la più alta variabilità sul contenuto totale (variabile tra 2,6 e 15,9 g/100 g peso secco), oltre che singolarmente. Potassio, fosforo, calcio e magnesio sono i componenti principali. I fiori commestibili sono più ricchi di potassio che di sodio, il che è utile per la prevenzione delle malattie cardiovascolari.

Considerando gli apporti dietetici di riferimento (DRI) per magnesio (375 mg/giorno), fosforo (700 mg/giorno) e potassio (2000 mg/giorno) per un adulto (regolamento (UE) n. 1169/2011), alcuni fiori commestibili possono contribuire a soddisfare queste esigenze quotidiane.

Ad esempio, 46 g di *Fuchsia × hybrida* secca, 34 g di *Chrysanthemum parthenium* secca e 12 g di *T. patula* secca, possono contribuire a soddisfare il 25% del fabbisogno giornaliero di magnesio, fosforo e potassio, rispettivamente, negli adulti sani (Rop et al., 2012), essendo questi fiori generalmente consumati freschi in insalata.

Sebbene sia noto che la composizione del suolo influenzi notevolmente il contenuto minerale degli ortaggi in generale, le differenze sono troppo elevate per essere attribuite solo a questo fattore. Pertanto, è necessario eseguire indagini più analitiche basate su metodologie consolidate per comprendere meglio alcune delle differenze osservate fino ad ora.

In letteratura, la maggior parte degli studi descrive la composizione nutrizionale dei fiori freschi o secchi e solo pochi valutano le preparazioni alimentari contenenti queste piante. Tuttavia, una volta che i fiori sono cotti, le diverse fasi e temperature interferiscono nel contenuto di alcuni fattori nutritivi come minerali, vitamine e tipo di acidi grassi presenti nel prodotto finale. Uno studio che ha confrontato il contenuto nutrizionale di petali di dalia, rosa, calendula e centaurea ha riportato una riduzione dei livelli di proteine e lipidi nell'infusione acquosa rispetto alla materia prima (Pires et al., 2017). Pertanto, i fiori commestibili dovrebbero essere preferibilmente consumati in natura in succhi o insalate non solo per sfruttare la loro freschezza e attrattiva cromatica, ma anche per un maggiore assorbimento di nutrienti.

Common name	Flower	Part of flower	Nutritional composition (g/100 g dry weight)							Reference (recalculated)
			Moisture ^a	TC ^b	Fiber	Protein	Fat	Ash	Energy ^c	
Agave	<i>Agave salmiana</i>	Whole	87.4	62.1	12.7	16.4	2.8	5.8	-	(Sotelo et al., 2007)
Chives	<i>Allium schoenoprasum</i>	Whole	80.0	50.0	6.1	15.3	3.4	3.8	243	(Grzeszczuk et al., 2011)
Aloe vera	<i>Aloe vera</i>	Whole	89.5	56.8	13.8	16.4	4.2	8.6	-	(Sotelo et al., 2007)
Snapdragon	<i>Antirrhinum majus</i>	Whole	87.4	-	-	3.8	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Texas madrone	<i>Arbutus xalapensis</i>	Whole	89.7	66.7	10.4	11.3	3.9	6.9	-	(Sotelo et al., 2007)
Begonia	<i>Begonia boliviensis</i>	Whole	85.8	-	-	2.0	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Cauliflower	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>	Whole	93.4	43.6	21.7	18.0	2.9	13.9	75	(Vieira, 2013)
Broccoli	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	Whole	92.6	10.0	28.0	52.3	2.0	15.4	84	(Vieira, 2013)
Pot marigold	<i>Calendula officinalis</i>	Petals	89.3	62.1	13.1	13.6	3.6	7.7	151	(Vieira, 2013)
Cornflower	<i>Centaurea cyanus</i>	Petals	90.3	-	-	6.9	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Paris daisy	<i>Chrysanthemum frutescens</i>	Petals	90.4	-	-	7.2	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Feverfew	<i>Chrysanthemum parthenium</i>	Petals	90.1	-	-	6.9	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Pumpkin	<i>Cucurbita pepo</i>	Whole	93.1	47.1	10.5	21.9	5.0	15.9	-	(Sotelo et al., 2007)
Artichoke	<i>Cynara scolymus</i>	Whole	78.9	60.9	16.6	14.7	2.8	5.9	289	(Vieira, 2013)
Carnation	<i>Dianthus caryophyllus</i>	Petals	88.5	-	-	6.0	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Coral tree	<i>Erythrina americana</i>	Whole	86.6	44.5	17.3	26.2	2.3	9.6	-	(Sotelo et al., 2007)
Erythrina	<i>Erythrina caribaea</i>	Whole	88.5	42.4	17.7	27.4	1.5	10.1	-	(Sotelo et al., 2007)
Sun spurge	<i>Euphorbia radians</i>	Whole	90.1	47.9	12.6	25.1	4.9	9.4	-	(Sotelo et al., 2007)
Fuchsia	<i>Fuchsia × hybrida</i>	Whole	91.6	-	-	2.9	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Busy Lizzie	<i>Impatiens walleriana</i>	Whole	85.3	-	-	3.1	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Mahua	<i>Madhuca indica</i>	Whole	73.6	86.0	-	5.3	6.1	2.6	465	(Patel and Naik, 2010)
Rugosa rose	<i>Rosa micrantha</i>	Petals	71.6	90.2	-	4.3	1.3	4.2	465	(Guimarães et al., 2010)
Tea Rose	<i>Rosa odorata</i>	Petals	89.9	-	-	2.6	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Sechuan button	<i>Spilanthes oleracea</i>	Whole	81.7	74.3	55.4	15.6	2.2	7.9	121	(Navarro-González et al., 2015)
Mexican marigold	<i>Tagetes erecta</i>	Whole	83.4	85.2	55.4	7.9	1.9	4.8	117	(Navarro-González et al., 2015)
French marigold	<i>Tagetes patula</i>	Whole	90.6	-	-	3.1	-	-	-	(Rop et al., 2012)
Garden nasturtium	<i>Tropaeolum majus</i>	Whole	89.3	66.9	42.2	18.6	3.1	5.9	88	(Navarro-González et al., 2015)
	<i>Tropaeolum majus</i>	Whole	88.7	-	-	4.2	-	-	-	(Rop et al., 2012)
	<i>Tropaeolum majus</i>	Whole	90.6	48.1	29.7	14.4	3.6	7.3	109	(Vieira, 2013)
Pansies	<i>Viola × wittrockiana</i>	Whole	90.0	-	-	6.7	-	-	-	(Rop et al., 2012)
	<i>Viola × wittrockiana</i>	Whole	87.2	64.5	9.3	16.8	5.0	4.4	197	(Vieira, 2013)
Yucca	<i>Yucca filifera</i>	Whole	88.1	-	8.5	25.9	2.1	9.7	-	(Sotelo et al., 2007)

^a Expressed in%; ^bTC: Total carbohydrates; ^cExpressed in kJ/100 g fresh weight.

Tabella 2. Composizione nutrizionale di alcuni fiori (Fernandes et al., 2017)

3 COMPONENTI BIOATTIVI

3.1 Composti fenolici

Nel corso della storia, i fiori commestibili sono stati utilizzati per scopi medicinali: alleviare i problemi mestruali, curare i problemi circolatori e, più recentemente, contro la crescita delle cellule tumorali (Yang & Shin, 2017). Questi effetti biologici sono strettamente correlati alle proprietà antiossidanti di alcuni dei loro componenti. L'assunzione di alimenti ricchi di agenti antiossidanti è stata associata alla diminuzione di numerose patologie quali diabete, malattie cardiovascolari, respiratorie e neurologiche. La maggior parte degli studi ha dimostrato che esiste un'elevata correlazione tra capacità antiossidante e contenuto polifenolico totale, indicando che i composti fenolici potrebbero essere i principali contributori alla capacità antiossidante (Li et al., 2014, Mao et al., 2006).

I composti fenolici sono un gruppo di metaboliti secondari presenti in diverse parti della pianta che si ritiene abbiano numerose proprietà bioattive (Kucekova, Mlcek, Humpolicek e Rop, 2013). Questi composti sono classificati in base al numero di subunità fenoliche presenti, in polifenoli e fenoli semplici, e possono essere ulteriormente suddivisi in flavonoidi e composti non flavonoidi. Gli acidi fenolici e derivati sono i principali composti non flavonoidi presenti nelle piante, ma ci sono altri composti che sono considerati in questa classe, come stilbeni, lignine, lignani, cumarine, naftochinoni, xantoni e antrachinoni. Gli acidi fenolici si trovano naturalmente nelle piante e possono essere suddivisi in acidi benzoici idrossibenzoici (C6–C1) e acidi idrossicinnamici (C6–C3); possono presentarsi come acidi liberi e come derivati, solitamente combinati con zuccheri o acidi organici (es. acido chinico).

Gli acidi caffeico, p-cumarico, vanillico, ferulico e protocatechuico sono presenti in quasi tutte le piante e la loro presenza nella dieta è stata collegata alla prevenzione delle malattie legate all'invecchiamento, come cancro, malattie cardiovascolari e neurodegenerative (Butts-Wilmsmeyer et al., 2018; Kucekova et al., 2013).

I flavonoidi sono caratterizzati dal loro scheletro C6–C3–C6 e sono costituiti da 6 sottogruppi principali: flavan-3-oli, flavonoli (es. quercetina, kaempferol, miricetina), flavoni (es. apigenina, luteolina, crisina), flavanoni (es. esperidina, naringenina, eriodictyol), isoflavoni (es. genisteina, daidzein, gliciteina) e antociani (es. cianidina, delphinidina, malvidina).

I flavan-3-oli possono presentarsi nelle loro forme monomeriche (catechine) o come polimeri (tannini condensati o proantocianidine), per i quali sono state riportate proprietà bioattive molto diverse, essendo correlate alla protezione cardiovascolare (Dias et al., 2019). I flavoni differiscono dagli altri flavonoidi per il loro doppio legame tra C2 e C3 nello scheletro flavonoide, senza alcuna sostituzione in posizione C3, un gruppo cheto in posizione C4 (Hostetler, Ralston e Schwartz, 2017). Per questi composti sono state descritte attività biologiche, come proprietà antitumorali, citotossiche, epatoprotettive, antidiabetiche, antinfiammatorie, antivirali e antietà (Dias et al., 2019).

I flavonoli sono simili ai flavoni ma possiedono un gruppo idrossile in posizione C3; quercetina e kaempferol e le loro forme glicosilate e metilate sono i principali rappresentanti di questo gruppo. Per i flavonoli è stata descritta una serie di effetti benefici sulla salute, tra cui capacità antinfiammatorie, genotossiche e antiossidanti, nonché effetti contro malattie cardiovascolari, Parkinson e Alzheimer (Dias et al., 2019).

I flavanoni sono costituiti principalmente da tre principali agliconi abbondanti (esperetina, naringenina ed eriodictyol), essendo per lo più presenti negli agrumi come forme glicosilate; la loro presenza è stata associata ad effetti antinfiammatori, antitumorali, antimutageni, cardiovascolari, antiproliferativi, vasorilassanti e vasoprotettivi (Dias et al., 2019).

Gli isoflavonoidi si trovano principalmente nei legumi e sono stati correlati ad attività estrogeniche, antibatteriche, antivirali, antinfiammatorie e anti-ischemiche (Zheng, Deng, Guo, Chen e Fu, 2019).

Gli antociani si trovano in natura principalmente sotto forma di eterosidi il cui aglicone (o antocianidina) è costituito da uno scheletro di 2-fenilbenzopirilio (flavylium) variamente idrossilato e metossilato. Attualmente sono state descritte più di 700 antocianine in natura e oltre 200 sono state identificate provvisoriamente.

Questi composti sono pigmenti idrosolubili altamente riconosciuti come molecole coloranti, essendo responsabili della colorazione di molti frutti e ortaggi e dei petali nella maggior parte dei fiori, e sono anche riconosciuti per avere un alto potenziale bioattivo (Pires, Dias, Barros, Barreira, et al., 2018).

I fiori possono contenere una varietà di tutti questi composti fenolici, che sono riconosciuti come antiossidanti naturali, essendo la loro presenza fortemente correlata al loro colore, sia direttamente (es. antociani e altri pigmenti flavonoidi) sia indirettamente attraverso processi di co-pigmentazione.

La Tabella 3 presenta i principali composti fenolici non antocianici presenti in alcuni fiori commestibili. Tra questi, i derivati dell'acido fenolico, in particolare gli acidi idrossicinnamici, si trovano in quantità rilevanti, con gli acidi caffeilchinici che sono composti principalmente fenolici in molte specie (es. *Achillea millefolium* L., *H. sabdariffa* e *Tropaelum majus* L.).

Per quanto riguarda i flavonoidi, i flavonoli sono tra i principali fenolici presenti nei fiori commestibili, in particolare i derivati della quercetina e del kaempferolo. La quercetina era il principale composto fenolico quantificato in *V. tricolor* e *Hemerocallis fulva* L. (46 mg/g DW e 273 mg/g DW, rispettivamente (Koike et al., 2015a; Wu, Mong, Yang, Wang e Yin, 2018).), mentre gli acidi caffeilchinici erano i composti meglio rappresentati in quattro dei dodici fiori analizzati da Guimarães et al. (2013), essendo *Matricaria recutita* L., il fiore con la più alta quantità di questi derivati, ovvero il 3,4-O-dicaffeolichinico acido (730 mg/100 g DW).

Inoltre, i sistemi di estrazione solido-liquido (macerazione, estrazione assistita da ultrasuoni, tra gli altri) che utilizzano diversi solventi organici e miscele di solventi organici/acqua (acqua, miscela di acqua ed etanolo o metanolo e acetone) sono la metodologia più comune applicata nell'estrazione di composti non antocianici, come si può visualizzare in Tabella 3.

Edible Flowers	Origin	Main phenolic compounds	Identification	Content	Extraction methodology	Reference
<i>Achillea millefolium</i> L.	Bulgaria	Isorhamnetin-3-O-(6-O-rhamnosyl)-galactoside	HPLC-PAD-ESI-QTOF-MS	12.6 mg/g DW	Ultrasound-assisted extraction, with a power of 200W and frequencies of 60 kHz, using ethanol (1:10 plant/solvent ratio), 30 min time, 40 °C	(Villalva et al., 2019)
		Luteolin-7-O-glucoside		7.69 mg/g DW		
		Luteolin		4.47 mg/g DW		
		3,5-O-Dicaffeoylquinic acid		3.62 mg/g DW		
<i>Hemerocallis fulva</i> L.	China and Taiwan	Quercetin	HPLC- DAD	273 mg/g DW	Solid-liquid extraction with 300 g of sample in 2000 ml boiling distilled water for 1 h.	(Wu et al., 2018)
		Ellagic acid		205 mg/g DW		
		Chlorogenic acid		175 mg/g DW		
<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	Alfândega da Fé, Bragança, Portugal	5-(Hydroxymethyl)furfural	HPLC-DAD-ESI/MSn	5.75 mg/g DW	Solid-liquid extraction with 1 g in 30 mL of ethanol/water (80:20 v/v), 25 °C at 150 rpm for 1 h	(Jabeur et al., 2017)
		3-O-Caffeoylquinic acid		2.88 mg/g DW		
		5-O-Caffeoylquinic acid		1.53 mg/g DW		
<i>Lavandula pedunculata</i> Mill.	Ponte de Sôr , Portalegre	Salvianolic acid B	HPLC-DAD-ESI/MSn	582 mg/g DW	Solid-liquid extraction with 1 g in 30 mL of ethanol/water (80:20 v/v), 25 °C at 150 rpm for 1 h	(Lopes et al., 2018)
		Rosmarinic acid		550 mg/g DW		
		Luteolin-7-O-glucuronide		84.1 mg/g DW		
<i>Lonicera japonica</i> Thunb	China	Chlorogenic acid	HPLC-DAD	16.0 mg/g DW	Solid-liquid extraction with 2 g in 50 mL of 80% acetone for 5 min.	(Xiong et al., 2014)
		Rutin		0.62 mg/g DW		
		Protocatechuic acid		0.25 mg/g DW		
		Luteolin-O-acylhexoside		1290 mg/100g DW		
<i>Matricaria recutita</i> L.	Trás-os-Montes, North-eastern Portugal.	3,4-O-Dicaffeoylquinic acid	HPLC-DAD-ESI/MS	730 mg/100g DW	Solid-liquid extraction with 1 g in 30 mL of methanol:water (80:20 v/v) for 1 h.	(Guimarães et al., 2013)
		Feruloyl hexoside acid dimer		590 mg/100g DW		
		Rutin		18.1 mg/g DW		
<i>Paeonia suffruticosa</i> Andrews	China	Galic acid	HPLC-DAD	7.99 mg/g DW	Solid-liquid extraction with 2 g in 50 mL of 80% acetone for 5 min.	(Xiong et al., 2014)
		Quercetin		7.24 mg/g DW		
		Chlorogenic acid		6.54 mg/g DW		
		Kaempferol		2.78 mg/g DW		
<i>Prunus persica</i> L.	China	Rutin	HPLC-DAD	0.70 mg/g DW	Solid-liquid extraction with 2 g in 50 mL of 80% acetone for 5 min.	(Xiong et al., 2014)
		Galic acid		6.87 mg/g DW		
		Chlorogenic acid		2.66 mg/g DW		
<i>Rosa chinensis</i> Jacq.	China	3-Hydroxy-4-methoxybenzaldehyde thiosemicarbazone	HPLC-DAD	1.09 mg/g DW	Solid-liquid extraction with 2 g in 50 mL of 80% acetone for 5 min.	(Xiong et al., 2014)

(continued on next page)

Edible Flowers	Origin	Main phenolic compounds	Identification	Content	Extraction methodology	Reference
<i>Rosa rugosa</i> Thunb.	Poland	Ellagitannin	UPLC-PDA-Q/TOF-MS	1072 mg/100 g FW	Solid-liquid extraction with 50 g in 500 mL of ethyl alcohol for 18 days.	(Cendrowski, Schbisz, Kieliszek, Koliniak-Ostek, & Mitek, 2017)
		(+)-Catechin		178 mg/100 g FW		
		Sanguine H-2		166 mg/100 g FW		
<i>Trapaeolum majus</i> L.	Yellow	<i>cis</i> 5- <i>p</i> -Coumaroylquinic acid	HPLC-PDA	639 mg/100g DW	Solid-liquid extraction with 0.5 g in 1:1 (w/v) 70% aqueous acetone under a nitrogen atmosphere- during 10 min.	(Garzón, Riedi, & Schwartz, 2009; Navarro-González et al., 2015)
		3-O-Caffeoylquinic acid		283 mg/100g DW		
		5-O-Caffeoylquinic acid		247 mg/100g DW		
		Kaempferol dihexoside		1199 mg/100g DW		
		5-O-Caffeoylquinic acid		233 mg/100g DW		
		3-O-Caffeoylquinic acid		182 mg/100g DW		
Red		Myricetin dihexoside		2265 mg/100g DW		
		Kaempferol dihexoside		268 mg/100g DW		
		5-O-Caffeoylquinic acid		138 mg/100g DW		
<i>Viola tricolor</i> L.	São Paulo, Brazil	Quercetin-3-O-(6-O-rhamnosylglucoside)-7-O-rhamnoside	HPLC-DAD-ESI/MS	46 mg/g extract DW	Solid-liquid extraction with 0.5 g in 20 mL of methanol/water 80:20 (v/v), at room temperature, 150 rpm, for 1h	(Koike et al., 2015a)
		Quercetin-3-O-rutinoside		28 mg/g extract DW		
		Isorhamnetin-3-O-(6-O-rhamnosyl-galactoside)		12.6 mg/g extract DW		

* ultrasound-assisted extraction; DW- dry weight; FW- fresh weight

Tabella 3. Contenuto e metodologia di estrazione dei principali composti fenolici non antocianici nei fiori edibili (Pires et al., 2019)

3.2 Antociani

La presenza di antociani conferisce ai fiori una grande diversità di colori, toccando praticamente tutti gli spettri visibili, dall'arancione e rosso fino alle sfumature viola e blu, rendendo queste matrici una potenziale fonte di questi pigmenti naturali, che possono fornire nuovi colori e sapori, attirando l'attenzione dei consumatori. Molti fiori commestibili hanno iniziato a destare interesse nell'industria alimentare per le importanti quantità di antociani presenti nella loro composizione. Gli antociani sono stati valutati dal Comitato congiunto FAO/OMS di esperti sugli additivi alimentari (JECFA) nel 1982 e dal Comitato scientifico dell'UE per gli alimenti (SCF) nel 1975 e 1997, e sono autorizzati come coloranti alimentari nell'Unione Europea con il codice comune E-163 indipendentemente dalla loro origine, indicando che, almeno dal punto di vista normativo, sono considerati un gruppo di composti innocui.

La crescente preoccupazione per la sostituzione di coloranti artificiali con controparti naturali ha promosso l'interesse per la ricerca di nuove alternative, e in questo caso i fiori commestibili potrebbero essere interessanti fonti di queste molecole naturali. Gli antociani più comuni presenti nella maggior parte dei fiori sono derivati della cianidina, ovvero il cianidin-3-O-glucoside. Tuttavia, si possono trovare anche altri composti importanti, come la malvidin-3-O-glucoside (202,1 mg/kg di peso fresco (FW) e il delphinidin-3-O-glucoside (109 mg/kg FW) in *Nelumbo nucifera* (Gaertn.), delphinidin-3,7-O-diglucoside (3936µg/g DW) in *Crocus sativus* L., delphinidin-3-O-(4''p-cumaroil)-rutinoside-5-O-glucoside (10,2 mg/g DW) in *V. tricolore* o pelargonidin-3-O-soforoside (591,6 mg/g DW) nella varietà rossa *Tropaeolum majus* L.

Gli antociani sono stati descritti per fornire una serie di benefici per la salute, inclusi effetti antiossidanti, antinfiammatori e anti-proliferativi.

È stato dimostrato che molti frutti e verdure inibiscono l'inizio, la promozione e la progressione di diversi tumori, come il cancro al seno, alla prostata, al fegato, al colon-retto, all'intestino, al sangue o alla cervice, che è stato correlato alla loro composizione di antociani (Hidalgo e Almajano, 2017; Khoo, Azlan, Tang e Lim, 2017; Li, Wang, Luo, Zhao e Chen, 2017).

Gli estratti ricchi di antociani dall'ibisco hanno dimostrato di essere in grado di sopprimere significativamente la morte cellulare dopaminergica indotta da rotenone tramite l'interferenza con l'attivazione della microglia e il miglioramento della disfunzione mitocondriale, suggerendo la loro attività neuroprotettiva e la capacità di migliorare le prestazioni cognitive, di memoria e motorie, che possono avere un potenziale applicazione nella prevenzione dei disturbi neurodegenerativi, come il morbo di Parkinson e il morbo di Alzheimer (Li et al., 2017).

La cianidina-3-O-glucoside ha dimostrato di essere in grado di inibire l'infiammazione acuta e la peritonite indotte dalla carragenina attraverso la downregulation dell'espressione della ciclossigenasi-2 e l'inibizione della produzione di prostaglandina E2, indicando il suo potenziale antinfiammatorio (Li et al., 2017).

Sebbene siano stati condotti diversi studi in vitro e in vivo per provare a dimostrare l'attività biologica degli antociani, uno dei principali svantaggi del loro utilizzo è la loro bassa biodisponibilità, poiché sono considerati scarsamente assorbiti e ampiamente metabolizzati, essendo presenti nel sangue sotto forma di metaboliti (Fernandes et al., 2019).

A questo proposito, l'uso delle nanotecnologie può fornire strumenti promettenti per risolvere i problemi di biodisponibilità. D'altra parte, la struttura degli antociani può anche influenzare la loro attività e i meccanismi molecolari coinvolti, per cui è necessario l'isolamento e la purificazione di molecole specifiche per determinarne gli effetti (Li et al., 2017).

Il contenuto e la composizione di antociani nei fiori commestibili possono presentare un'elevata variabilità a seconda della specie, ma anche a causa di fattori climatici e abiotici. Inoltre, anche le diverse variabili nel processo di estrazione, come la metodologia di estrazione, i solventi impiegati, il rapporto solido/liquido o la temperatura, possono avere una grande influenza sulla composizione degli estratti ottenuti.

Le caratteristiche polari degli antociani consentono loro di essere estratti da diversi solventi polari, come metanolo, acetone, acqua ed etanolo. Il metanolo e l'acetone e le loro miscele acquose sono tra i solventi più comunemente usati per estrarre i polifenoli, inclusi gli antociani. Tuttavia, la sostituzione con solventi più ecologici (acqua, etanolo o una miscela di entrambi), considerando i requisiti per le industrie alimentari e farmaceutiche, al fine di ottenere prodotti "ecocompatibili", stanno guadagnando grande considerazione.

4 EFFETTI BENEFICI SULL'UOMO

4.1 Proprietà antiossidante

Sono stati effettuati numerosi studi sull'attività antiossidante e sui composti bioattivi dei fiori commestibili. L'estrazione degli antiossidanti dai fiori è stata eseguita con diverse procedure, inclusi diversi solventi, tempi, temperature e metodi di estrazione.

La macerazione e l'estrazione Soxhlet sono stati i metodi più utilizzati. La scelta del solvente dipende in gran parte dalla natura specifica del composto bioattivo da misurare. Il metanolo e le soluzioni metanoliche sono stati i solventi usati più frequentemente.

La gamma di valori ottenuti per l'attività antiossidante varia ampiamente tra i fiori.

Tuttavia, è difficile confrontare i risultati dell'attività antiossidante tra i fiori perché anche se gli autori hanno utilizzato lo stesso metodo, sono stati utilizzati standard diversi, essendo i risultati espressi in unità diverse.

La maggior parte degli studi ha dimostrato che esiste un'elevata correlazione tra capacità antiossidante e contenuto polifenolico totale, indicando che i composti fenolici potrebbero essere i principali contributori per la capacità antiossidante (Li et al., 2014, Mao et al., 2006). Tra questi, l'attività antiossidante dei fiori sembra essere principalmente dovuta alla presenza di flavonoidi, acidi fenolici, antociani e alcaloidi, rendendo la loro quantificazione individuale essenziale per comprendere il vero potenziale di bioattività.

In un'elaborata ricerca condotta da Chensom et al., (2019) tredici fiori commestibili, utilizzati come ingredienti alimentari in Giappone, sono stati valutati come possibili fonti di antiossidanti e composti biologici. La composizione nutrizionale, il contenuto totale di polifenoli (TPC), il contenuto di carotenoidi e l'attività antiossidante dei fiori commestibili sono stati determinati in base alla capacità di assorbimento dei radicali dell'ossigeno (ORAC). Questo studio ha evidenziato che i fiori commestibili sono una potenziale fonte di antiossidanti e l'aggiunta di fiori commestibili alla dieta umana fornisce benefici per la salute. Nello stesso studio, è stato anche riscontrato che i fiori commestibili mostravano un profilo nutrizionale simile a quello delle verdure generalmente coltivate in Giappone. Tra tutti i 13 fiori commestibili testati, il giallo cosmo è risultato essere la migliore fonte di polifenoli e antiossidanti. Inoltre, alcuni dei fiori commestibili selezionati contengono anche una provitamina.

Un precursore, β -carotene e β -criptoxantina, che possono migliorare la salute umana. Pertanto, i risultati hanno concluso che il consumo quotidiano di fiori commestibili aiuterebbe a prevenire il diabete, l'ipertensione, l'accumulo di grasso e le reazioni di ossidazione nel corpo.

È stato riportato da Kaur et al., (2006) che l'estratto di *Cassia siamea* Lam. (Fabaceae) conteneva una grande quantità di polifenoli e mostravano una forte capacità di riduzione e eliminazione dell'ossigeno in ossido di azoto, perossido di idrogeno e proteine, il che giustifica l'affermazione "fiori commestibili con una forte attività antiossidante".

L'estratto di fiore commestibile riportato è stato anche trovato molto efficace nel danno tissutale ossidativo acuto, nell'equilibrio degli enzimi epatici, nella protezione contro i cambiamenti istopatologici come necrosi, cambiamenti di grasso, degenerazione del gonfiore ecc. Pertanto, è risultato molto efficace nella gestione della salute del fegato.

L'estratto etanolic, del fiore commestibile *P. mume* della Cina, è stato testato per la sua pretesa di fornire benefici per la salute nel sistema medicinale tradizionale cinese da molto tempo e si è riscontrato che il fiore ha una base medicinale come antiossidante, poiché contiene un'alta concentrazione di acidi clorogenici biologicamente attivi, che ne stabiliscono le proprietà farmacologiche (Shi et al., 2017).

4.2 Attività antidiabetica

Oltre alla proprietà antiossidante, viene frequentemente segnalata l'attività antidiabetica associata ai fiori, come il potenziale ipoglicemizzante dei fiori di *C. pepo* contro l' α -glucosidasi (Morittu et al., 2019). Il diabete mellito di tipo II è una grave malattia metabolica caratterizzata da iperglicemia, dislipidemia e disordini del metabolismo dei carboidrati. Gli enzimi α -amilasi (dal pancreas) e α -glucosidasi (dall'intestino), responsabili della scomposizione dei carboidrati nel corpo umano, sono bersagli di alcuni farmaci per il diabete di tipo II, una volta che la loro inibizione porta alla riduzione dell'iperglicemia postprandiale (Nowicka & Wojdyło, 2019).

In questo modo, tra le otto specie di fiori consumate in Italia, *Malva sylvestris* L. ha mostrato un'elevata attività di inibizione dell' α -amilasi (7,8 $\mu\text{g}/\text{mL}$) e dell' α -glucosidasi (11,3 $\mu\text{g}/\text{mL}$), rispettivamente circa sei e tre volte maggiore potente dell'acarbosio (35,5 $\mu\text{g}/\text{mL}$) (Loizzo et al., 2016).

Sambucus nigra L. fiori (bacche di sambuco), sottospecie *S. nigra* L. ssp. *canadensis* e *S. nigra* L. ssp. *cerulea*, originaria del Nord America e ampiamente consumata in Europa, Nord Africa e Asia occidentale (Ağalar, 2019, Tundis et al., 2019) ha mostrato risultati promettenti anche contro questa patologia, poiché ha fornito un elevato assorbimento e ossidazione del glucosio, in oltre all'aumento della glicogenesi nei topi non trattati con insulina (Młynarczyk et al., 2018).

4.3 Attività antitumorale

Nel campo del cancro, i fiori di dalia e le rose hanno inibito la crescita delle cellule tumorali rispettivamente nel carcinoma cervicale ed epatocellulare (Pires, Dias, Barros, Calhelha et al., 2018) mentre i fiori di *B. variegata* hanno presentato citotossicità contro le cellule del carcinoma cervicale (Villavicencio et al., 2018). In un altro esempio, l'estratto di ibisco ha mostrato un ruolo importante come coadiuvante nel trattamento in vitro del cancro al seno, agendo selettivamente nella distruzione delle cellule tumorali, mentre in combinazione con la chemioterapia ha anche ridotto gli effetti distruttivi sulle cellule sane (Nguyen et al., 2019).

4.4 Attività Anti-Alzheimer

Le malattie neurodegenerative come il morbo di Alzheimer sono un altro obiettivo di studi incentrati sulla bioattività di fiori commestibili come *D. caryophyllus* (Moliner et al., 2019, Rezende et al., 2019). L'Alzheimer è una delle principali cause di demenza legata all'età.

L'inibizione dell'enzima acetilcolinesterasi è l'obiettivo di alcuni farmaci (come donepezil, memantina, rivastigmina, galantamina) attualmente approvati e utilizzati per controllare la progressione della malattia di Alzheimer in monoterapia o terapia combinata (Birks and Harvey, 2018, Takahashi et al., 2019, Tricco et al., 2018). Studi recenti mostrano il potenziale dei fiori commestibili per l'inibizione dell'acetilcolinesterasi. Lavorando con cinque specie commestibili, ibisco arancione (*H. sabdariffa*), garofano (*D. caryophyllus*), girasole (*H. annuus*), viola viola e rosa (*Saintpaulia ionantha*), Rezende et al. Hanno rilevato l'inibizione dell'acetilcolinesterasi in tutti gli estratti, ad eccezione del girasole (Rezende et al., 2019). Fiori di *Hydrocotyle umbellata* L. (comunemente noto come acariçoba) (Hamdy et al., 2018) ed estratti di *Mentha* spp. hanno dimostrato di inibire con successo l'acetilcolinesterasi.

In uno studio più ampio, l'attività neuroprotettiva in vitro è stata riportata per *V. x wittrockiana* (inibizione dell'acetilcolinesterasi e della monoamino ossidasi A) e i risultati sono stati associati al suo contenuto di composti bioattivi (Moliner et al., 2019).

4.5 Attività antimicrobica

I fiori commestibili sono stati studiati anche come agenti antimicrobici, mirando allo sviluppo di nuovi antibiotici, generando guadagni positivi per la società, poiché nel mondo esistono diverse malattie infettive ad alta proiezione sociale.

L'attività antimicrobica è talvolta associata a diverse specie di fiori commestibili per la presenza di sostanze inibitorie per alcuni microrganismi. Alzoreky e Nakahara (2003) hanno dimostrato che gli estratti tamponati di metanolo e acetone dei fiori di *Azadirachta indica* (famiglia delle Meliaceae) inibivano la crescita del *Bacillus cereus*, non essendo stati indicati i composti specifici responsabili di questa attività.

Inoltre, è stato riportato che estratti acquosi ed etanoliche di fiori di ibisco (*Hibiscus rosa-sinensis*) possiedono attività antibatterica contro vari patogeni batterici Gram-positivi e Gram-negativi di origine alimentare, probabilmente a causa della presenza di polifenoli, flavonoidi e tannini, come suggerito da gli autori (Mak et al., 2013). Oli essenziali ed estratti acquosi di Crisantemo, estratti etanoliche di *C. officinalis* ed estratti organici e acquosi di *Allium rose* (Sassi et al. , 2008), hanno mostrato spiccate proprietà antimicrobiche dovute alla presenza di canfora, tannini, flavonoidi, alcaloidi e fenoli (Najjaa et al., 2011).

Uno studio condotto con estratti metanoliche di fiore di *Sesbania grandiflora* (consumato in India) ha suggerito che gli estratti fenolici (principalmente rutina) di questo fiore commestibile hanno un effetto inibitorio contro *Staphylococcus aureus*, *Shigella flexneri*, *Salmonella Typhi*, *Escherichia coli* e *Vibrio cholera* (China et al. , 2012). Le infusioni di *Sesbania grandiflora*, *Senna siamea* e *Telosma minor* (fiori tradizionali thailandesi) hanno mostrato proprietà antimicrobiche contro *Bacillus cereus*, *E. coli* e *Staphylococcus aureus* per la presenza di flavonoidi (Krasaekoopt e Kongkarnchanatip, 2005). I fiori di *Tamarix gallica* hanno anche mostrato apprezzabili proprietà antibatteriche contro ceppi patogeni umani, come *Micrococcus luteus* (attività più forte), *E. coli* (attività più bassa) e *Candida* (attività moderata) (Ksouri et al., 2009).

Questi risultati hanno suggerito che gli estratti metanolici di *T. gallica* fossero più efficaci nell'inibire la crescita batterica rispetto a quella fungina, probabilmente in relazione alle loro molecole attive rilevate come: acido siringico, p-cumarico e gallico, e alla presenza di (+)-catechina che ha conferito a questi estratti le loro spiccate proprietà antiossidanti (Ksouri et al., 2009).

Un altro studio condotto con estratti metanolici di petali di *Rosa rugosa* ha mostrato attività antimicrobica contro otto batteri (es. *Staphylococcus epidermidis*, *S. aureus*, *Bacillus subtilis*, *M. luteus*, *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*) e due ceppi di lievito (*Candida albicans*, *C. parapsilosis*) (Nowak et al., 2014); tuttavia, non è stato possibile definire in modo esplicito quale gruppo di composti fosse responsabile di tale attività. *Jasminum sambac* (estratto metanolico) ha presentato effetti contro *Streptococcus mutans* e *Streptococcus sanguinis* (Tsai et al., 2008). I fiori di *Alpinia galangal* consumati crudi o trasformati in sottaceti nella cucina asiatica (Yang e Eilerman, 1999), hanno un ampio spettro di attività antimicrobica contro i batteri Gram-positivi, ma hanno mostrato poca o nessuna efficacia antimicrobica contro i batteri Gram-negativi, se estratti con solventi organici (esano o etanolo) (Hsu et al., 2010).

Soluzioni di petali di rosa preparate in vari solventi (petrolio, etere, alcool, acqua) hanno attività antimicrobica contro 10 ceppi batterici, come *E. coli*, *Streptococcus pneumoniae* e *Salmonella typhimurium* (Hirulkar e Agrawal, 2010). Inoltre, gli estratti alcolici di petali di rosa presentano zone di inibizione più elevate per *Streptococcus pneumoniae* e *Pseudomonas aeruginosa* rispetto alla concentrazione massima dell'antibiotico streptomina (Hirulkar e Agrawal, 2010). Pertanto, gli estratti di fiori commestibili mostrano attività antimicrobica e quindi possono essere utilizzati come alternativa ai farmaci antimicrobici sintetici (Chehregani et al., 2007).

5 BIOACCESSIBILITA'

I fiori commestibili sono riconosciuti come fonti di vari composti bioattivi come vitamine e carotenoidi, ma principalmente composti fenolici (Chensom et al., 2019, Peng et al., 2019). Negli alimenti naturali le fonti di composti fenolici sono interessanti principalmente per il loro potere antiossidante, che ha un impatto positivo su diverse condizioni croniche, come obesità, diabete, malattie cardiovascolari e neurodegenerative (Dantas et al., 2019, Zheng et al., 2019).

L'assorbimento dei fenolici di una matrice edibile è influenzato dalla digestione gastrointestinale. Queste sostanze bioattive sono sensibili all'ambiente gastrointestinale, in particolare alla variazione del pH, agli enzimi, ai sali biliari e alla fermentazione attraverso il microbiota intestinale, che modifica le strutture fenoliche e le caratteristiche biologiche. Quindi solo una parte del contenuto fenolico totale sarà disponibile per esercitare l'attività antiossidante nell'organismo.

Pertanto, è importante considerare la bioaccessibilità dei fenolici, poiché solo quelli in grado di attraversare la barriera intestinale sono assorbibili e considerati bioaccessibili (Dutra et al., 2017). Diversamente, la frazione fenolica non assorbibile rimane disponibile nel colon insieme ad altri componenti alimentari e viene trasformata dal microbiota del colon in metaboliti più attivi e meglio assorbiti (Rocchetti et al., 2019).

I test di digestione in vitro che utilizzano la membrana di dialisi per simulare la barriera intestinale sono approcci che forniscono dati più affidabili sugli effetti benefici dei fenoli. Questi effetti sono direttamente correlati alla capacità dei fenoli di attraversare la barriera intestinale dopo il rilascio dalla matrice vegetale (Dantas et al., 2019, Peng et al., 2019).

Considerando questi aspetti, si valuta la bioaccessibilità dei composti fenolici attraverso un modello di digestione in vitro accoppiato ad una barriera intestinale simulata.

Il sistema di digestione gastrointestinale simulato comprende tre fasi sequenziali (orale, gastrica e intestino tenue) accoppiate alla dialisi utilizzando una membrana (cutoff del peso molecolare di 12.000 Da) seguendo le procedure descritte da Oliveira et al. (2020).

La frazione in grado di attraversare la membrana di dialisi (frazione dializzata; all'interno della membrana) conteneva i fenolici bioaccessibili e quindi presumibilmente disponibili per l'assorbimento. I fenolici considerati non assorbiti erano nella frazione non dializzata (al di fuori della membrana).

L'esposizione a condizioni gastrointestinali ha promosso effetti distinti sui fenolici nei fiori analizzati. In tutti i fiori si è verificata una diminuzione dopo la fase gastrica, ad eccezione del cravino, che ha aumentato il totale dei fenolici di circa il 5% (Tabella 4).

Phenolic compounds detected following the exposure to *in vitro digestion* coupled to a simulated intestinal barrier and their corresponding bioaccessibility in eight species of edible flowers of distinct color used in foods and drinks.

Edible flower	Phenolic class	Compound	Gastric	Dialyzed fraction (in)	Non dialyzed fraction (out)	Bioaccessibility (%)	
Begonia	Phenolic acids	Caftaric acid	20.60 ± 0.04 ^{ad}	1.10 ± 0.01 ^{cd}	7.10 ± 0.04 ^{bd}	110.00 ± 0.01 ^A	
		Gallic acid	< LOD	< LOD	19.10 ± 0.02 ^A	ND	
	Stilbenes	<i>cis</i> -resveratrol	17.60 ± 0.05 ^{ad}	1.00 ± 0.04 ^{ab}	9.90 ± 0.05 ^{ac}	13.92 ± 5.02 ^A	
		<i>trans</i> -resveratrol	3.80 ± 0.02 ^E	< LOD	< LOD	ND	
	Anthocyanin	Malvidin 3,5-diglucoside	265.80 ± 0.02 ^A	< LOD	< LOD	ND	
	Flavanols	Catechin	20.70 ± 0.06 ^{bf}	14.60 ± 0.02 ^{be}	112.70 ± 0.03 ^{ad}	77.75 ± 1.28 ^D	
		Procyanidin B2	12.40 ± 0.04 ^{ac}	1.90 ± 0.01 ^{ab}	13.10 ± 0.02 ^{ab}	20.57 ± 0.86 ^D	
	Flavonols	Quercetin 3-Glucoside	8.50 ± 0.05 ^{ad}	0.80 ± 0.02 ^{aA}	5.50 ± 0.01 ^{ac}	3.68 ± 1.01 ^B	
		Kaempferol 3-glucoside	19.40 ± 0.02 ^{ab}	1.30 ± 0.04 ^{bAB}	14.20 ± 0.03 ^{aA}	1.95 ± 0.62 ^B	
		Myricetin	97.20 ± 0.06 ^{ad}	1.60 ± 0.03 ^{ce}	22.50 ± 0.01 ^{bd}	0.85 ± 0.13 ^C	
	Torenia	Phenolic acids	Caftaric acid	23.80 ± 0.06 ^{ac}	1.60 ± 0.01 ^{bd}	4.60 ± 0.04 ^{bef}	3.97 ± 0.27 ^E
Gallic acid			< LOD	2.20 ± 0.05 ^A	< LOD	220.00 ± 0.05 ^A	
Chlorogenic acid			14.90 ± 0.02 ^{ac}	3.20 ± 0.02 ^{bA}	16.90 ± 0.02 ^{aA}	5.53 ± 0.36 ^A	
Stilbenes		<i>cis</i> -resveratrol	6.70 ± 0.05 ^{bf}	< LOD	15.80 ± 0.01 ^{ab}	ND	
		<i>trans</i> -resveratrol	9.40 ± 0.04 ^{bd}	< LOD	15.40 ± 0.04 ^{ab}	ND	
Anthocyanin		Delphinidin 3-glucoside	4.20 ± 0.05 ^A	< LOD	< LOD	ND	
Flavanols		Catechin	21.10 ± 0.02 ^{bf}	14.70 ± 0.03 ^{be}	48.30 ± 0.03 ^{ah}	176.67 ± 1.76 ^A	
		Epicatechin	1.60 ± 0.04 ^A	< LOD	< LOD	ND	
		Epicatechin gallate	18.30 ± 0.05 ^{aA}	1.30 ± 0.02 ^{ca}	5.00 ± 0.05 ^{bA}	130.00 ± 0.02 ^B	
		Procyanidin B1	3.50 ± 0.01 ^{ac}	1.10 ± 0.05 ^{aA}	2.20 ± 0.03 ^{ac}	38.03 ± 16.44 ^{AB}	
		Procyanidin B2	5.40 ± 0.05 ^{af}	2.00 ± 0.02 ^{bb}	4.90 ± 0.02 ^{af}	2.13 ± 0.21 ^{EF}	
Flavanone		Hesperidin	30.10 ± 0.06 ^{be}	< LOD	32.50 ± 0.01 ^{ad}	ND	
Flavonols		Rutin	27.10 ± 0.02 ^{bc}	0.80 ± 0.05 ^{cb}	31.10 ± 0.02 ^{ab}	0.31 ± 0.18 ^C	
		Kaempferol 3-glucoside	12.20 ± 0.01 ^{ad}	0.40 ± 0.02 ^{bc}	3.80 ± 0.04 ^{be}	1.04 ± 0.44 ^B	
		Myricetin	432.70 ± 0.06 ^{aA}	19.70 ± 0.01 ^{cb}	300.20 ± 0.03 ^{bA}	0.89 ± 0.00 ^C	
Mini rose		Phenolic acids	Caftaric acid	8.60 ± 0.04 ^F	< LOD	< LOD	ND
	Gallic acid		1.60 ± 0.01 ^A	< LOD	< LOD	ND	
	Chlorogenic acid		12.90 ± 0.02 ^{ad}	1.20 ± 0.02 ^{cc}	5.80 ± 0.03 ^{bcB}	3.80 ± 0.58 ^B	
	Stilbene	Syringic acid	40.10 ± 0.06 ^{aA}	0.40 ± 0.01 ^{bA}	< LOD	6.61 ± 0.50 ^B	
		<i>cis</i> -resveratrol	16.40 ± 0.04 ^E	< LOD	< LOD	ND	
	Anthocyanin	Pelargonidin 3,5-diglucoside	612.00 ± 0.03 ^a	8.60 ± 0.03 ^c	32.90 ± 0.04 ^b	0.53 ± 0.02	
	Flavanols	Catechin	48.00 ± 0.04 ^{bc}	9.60 ± 0.02 ^{cg}	67.30 ± 0.02 ^{ag}	5.41 ± 0.11 ^G	
		Procyanidin B1	< LOD	0.80 ± 0.01 ^A	< LOD	11.71 ± 0.52 ^C	
		Procyanidin B2	8.10 ± 0.05 ^{ade}	1.10 ± 0.02 ^{bc}	5.20 ± 0.01 ^{abf}	2.01 ± 0.35 ^{EF}	
	Flavanones	Hesperidin	< LOD	2.30 ± 0.04 ^{bc}	48.50 ± 0.04 ^{ac}	5.98 ± 0.96 ^B	
		Naringenin	27.40 ± 0.01 ^{ab}	1.60 ± 0.01 ^{cb}	12.00 ± 0.02 ^{bc}	1.57 ± 0.13 ^A	
	Flavonols	Quercetin 3-Glucoside	16.10 ± 0.02 ^{bc}	1.20 ± 0.03 ^{ca}	11.60 ± 0.03 ^{bA}	1.67 ± 0.34 ^B	
		Rutin	7.50 ± 0.04 ^{bd}	1.10 ± 0.02 ^{cb}	23.00 ± 0.02 ^{ac}	1.42 ± 0.22 ^C	
		Kaempferol 3-glucoside	34.70 ± 0.02 ^{aA}	0.60 ± 0.03 ^{cc}	8.90 ± 0.01 ^{bc}	0.35 ± 0.15 ^E	
	Clitoria	Phenolic acids	Caftaric acid	37.70 ± 0.06 ^{ab}	5.20 ± 0.02 ^{bb}	10.90 ± 0.01 ^{bc}	19.55 ± 0.60 ^B
			Gallic acid	1.50 ± 0.05 ^{bA}	1.00 ± 0.01 ^{bb}	8.40 ± 0.02 ^{ac}	100.00 ± 0.01 ^B
Stilbenes		<i>cis</i> -resveratrol	73.10 ± 0.05 ^{aA}	3.50 ± 0.01 ^{ca}	50.20 ± 0.03 ^{bA}	2.26 ± 0.08 ^B	
		<i>trans</i> -resveratrol	32.70 ± 0.02 ^{aA}	1.90 ± 0.02 ^{ca}	27.80 ± 0.04 ^{bA}	3.29 ± 0.35 ^B	
Anthocyanins		Malvidin 3,5-diglucoside	15.60 ± 0.04 ^{bb}	< LOD	21.70 ± 0.02 ^a	ND	
Flavanols		Cyanidin 3,5-diglucoside	3.70 ± 0.03	< LOD	< LOD	ND	
		Catechin	34.80 ± 0.01 ^{be}	30.30 ± 0.03 ^{bA}	157.00 ± 0.04 ^{aA}	119.75 ± 0.88 ^C	
		Procyanidin B1	5.10 ± 0.02 ^{ab}	0.90 ± 0.02 ^{aA}	3.50 ± 0.02 ^{ab}	17.16 ± 3.23 ^{BC}	
Flavanones		Procyanidin B2	8.70 ± 0.03 ^{ad}	2.80 ± 0.03 ^{aA}	12.80 ± 0.01 ^{ab}	57.06 ± 2.49 ^A	
		Hesperidin	167.80 ± 0.02 ^{ab}	4.10 ± 0.02 ^{cb}	131.50 ± 0.02 ^{bb}	1.22 ± 0.06 ^C	
Flavonols		Naringenin	6.30 ± 0.03 ^{bd}	1.20 ± 0.01 ^{cb}	18.00 ± 0.03 ^{bb}	0.35 ± 0.02 ^B	
		Quercetin 3-Glucoside	90.30 ± 0.04 ^A	< LOD	< LOD	ND	
		Rutin	2.40 ± 0.05 ^{ag}	0.40 ± 0.03 ^{ab}	1.00 ± 0.04 ^{af}	11.51 ± 7.72 ^{AB}	
		Kaempferol 3-glucoside	12.4 ± 0.02 ^{ad}	0.50 ± 0.01 ^{bc}	9.70 ± 0.02 ^{ab}	1.89 ± 0.25 ^B	
Myricetin	400.80 ± 0.04 ^{ab}	6.30 ± 0.02 ^{bc}	4.90 ± 0.01 ^{cf}	0.92 ± 0.04 ^C			
Mini daisy	Phenolic acids	Caftaric acid	7.10 ± 0.04 ^{ag}	2.20 ± 0.03 ^{ac}	4.80 ± 0.02 ^{ae}	7.12 ± 0.93 ^D	
		Chlorogenic acid	10.90 ± 0.01 ^{ae}	3.60 ± 0.02 ^{bA}	< LOD	360.00 ± 0.02 ^A	
	Stilbene	<i>trans</i> -resveratrol	9.80 ± 0.02 ^{ad}	0.70 ± 0.03 ^{cb}	5.00 ± 0.04 ^{bd}	0.65 ± 0.24 ^C	
	Flavanols	Catechin	68.70 ± 0.02 ^{aA}	18.90 ± 0.03 ^{cd}	122.40 ± 0.04 ^{ab}	62.86 ± 0.40 ^E	
		Epigallocatechin gallate	3.00 ± 0.04 ^B	< LOD	< LOD	ND	
		Procyanidin B1	2.50 ± 0.06 ^{ad}	0.70 ± 0.02 ^{aA}	3.00 ± 0.03 ^{ab}	28.59 ± 3.69 ^{BC}	
	Flavanones	Procyanidin B2	19.50 ± 0.03 ^{ab}	2.80 ± 0.01 ^{ca}	16.80 ± 0.04 ^{bA}	4.14 ± 0.16 ^E	
		Hesperidin	49.40 ± 0.02 ^{ac}	2.30 ± 0.02 ^{cc}	24.50 ± 0.01 ^{be}	6.97 ± 0.48 ^B	
		Naringenin	55.90 ± 0.04 ^{aA}	2.30 ± 0.03 ^{ca}	36.60 ± 0.03 ^{bA}	1.45 ± 0.22 ^A	
	Flavonols	Quercetin 3-Glucoside	22.30 ± 0.03 ^{ab}	< LOD	6.20 ± 0.02 ^{bb}	ND	
		Rutin	5.90 ± 0.05 ^{ae}	1.10 ± 0.04 ^{ab}	8.30 ± 0.03 ^{ad}	3.08 ± 1.00 ^{BC}	
		Kaempferol 3-glucoside	11.50 ± 0.03 ^{ae}	0.90 ± 0.02 ^{bBC}	7.30 ± 0.01 ^{ad}	1.81 ± 0.41 ^B	
		Myricetin	19.70 ± 0.01 ^{af}	0.80 ± 0.01 ^{cf}	9.70 ± 0.02 ^{be}	0.52 ± 0.10 ^D	

(continued on next page)

Edible flower	Phenolic class	Compound	Gastric	Dialyzed fraction (in)	Non dialyzed fraction (out)	Bioaccessibility (%)	
Tagete	Phenolic acids	Caftaric acid	11.50 ± 0.03 ^{abE}	< LOD	4.10 ± 0.02 ^{bF}	ND	
		Chlorogenic acid	4.60 ± 0.05 ^F	< LOD	< LOD	ND	
	Stilbene	<i>cis</i> -resveratrol	1.90 ± 0.02 ^G	< LOD	< LOD	ND	
		Flavanols	Catechin	34.00 ± 0.04 ^{bE}	21.40 ± 0.02 ^{cC}	97.70 ± 0.03 ^{aE}	49.58 ± 0.29 ^F
	Epicatechin gallate		4.30 ± 0.03 ^C	< LOD	< LOD	ND	
	Epigallocatechin gallate		4.00 ± 0.05 ^B	< LOD	< LOD	ND	
	Procyanidin B1		5.00 ± 0.01 ^{ab}	< LOD	2.20 ± 0.04 ^{bc}	ND	
	Procyanidin B2		4.40 ± 0.02 ^{aF}	2.40 ± 0.01 ^{aAB}	9.60 ± 0.02 ^{ab}	43.23 ± 1.41 ^B	
	Flavanones		Hesperidin	7.80 ± 0.04 ^F	< LOD	< LOD	ND
		Naringenin	7.50 ± 0.03 ^C	< LOD	< LOD	ND	
	Flavonols	Quercetin 3-Glucoside	4.60 ± 0.05 ^{aE}	1.20 ± 0.03 ^{ca}	3.30 ± 0.01 ^{bd}	ND	
		Rutin	4.30 ± 0.02 ^{aF}	0.70 ± 0.04 ^{ab}	3.70 ± 0.02 ^{aE}	0.64 ± 0.34 ^C	
		Kaempferol 3-glucoside	15.90 ± 0.04 ^{aC}	0.50 ± 0.02 ^{bc}	3.40 ± 0.03 ^{aE}	11.90 ± 2.24 ^{aA}	
		Myricetin	4.10 ± 0.03 ^G	< LOD	< LOD	ND	
Cosmos	Phenolic acids	Caftaric acid	45.60 ± 0.01 ^{aA}	4.80 ± 0.01 ^{cb}	40.30 ± 0.02 ^{ba}	5.92 ± 0.10 ^D	
		Gallic acid	< LOD	0.90 ± 0.01 ^{bb}	10.30 ± 0.02 ^{ab}	90.00 ± 0.01 ^C	
		Chlorogenic acid	52.90 ± 0.02 ^B	< LOD	< LOD	ND	
		Syringic acid	2.30 ± 0.03 ^{ab}	0.30 ± 0.02 ^{ba}	1.90 ± 0.04 ^a	30.00 ± 0.02 ^A	
	Stilbenes	<i>cis</i> -resveratrol	48.00 ± 0.02 ^B	< LOD	< LOD	ND	
		<i>trans</i> -resveratrol	27.50 ± 0.01 ^B	< LOD	< LOD	ND	
	Anthocyanin	Delphinidin 3-glucoside	1.30 ± 0.01 ^B	< LOD	< LOD	ND	
	Flavanols	Catechin	57.30 ± 0.02 ^{bb}	10.80 ± 0.02 ^{cf}	85.10 ± 0.04 ^{aF}	172.5 ± 0.02 ^B	
		Epicatechin	1.70 ± 0.04 ^{aA}	0.20 ± 0.01 ^b	0.90 ± 0.03 ^b	20.00 ± 0.01	
		Epicatechin gallate	8.80 ± 0.05 ^B	< LOD	< LOD	ND	
		Procyanidin B1	3.00 ± 0.04 ^{acd}	< LOD	2.20 ± 0.01 ^{bc}	ND	
		Procyanidin B2	7.10 ± 0.03 ^{aE}	1.00 ± 0.02 ^{bc}	8.50 ± 0.05 ^{aE}	0.75 ± 0.13 ^F	
		Procyanidin A2	43.00 ± 0.01 ^A	< LOD	< LOD	ND	
	Flavanones	Hesperidin	43.10 ± 0.03 ^D	< LOD	< LOD	ND	
		Naringenin	7.10 ± 0.02 ^C	< LOD	< LOD	ND	
	Flavonols	Quercetin 3-Glucoside	< LOD	0.70 ± 0.03 ^{ba}	11.50 ± 0.02 ^{aA}	70.00 ± 0.03 ^A	
		Rutin	61.40 ± 0.05 ^B	< LOD	< LOD	ND	
		Kaempferol 3-glucoside	4.90 ± 0.02 ^{bF}	1.50 ± 0.01 ^{ca}	9.10 ± 0.03 ^{abc}	1.48 ± 0.11 ^B	
		Myricetin	50.20 ± 0.04 ^{bE}	2.30 ± 0.02 ^{cd}	57.30 ± 0.01 ^{aC}	2.30 ± 0.16 ^B	
		Cravine	Phenolic acids	Caftaric acid	44.60 ± 0.03 ^{aA}	8.30 ± 0.03 ^{ca}	35.60 ± 0.01 ^{bb}
	Gallic acid			< LOD	1.00 ± 0.04 ^{bb}	7.90 ± 0.02 ^{bc}	100.00 ± 0.04 ^B
	Chlorogenic acid			65.00 ± 0.04 ^{aA}	2.20 ± 0.02 ^{bb}	5.90 ± 0.04 ^{bb}	4.71 ± 0.46 ^{AB}
	Caffeic acid			4.20 ± 0.05	< LOD	< LOD	ND
Stilbenes	<i>cis</i> -resveratrol		42.30 ± 0.04 ^{aC}	< LOD	4.90 ± 0.03 ^{bd}	ND	
	<i>trans</i> -resveratrol		17.70 ± 0.03 ^{bc}	2.40 ± 0.03 ^{ba}	13.50 ± 0.01 ^{aC}	9.30 ± 0.84 ^A	
Anthocyanin	Malvidin 3-glucoside		2,303.10 ± 0.01 ^a	8.20 ± 0.01 ^c	11.40 ± 0.02 ^b	0.36 ± 0.00	
Flavanols	Catechin		44.80 ± 0.02 ^{bd}	28.60 ± 0.04 ^{cb}	117.90 ± 0.03 ^{aC}	64.14 ± 0.54 ^E	
	Epicatechin gallate		< LOD	1.60 ± 0.02 ^{ba}	5.50 ± 0.02 ^{aA}	160.00 ± 0.02 ^A	
	Epigallocatechin gallate		5.60 ± 0.05 ^{aA}	1.20 ± 0.05 ^c	3.10 ± 0.03 ^b	120.00 ± 0.02	
	Procyanidin B1		6.10 ± 0.02 ^{aA}	1.30 ± 0.02 ^{aA}	4.90 ± 0.01 ^{aA}	58.67 ± 5.59 ^A	
	Procyanidin B2		22.20 ± 0.03 ^{aA}	2.80 ± 0.03 ^{ba}	10.60 ± 0.02 ^{abc}	24.35 ± 0.99 ^C	
	Procyanidin A2		16.30 ± 0.06 ^B	< LOD	< LOD	ND	
	Hesperidin		599.40 ± 0.03 ^{aA}	63.40 ± 0.01 ^{ca}	338.20 ± 0.03 ^{ba}	11.23 ± 0.02 ^A	
Flavonols	Quercetin 3-Glucoside		< LOD	< LOD	5.10 ± 0.01 ^C	ND	
	Rutin		401.30 ± 0.01 ^{aA}	50.60 ± 0.03 ^{ca}	270.20 ± 0.04 ^{ba}	14.46 ± 0.08 ^A	
	Myricetin		342.80 ± 0.03 ^{aC}	37.10 ± 0.01 ^{ca}	249.40 ± 0.02 ^{bb}	16.83 ± 0.02 ^A	

Values are expressed as the mean ± standard deviation in µg/g (dry basis). < LOD: below detection limit. ND: not detected; Different superscript capital letters in the same column for the same compound denote difference (p < 0.05) among the samples, based on Tukey test. Different superscript lowercase letters in the same row denote difference (p < 0.05) among the digestive phases for the same sample, based on Tukey's test.

Tabella 4 (De Morais et al.,2020)

I fenolici come le procianidine e l'epicatechina gallato possono essere convertiti in epicatechina, che è più stabile in condizioni acide, mentre l'acido gallico può essere rilasciato dalle catechine galloilate (ad esempio, epigallocatechina gallato ed epicatechina gallato) (Liang, Wu, Yang, Hu e Chen, 2016). Secondo Barba et al. (2017), l'aumento di alcuni fenolici dopo l'esposizione a condizioni gastriche è anche correlato al rilascio di composti fenolici legati ad altri componenti della matrice vegetale. La trasformazione promossa dall'esposizione a condizioni acide dovrebbe essere considerata perché i fenolici possono trasformarsi in diverse forme strutturali che possono essere identificate o meno.

La più alta ($p < 0,5$) bioaccessibilità della catechina è stata osservata nella torenia (~ 176%; Tabella 4). È interessante notare che nella mini rose, che presentava il contenuto più alto di questo flavanolo prima della digestione in vitro, la catechina mostrava la bioaccessibilità più bassa (~5%); negli altri fiori la bioaccessibilità di questo composto variava da ~ 172 a 50% (Tabella 4; $p < 0,05$). Le catechine sono polifenoli polioidrossilati che si trovano comunemente nei vegetali e ben noti per le loro attività biologiche, tuttavia uno degli svantaggi significativi delle catechine è la loro instabilità. Questi composti sono facilmente ossidabili, a causa della perdita di atomi di idrogeno in soluzione e non sono stabili in condizioni alcaline e neutre (Mochizuki, Yamazaki, Kano e Ikeda, 2002). Il flavanolo procianidina B2 ha presentato la bioaccessibilità più bassa ($p < 0,05$) nel cosmo (0,745%) e, nella miniera, rosa e torenia (~2%; Tabella 4). La più alta bioaccessibilità ($p < 0,05$) della procianidina B2 è stata osservata nella clitoria (~57%). Tra gli altri fiori la bioaccessibilità della procianidina B2 variava dal 43% al 4%. Inoltre, la più alta bioaccessibilità della procianidina B1 è stata osservata nella cravina (~58%) e nella torenia (~38%). Questo stesso composto non era bioaccessibile nel tagete e nel cosmo. In mini rose, clitoria e mini daisy la bioaccessibilità della procianidina B1 era compresa tra il 12% e il 29% circa. Il flavanolo epicatechina gallato era bioaccessibile in cravina (160%) e torenia (130%), mentre la bioaccessibilità dell'epigallocatechina gallato è stata osservata solo in cravina (120%). Le procianidine sono costituite da catechina ed epicatechina e solo i monomeri e le procianidine oligomeriche più piccole attraversano la barriera intestinale e possono essere assorbite (Rauf et al., 2019). L'esposizione a condizioni acide e alcaline durante condizioni gastrointestinali simulate idrolizza i legami che uniscono questi composti, aumentando così il loro contenuto nella frazione intestinale. Gli studi hanno attribuito l'elevata bioaccessibilità delle catechine nei frutti a seguito dell'idrolisi dei composti polimerizzati (Dantas et al., 2019, Mosele et al., 2016).

Ciò potrebbe spiegare la maggiore bioaccessibilità della catechina nei fiori contenenti un contenuto inferiore di questo flavanolo.

Nel complesso, la struttura della matrice vegetale e le frazioni di gallato leganti dei flavanoli al materiale della parete cellulare vegetale influenzano notevolmente la bioaccessibilità di questi composti (Oliveira et al., 2020, Wang et al., 2013). Di conseguenza, la struttura distinta del tessuto vegetale di ciascun fiore può spiegare la distinta bioaccessibilità osservata per i flavanoli. Nel loro studio, Oliveira et al. (2020) suggeriscono che il più alto contenuto di fibre nei frutti influisce sulla bioaccessibilità dei flavanoli perché le fibre creano pori nella loro struttura dove i composti fenolici possono penetrare. Un altro fattore che influenza la bioaccessibilità di alcuni acidi fenolici è legato ai loro riarrangiamenti chimici (Dutra et al., 2017).

Gli antociani corrispondevano al gruppo fenolico con la bioaccessibilità più bassa tra quelle identificate nei fiori studiati. Le antocianine pelargonidina 3,5-diglicoside e malvidina 3-glucoside, rilevate rispettivamente solo nella mini rosa e nella cravina, hanno mostrato una bassa bioaccessibilità (inferiore allo 0,6%). Gli antociani sono instabili in condizioni intestinali gastriche e alcaline (Peixoto et al., 2016). Uno studio precedente ha riportato che l'esposizione a condizioni di digestione in vitro provoca una significativa riduzione degli antociani e osservata la bioaccessibilità di questi fenolici solo nel mirtillo e nel lampone tra cinque frutti dal rosso al viola (Dantas et al., 2019).

Anche la bioaccessibilità dei flavonoli variava tra i fiori analizzati. La più alta ($p < 0,05$) bioaccessibilità dei flavonoli rutina e miricetina, rispettivamente ~17 e 14%, è stata osservata nella cravina. Nel cosmo, nella mini margherita, nella clitoria, nella torenia e nella begonia, la bioaccessibilità della miricetina era inferiore ($p < 0,05$) rispetto a quella della cravina, con un range compreso tra ~ 2 e 0,5% (Tabella 4). Allo stesso modo, la rutina ha mostrato una bioaccessibilità inferiore in clitoria, mini margherita, tagete e torenia rispetto alla cravina, variando dall'11% allo 0,3%. La più alta bioaccessibilità ($p < 0,05$) osservata per kaempferol 3-glucoside era di circa l'11% in tagete. In mini rose, mini daisy e begonia, la bioaccessibilità di questo flavonolo era vicina al 2% e anche inferiore ($p < 0,05$) nella torenia (0,35%). Il flavonolo quercetina 3-glucoside era bioaccessibile solo nel cosmo (70%), nella begonia (~3,7%) e nella mini rosa (~1,7%). La bioaccessibilità varia dei flavonoli è stata precedentemente segnalata nel succo di frutta miscelato (40% arancia, 33% kiwi, 13,5% ananas e 13,5% mango) da Rodríguez-Roque, Rojas-Graü, Elez-Martínez e Martín-Belloso (2014).

Tuttavia, diversamente da quanto osservato qui, la quercetina è stata citata tra i flavonoli più bioaccessibili nello studio di questi ricercatori, mostrando l'impatto della matrice incorporata.

Questa differenza può essere correlata a un rilascio incompleto di quercetina da altri componenti (es. fibre) nella matrice, con una conseguente diminuzione della capacità di passare attraverso la membrana simulata (Barba et al., 2017, Dantas et al., 2019). I flavonoli potrebbero legarsi a proteine o fibre nella matrice attraverso legami idrogeno, legami covalenti o interazioni idrofobiche (Dantas et al., 2019). Durante l'esposizione a condizioni gastriche e intestinali (pH ed enzimi), la solubilità di questi composti può cambiare, con un impatto sulla bioaccessibilità (Lucas-Gonzales, Navarro-Coves, Pérez-Álvarez e Fernández-López, 2016).

I flavanoni hanno mostrato bioaccessibilità solo in cravine, mini rose, mini daisy e clitoria, in un intervallo compreso tra ~ 11 e ~ 1,5%. L'esperidina ha mostrato la bioaccessibilità più alta ($p < 0,05$) nella cravina (~ 11%). In mini margherita, mini rosa e clitoria, la bioaccessibilità di questo flavanone è sempre stata inferiore al 7% (Tabella 4). In questi tre fiori, anche il flavanone narigenina ha mostrato una bassa bioaccessibilità, che varia da ~1,6 a 0,35%. Il verificarsi di cambiamenti chimici promossi da ambienti acidi o alcalini durante la digestione, così come l'azione degli enzimi digestivi su proteine e carboidrati possono aiutare il rilascio di flavanoni (Lingua, Wunderlin e Baroni, 2018).

La bioaccessibilità degli acidi fenolici variava con l'acido e tra i fiori. L'acido caftarico ha mostrato la bioaccessibilità più alta ($p < 0,05$) nella begonia (~110%), seguita da clitoria (~20%) e cravina (~15%). In mini margherita, cosmo e torenia, la bioaccessibilità di questo acido fenolico variava da ~7 a ~4%. L'acido clorogenico ha mostrato la più alta bioaccessibilità in mini daisy (360%), circa il 5% in torenia, 3,5% in mini rose e 4,7% in cravine. L'acido siringico era bioaccessibile solo in mini rose (6,6%) e cosmo (30,00%). L'acido gallico ha mostrato la bioaccessibilità più alta ($p < 0,05$) tra tutti i fenolici rilevati in tutti i fiori. Questa massima bioaccessibilità è stata osservata nella torenia (220%). Nella clitoria e nella cravina la bioaccessibilità di questo acido fenolico era del 100% e nel cosmo del 90% (Tabella 4). Tuttavia, questo acido fenolico non era bioaccessibile in begonia, mini rose, mini daisy e tagete. L'elevata bioaccessibilità dell'acido clorogenico e gallico osservata nel presente studio è stata precedentemente osservata nei fiori di *Hypericum perforatum* L., (ibitipoca), che presentavano una bioaccessibilità rispettivamente del 303,08 e del 185,81% per l'acido clorogenico e gallico (Celep, İnan, Akyüz, & Yesilada, 2017).

Nel complesso, la distinta bioaccessibilità di alcuni composti nei fiori qui osservata può essere correlata ai cambiamenti nella struttura dei composti fenolici durante la digestione in vitro per ossidazione o degradazione, nonché alla loro distribuzione nel tessuto vegetale (Rodríguez-Roque et al., 2014, Schulz et al., 2017).

Probabilmente, la struttura distinta formata da pectina, cellulosa ed emicellulosa nel tessuto vegetale dei fiori studiati era correlata alla grande variazione nella bioaccessibilità di sostanze fenoliche come i flavanoni e gli acidi fenolici (Rodríguez-Roque et al., 2014).

Tra gli stilbeni rilevati, il cis-resveratrolo ha mostrato la bioaccessibilità più alta ($p < 0,05$) nella begonia (~14%). In clitoria e mini daisy la bioaccessibilità di questo composto era rispettivamente del 2,3% e dello 0,65% circa (Tabella 4). Mentre, il trans-resveratrolo ha mostrato la più alta bioaccessibilità ($p < 0,05$) nella cravina (~ 9%) ed era anche bioaccessibile nella clitoria (~ 3,3%) (Tabella 3). La più alta bioaccessibilità della forma cis- rispetto al trans-resveratrolo nei fiori è spiegata dall'instabilità del trans-resveratrolo in condizioni ambientali e all'interno dell'apparato digerente che porta alla sua isomerizzazione a cis-resveratrolo (Koga, Andrade, Ferruzzi e Lee, 2016). Il resveratrolo è stato descritto come un fenolico a bassa bioaccessibilità.

I composti che sono stati descritti come i più bioaccessibili nei frutti (ad es. catechina, miricetina, esperidina, procianidine e rutina) (Dantas et al., 2019, Schulz et al., 2017) sono stati rilevati in quantità elevate nella frazione non dializzata dei fiori commestibili analizzati. Si tratta di risultati interessanti perché i composti non in grado di attraversare la barriera intestinale simulata (cioè non rilevati nella frazione non dializzata) non sarebbero disponibili per l'assorbimento, quindi raggiungeranno il colon "trasportati" o meno dalle fibre. Una volta nel colon, possono essere metabolizzati dai batteri del colon promuovendo distinti benefici per l'ospite (Jakobek e Matić, 2019).

In conclusione, mini rose, torenia, mini daisy, clitoria, cosmo, cravine, begonia e tagete possiedono nella loro composizione acidi fenolici, stilbeni, flavanolo, antocianine, flavonolo e flavanone, tuttavia i composti fenolici, così come il contenuto dello stesso composto variano ampiamente tra questi fiori. La bioaccessibilità varia tra i fenolici e all'interno della fonte del fiore. Cosmos e tagete presentavano rispettivamente il contenuto più alto e più basso di fenolici prima della digestione in vitro.

Nonostante la limitazione di uno studio in vitro, i nostri risultati mostrano che i fiori commestibili studiati sono una fonte di distinti fenolici che possono essere presumibilmente disponibili per l'assorbimento o il metabolismo del colon. In particolare cosmo e mini rose potrebbero essere suggerite come fonti di fenolici bioaccessibili con grande attività antiossidante.

6 TOSSICITA'

Sono stati forniti alcuni rapporti per gli allergeni alimentari in cui il consumo di fiori provoca malattie e allergie. A parte molti fiori commestibili sicuri e nutrienti, ce ne sono pochi che non sono considerati sicuri per il consumo. Pertanto, è necessaria l'identificazione di ogni varietà di fiori commestibili aperti al consumo. Secondo le ricerche esaminate, è sconsigliato consumare o guarnire con fiori acquistati da garden center, fioristi o vivai perché ci sono altissime possibilità che vengano trattati con pesticidi e contengano naturalmente tossine nocive. Ci sono possibilità molto alte che le persone subiscano condizioni come l'asma, il raffreddore da fieno, le allergie e possano persino portare alla morte se consumate.

Alcuni fiori commestibili provengono da piante selvatiche, raccolte da popolamenti selvatici (Kumar et al, 2018). La contaminazione dei fiori con parenti simili ma velenosi che crescono nelle vicinanze non è quindi improbabile.

I composti pericolosi possono provenire dalla pianta o dai diversi livelli della catena alimentare. I due gruppi più importanti di impurità esterne che si verificano nei fiori commestibili sono batteri e composti chimici. I batteri pericolosi possono provenire sia dalla produzione agricola che dalla catena alimentare, mentre le fonti delle impurità chimiche sono principalmente la produzione agricola e l'ambiente. I requisiti di sicurezza e le linee guida pertinenti sono scarsi (Matyjaszczyk e Śmiechowska, 2019).

È stato anche riferito che, nonostante siano ricchi pigmenti, sostanze nutritive e benefici per la salute, alcuni fiori commestibili (ad es. *Connavariamajalis*, *Anemone ranunculoides* ecc.) sono associati alla presenza di alcuni composti chimici nocivi e agenti patogeni, come dimetoato, solfiti e Salmonella. I fiori commestibili che sono consumabili sono classificati in piante ornamentali come calendula, begonia, daylilies, caprifoglio e ibisco. Oltre alle piante ornamentali, ci sono fiori fruttati che sono consumabili come fiori di banana, fiori di agrumi, vari fiori di erbe e fiori vegetali (Ebert, 2013). Pertanto, sono necessarie adeguate tecniche di identificazione e lavorazione dei fiori commestibili, al fine di consumarli.

Infatti fiori per il consumo non dovrebbero mai essere acquistati dai negozi di fiori ornamentali perché è stato segnalato che sono ricchi di erbicidi, fertilizzanti e pesticidi e provengono da cultivar non testate.

In tutto il mondo molti fiori sono commestibili ma non esiste una certa regola o divisione da parte degli organi di governo per classificarli. Alcuni dei fiori sono velenosi principalmente per la presenza di dimetoato, solfito e microrganismi patogeni principalmente *Salmonella* spp identificati dal Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF).

La presenza di alcuni composti in parti vegetali, come acido cianidrico, acido erucico, cumarina e tujone, devono seguire una tabella di valori guida fissata dall'EFSA o dal JECFA, che contempla la dose giornaliera tollerabile o la dose giornaliera accettabile di questi composti, che determinerà gli effetti tossici delle parti vegetali.

Secondo il regolamento europeo (CE) n. 258/97, non ci sono requisiti legali per la commercializzazione dei fiori commestibili. Ma nessuna legge ufficiale in materia di sicurezza alimentare e protezione non è stata data da alcun organismo internazionale. Inoltre, la maggior parte degli studi ha rivelato che i fiori commestibili non erano tossici a un dosaggio appropriato, il che quindi contrassegna questo come un problema discusso tra scienziati e ricercatori.

7. CONCLUSIONE

I fiori commestibili sono sempre più utilizzati per colorare e migliorare l'aspetto visivo di vari piatti, avendo particolare interesse per la cucina e per l'industria alimentare. Stanno ricevendo sempre più attenzione da parte dei consumatori alla ricerca di alternative più attraenti e più salutari, con un minor impatto ambientale in termini di produzione e lavorazione. I fiori commestibili, inoltre, sono apprezzati anche per le loro caratteristiche nutrizionali, essendo una fonte di fibre o addirittura proteine, con un contenuto lipidico molto basso, soddisfacendo quindi diverse esigenze dietetiche tra cui vegetariane e vegane.

Inoltre possono essere ricercati anche come fonte naturale di composti bioattivi, come i composti fenolici, che possono svolgere un ruolo importante nella promozione della salute e prevenzione delle malattie. Tra questi, i flavonoidi e gli antociani, sono al centro dell'industria farmaceutica e alimentare per i loro presunti effetti salutari e come nuove promettenti molecole coloranti, che possono sostituire le controparti artificiali.

Oltre all'attività antiossidante, la letteratura ha dimostrato che questi fiori hanno una miriade di importanti attività biologiche come antitumorale, antidiabetico, antinfiammatorio, antimicrobico, gastroprotettivo, che vanno ben oltre i vantaggi nutrizionali.

Esistono numerose specie di piante in tutto il mondo i cui fiori possono essere utilizzati con scopi commestibili e solo una piccola parte di esse è stata esplorata. Sono quindi necessari ulteriori studi, in modo che possano essere utilizzati in modo sicuro e con totale efficienza.

8. BIBLIOGRAFIA

- Ađalar, H. G. (2019). Elderberry (*Sambucus nigra* L.). Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements (pp. 211–215). Academic Press.
- Alzoreky, N.S., Nakahara, K., 2003. Antibacterial activity of extracts from some edible plants commonly consumed in Asia. *Int. J. Food Microbiol.* 80 (3), 223–230.
- Barba, F. J., Mariutti, L. R. B., Bragagnolo, N., Mercadante, A. Z., Barbosa-Cánovas, G. V., & Orlie, V. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. *Trends in Food Science and Technology*, 67, 195–206.
- Basso, C., Papalia, J., 2014. Aceitabilidade de flores comestíveis. *Revista da Associação Brasileira de Nutrição* 6, 1391–1392.
- Birks, J. S., & Harvey, R. J. (2018). Donepezil for dementia due to Alzheimer's disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 6.
- Butts-Wilmsmeyer, C. J., Mumm, R. H., Rausch, K. D., Kandhola, G., Yana, N. A., Happ, M. M., et al. (2018). Changes in phenolic acid content in maize during food product processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(13), 3378–3385.
- Celep, E., İnan, Y., Akyüz, S., & Yesilada, E. (2017). The bioaccessible phenolic profile and antioxidant potential of *Hypericum perforatum* L. after simulated human digestion. *Industrial Crops and Products*, 109(April), 717–723.
- Chehregani, A., Azimishad, F., Alizade, H.H., 2007. Study on antibacterial effect of some allium species from Hamedan-Iran. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 9 (6), 873–876.
- Chensom, S., Okumura, H., Mishima, T., 2019. Primary Screening of Antioxidant Activity, Total Polyphenol Content, Carotenoid Content, and Nutritional Composition of 13 Edible Flowers from Japan. *Preventive Nutrition and Food Sci.* 24 (2), 171.
- Chensom, S., Okumura, H., & Mishima, T. (2019). Primary screening of antioxidant activity, total polyphenol content, carotenoid content, and nutritional composition of 13 edible flowers from Japan. *Preventive Nutrition and Food Science*, 24(2), 171–178.
- China, R., Mukherjee, S., Sen, S., Bose, S., Datta, S., Koley, H., Ghosh, S., Dhar, P., 2012. Antimicrobial activity of *Sesbania grandiflora* flower polyphenol extracts on some pathogenic bacteria and growth stimulatory effect on the probiotic organism *Lactobacillus acidophilus*. *Microbiol. Res.* 167 (8), 500–506.

- Dantas, A. M., Mafaldo, I. M., Oliveira, P. M. de L., Lima, M. dos S., Magnani, M., & Borges, G. da S. C. (2019). Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. *Food Chemistry*, 274, 202–214.
- Dias, M. I., Carochó, M., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Flavonoids in legumes. *Food chemistry, function and analysis* (pp. 49–83).
- Dutra, R. L. T., Dantas, A. M., Marques, D. de A., Batista, J. D. F., Meireles, B. R. L. de A., de Magalhães Cordeiro, Â. M. T., Magnani, M & Borges, G. da S. C. (2017). Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*, 100, 650–657.
- Ebert, A.W., 2013. Sprouts, microgreens, and edible flowers: the potential for high value specialty produce in Asia. *SEAVEG 2012: High Value Vegetables in Southeast Asia: Production, Supply and Demand* 216–227.
- FAOSTAT, 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division (FAOSTAT).
- Fernandes, I., Marques, C., Évora, A., Faria, A., Mateus, N., & Freitas, V. De (2019). Anthocyanins: Nutrition and health. In K. G. R. J. M. Mérillon (Ed.). *Bioactive molecules in foods* (pp. 1097–1133). Springer Nature Switzerland.
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J.A., Saraiva, J.A., Ramalhosa, E., 2019. An Overview on the Market of Edible Flowers. *Food Rev. Int.* 1–18.
- Fernandes, L., Ramalhosa, E., Pereira, J.A., Saraiva, J.A., Casal, S., 2018b. The unexplored potential of edible flowers lipids. *Agriculture* 8 (10), 146.
- Fernandes, L., Saraiva, J. A., Pereira, J. A., Casal, S., & Ramalhosa, E. (2019). Post-harvest technologies applied to edible flowers: A review: Edible flowers preservation. *Food Reviews International*, 35(2), 132–154.
- Gostin, A. I., & Waisundara, V. Y. (2019). Edible flowers as functional food: A review on artichoke (*Cynara cardunculus* L.). *Trends in Food Science & Technology*, 86, 381–391.
- Hidalgo, G.-I., & Almajano, M. P. (2017). Red fruits: Extraction of antioxidants, phenolic content, and radical scavenging determination: A review. *Antioxidants*, 6(7), 1–27.
- Hirulkar, N.B., Agrawal, M., 2010. Antimicrobial activity of rose petals extract against some pathogenic bacteria. *Int. J. Pharm. Biol. Arch.* 1 (5), 478–484.

- Hostetler, G. L., Ralston, R. A., & Schwartz, S. J. (2017). Flavones: Food sources, bioavailability, metabolism, and bioactivity. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 8(3), 423–435.
- Hsu, W.-Y., Simonne, A., Weissman, A., Kim, J.-M., 2010. Antimicrobial activity of greater galangal [*Alpinia galanga* (Linn.) Swartz.] flowers. *Food Sci. Biotechnol.* 19 (4), 873–880.
- Jakobek, L., & Matić, P. (2019). Non-covalent dietary fiber -Polyphenol interactions and their influence on polyphenol bioaccessibility. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 235–247.
- Katisart, T., & Konsue, A. (2019). Acute toxicity of flower extracts from *Dolichandrone serrulata* in mice. *Pharmacognosy Research*, 11(3), 230.
- Kaur, G., Alam, M.S., Jabbar, Z., Javed, K., Athar, M, 2006. Evaluation of antioxidant activity of *Cassia siamea* flowers. *J. Ethnopharmacol.* 108 (3), 340–348.
- Kelley, K.M., Behe, B.K., Biernbaum, J.A., Poff, K.L., 2001a. Consumer preference for edible flower color, container size, and price. *HortScience* 36 (4), 801–804.
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1361779.
- Koga, C. C., Andrade, J. E., Ferruzzi, M. G., & Lee, Y. (2016). Stability of trans-resveratrol encapsulated in a protein matrix produced using spray drying to UV light stress and simulated gastro-intestinal digestion. *Journal of Food Science*, 81, C292–C300.
- Koike, A., Barreira, J. C. M., Barros, L., Santos-Buelga, C., Villavicencio, A. L. C. H., & Ferreira, I. C. F. R. (2015a). Edible flowers of *Viola tricolor* L. as a new functional food: Antioxidant activity, individual phenolics and effects of gamma and electron- beam irradiation. *Food Chemistry*, 179, 6–14.
- Krasaekoopt, W., Kongkarnchanatip, A., 2005. Anti-microbial properties of Thai traditional flower vegetable extracts. *AU J. Technol.* 9 (2), 71–74.
- Ksouri, R., Falleh, H., Megdiche, W., Trabelsi, N., Mhamdi, B., Chaieb, K., Bakrouf, A., Magné, C., Abdelly, C., 2009. Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *Tamarix gallica* L. and related polyphenolic constituents. *Food Chem. Toxicol.* 47 (8), 2083–2091.
- Kucekova, Z., Mlcek, J., Humpolicek, P., & Rop, O. (2013). Edible flowers—antioxidant activity and impact on cell viability. *Central European Journal of Biology*, 8(10), 1023–1031.

- Kumar, A., Maurya, A.K., Chand, G., Agnihotri, V.K., 2018. Comparative metabolic profiling of *Costus speciosus* leaves and rhizomes using NMR, GC-MS and UPLC/ESI-MS/MS. *Nat. Prod. Res.* 32 (7), 826–833.
- Li, A., Li, S., Li, H., Xu, D., Xu, X., Chen, F., 2014. Total phenolic contents and antioxidant capacities of 51 edible and wild flowers. *J. Funct. Foods* 6, 319–330.
- Li, D., Wang, P., Luo, Y., Zhao, M., & Chen, F. (2017). Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1729–1741.
- Li, L., & Sun, B. (2017). Grape and wine polymeric polyphenols: Their importance in enology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(4), 563–579.
- Liang, J. Y., Wu, J. Y., Yang, M. Y., Hu, A., & Chen, L. Y. (2016). Photo-catalytic polymerization of catechin molecules in alkaline aqueous. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 165, 115–120.
- Lingua, M. S., Wunderlin, D. A., & Baroni, M. V. (2018). Effect of simulated digestion on the phenolic components of red grapes and their corresponding wines. *Journal of Functional Foods*, 44, 86–94.
- Lu, B., Li, M., Yin, R., 2016. Phytochemical content, health benefits, and toxicology of common edible flowers, a review (2000–2015). *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 56 (Suppl 1), 130–148.
- Lucas-Gonzales, R., Navarro-Coves, S., Pérez-Álvarez, J. A., Fernández-López, Muños, L. A., Viuda-Martos, M. (2016). Assessment of polyphenolic profile stability and changes in the antioxidant potential of maqui berry (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) during in vitro gastrointestinal digestion. *Industrial Crops and Products*, 94, 774-782. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.057>.
- Mak, Y.W., Chuah, L.O., Ahmad, R., Bhat, R., 2013. Antioxidant and antibacterial activities of hibiscus (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) and Cassia (*Senna bicapsularis* L.) flower extracts. *J. King Saud Univ. –Sci.* 25 (4), 275–282.
- Mao, L.-C., Pan, X., Que, F., Fang, X.-H., 2006. Antioxidant properties of water and ethanol extracts from hot air-dried and freeze-dried daylily flowers. *Eur. Food Res. Technol.* 222 (33), 236–241.
- Matyjaszczyk, E., Śmiechowska, M., 2019. Edible flowers. Benefits and risks pertaining to their consumption. *Trends Food Sci. Technol.* 91, 670–674.

- Meurer, M. C., Mees, M., Mariano, L. N. B., Boeing, T., Somensi, L. B., Mariott, M., ... de Souza, P. (2019). Hydroalcoholic extract of *Tagetes erecta* L. flowers, rich in the carotenoid lutein, attenuates inflammatory cytokine secretion and improves the oxidative stress in an animal model of ulcerative colitis. *Nutrition Research*, 66, 95–106
- Mlcek, J., & Rop, O. (2011). Fresh edible flowers of ornamental plants – A new source of nutraceutical foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 561–569.
- Mlcek, J., Rop, O., 2011. Fresh edible flowers of ornamental plants – a new source of nutraceutical foods. *Trends Food Sci. Technol.* 22 (10), 561–569.
- Młynarczyk, K., Walkowiak-Tomczak, D., & Łysiak, G. P. (2018). Bioactive properties of *Sambucus nigra* L. as a functional ingredient for food and pharmaceutical industry. *Journal of Functional Foods*, 40, 377–390.
- Mochizuki, M., Yamazaki, S., Kano, K., & Ikeda, T. (2002). Kinetic analysis and mechanistic aspects of autoxidation of catechins. *Biochemical and Biophysical Acta*, 1569, 35–44.
- Moliner, C., Barros, L., Dias, M. I., Reigada, I., Ferreira, I. C. F. R., Lopez, V., ... Rincon, C. G. (2019). *Viola cornuta* and *Viola x wittrockiana*: Phenolic compounds, antioxidant and neuroprotective activities on *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Food and Drugs Analysis*, 27, 849–859.
- Morittu, V. M., Musco, N., Mastellone, V., Bonesi, M., Britti, D., Infascelli, F., ... Lombardi, P. (2019). In vitro and in vivo studies of *Cucurbita pepo* L. flowers: Chemical profile and bioactivity. *Natural Product Research*, 1–5.
- Mosele, J. I., Macià, A., Romero, M., & Moltiva, M. (2016). Stability and metabolism of *Arbutus unedo* bioactive compounds (phenolics and antioxidants) under in vitro digestion and colonic fermentation. *Food Chemistry*, 201, 120–130.
- Najjaa, H., Zerria, K., Fattouch, S., Ammar, E., Neffati, M., 2011. Antioxidant and antimicrobial activities of *Allium roseum* L. Lazoul, a wild edible endemic species in North Africa. *Int. J. Food Prop.* 14 (2), 371–380.
- Nguyen, C., Baskaran, K., Pupulin, A., Ruvinov, I., Zaitoon, O., Grewal, S., ... Pandey, S. (2019). Hibiscus flower extract selectively induces apoptosis in breast cancer cells and positively interacts with common chemotherapeutics. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 19(1), 98.

- Nowak, R., Olech, M., Pecio, L., Oleszek, W., Los, R., Malm, A., Rzymowska, J., 2014. Cytotoxic, antioxidant, antimicrobial properties and chemical composition of rose petals. *J. Sci. Food Agric.* 94 (3), 560–567.
- Nowicka, P., & Wojdyło, A. (2019). Anti-hyperglycemic and anticholinergic effects of natural antioxidant contents in edible flowers. *Antioxidants*, 8(8), 308.
- Nowicka, P., & Wojdyło, A. (2019). Anti-hyperglycemic and anticholinergic effects of natural antioxidant contents in edible flowers. *Antioxidants*, 8(8), 308.
- Oliveira, P. M. de L., Dantas, A. M., Morais, A. R. dos S., Gibbert, L., Kruger, C. C. H., Lima, M. dos S., Magnani, M & Borges, G. da S. C. (2020). Juá fruit (*Ziziphus joazeiro*) from Caatinga: a source of dietary fiber and bioaccessible flavanols. *Food Research International*, 129, 108745.
- Peixoto, F. M., Fernandes, I., Gouvêa, A. C. M. S., Santiago, M. C. P. A., Borguini, R. G., Mateus, N., et al. (2016). Simulation of in vitro digestion coupled to gastric and intestinal transport models to estimate absorption of anthocyanins from peel powder of jaboticaba, jmelão and jambo fruits. *Journal of Functional Foods*, 24, 373–381.
- Peng, A., Lin, L., Zhao, M., & Sun, B. (2019). Classification of edible chrysanthemums based on phenolic profiles and mechanisms underlying the protective effects of characteristic phenolics on oxidatively damaged erythrocyte. *Food Research International*, 123, 64–74.
- Piovesana, A., Rodrigues, E., & Noreña, C. P. Z. (2019). Composition analysis of carotenoids and phenolic compounds and antioxidant activity from hibiscus calyces (*Hibiscus sabdariffa* L.) by HPLC/DAD/MS/MS. *Phytochemical Analysis*, 30(2), 208–217.
- Pires, T. C. S. P., Dias, M. I., Barros, L., Barreira, J. C. M., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Incorporation of natural colorants obtained from edible flowers in yogurts. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 97, 668–675.
- Pires, T. C., Dias, M. I., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2017). Nutritional and chemical characterization of edible petals and corresponding infusions: Valorization as new food ingredients. *Food Chemistry*, 220, 337–343.
- Pires, T. C., Dias, M. I., Barros, L., Calhelha, R. C., Alves, M. J., Oliveira, M. B. P., ... Ferreira, I. C. (2018). Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential. *Food Research International*, 105, 580–588.
- Rauf, A. I., Muhammad, A.-I., Tareq, P. S., Pan, X., Naiz, S., Sanches-Silva, A., ... Hafiz, A. R. (2019). Proanthocyanidins: A comprehensive review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 116.

- Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011, Daily Reference Intakes for vitamins and minerals (adults), Annex XIII.
- Rezende, F., Sande, D., Coelho, A. C., Oliveira, G., Boaventura, M. A., & Takahashi, J. A. (2019). Edible flowers as innovative ingredients for future food development: Anti-alzheimer, antimicrobial, and antioxidant potential. *Chemical Engineering Transactions*, 75, 337–342.
- Rocchetti, G., Bhumireddy, S. R., Giuberti, G., Mandal, R., Lucini, L., & Wishart, D. S. (2019). Edible nuts deliver polyphenols and their transformation products to the large intestine: An in vitro fermentation model combining targeted/untargeted metabolomics. *Food Research International*, 116, 786–794.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*, 7, 20–26.
- Rodríguez-Roque, M. J., Rojas-Graü, M. A., Elez-Martínez, P., & Martín-Belloso, O. (2014). In vitro bioaccessibility of health-related compounds from a blended fruit juice-soymilk beverage: Influence of the food matrix. *Journal of Functional Foods*, 7(1), 161–169.
- Rop, O., Mlcek, J., Jurikova, T., Neugebauerova, J., Vabkova, J., 2012. Edible flowers – a new promising source of mineral elements in human nutrition. *Molecules* 17 (6), 6672–6683.
- SharifSassi, A.B., Harzallah-Skhiri, F., Bourgougnon, N., Aouni, M., 2008. Antimicrobial activities of four Tunisian Chrysanthemum species. *Indian J. Med. Res.* 127 (2), 183–192.
- Schulz, M., Biluca, F. C., Gonzaga, L. V., Borges, G. da S. C., Vitali, L., Micke, G. A., de Gois, J. S., de Almeida, T. S., Borges, D. L., Miller, P. R., Costa A. C., & Fett, R. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant potential of juçara fruits (*Euterpe edulis Martius*) subjected to in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 228, 447–454.
- Shi, X.F., Chu, J.Z., Zhang, Y.F., Liu, C.Q., Yao, X.Q., 2017. Nutritional and active ingredients of medicinal chrysanthemum flower heads affected by different drying methods. *Ind. Crops Prod.* 104, 45–51.
- Skrajda, M. N. (2017). Phenolic compounds and antioxidant activity of edible flowers. *Journal of Education, Health and Sport*, 7(8), 946–956.
- Takahashi, J. A., Sande, D., da Silva Lima, G., EMoura, M. A. F., & Lima, M. T. N. S. (2019). Fungal metabolites as promising new drug leads for the treatment of Alzheimer's Disease. *Studies in Natural Products Chemistry* (pp. 1–39). Elsevier.

- Tricco, A. C., Ashoor, H. M., Soobiah, C., Rios, P., Veroniki, A. A., Hamid, J. S., ... Blondal, E. (2018). Comparative effectiveness and safety of cognitive enhancers for treating Alzheimer's disease: Systematic review and network metaanalysis. *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(1), 170–178.
- Tsai, T., Tsai, T., Chien, Y., Lee, C., Tsai, P., 2008. In vitro antimicrobial activities against cariogenic Streptococci and their antioxidant capacities, a comparative study of green tea versus different herbs. *Food Chem.* 110 (4), 859–864.
- Villavicencio, A. L., Heleno, S. A., Calhelha, R. C., Santos-Buelga, C., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2018). The influence of electron beam radiation in the nutritional value, chemical composition and bioactivities of edible flowers of *Bauhinia variegata* L. var. *candida alba* Buch. -Ham from Brazil. *Food Chemistry*, 241, 163–170.
- Wang, Y., Liu, J., Chen, F., & Zhao, G. (2013). Effects of molecular structure of polyphenols on their noncovalent interactions with oat B-glucan. *Food of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 45533–54538.
- Wu, W.-T., Mong, M., Yang, Y., Wang, Z., & Yin, M. (2018). Aqueous and ethanol extracts of daylily flower (*Hemerocallis fulva* L.) protect HUVE cells against high glucose. *Journal of Food Science*, 83(5), 1463–1469.
- Yang, H., & Shin, Y. (2017). Antioxidant compounds and activities of edible roses (*Rosa hybrida* spp.) from different cultivars grown in Korea. *Applied Biological Chemistry*, 60(2), 129–136.
- Yang, P. F., Yang, Y. N., Feng, Z. M., Jiang, J. S., & Zhang, P. C. (2019). Six new compounds from the flowers of *Chrysanthemum morifolium* and their biological activities. *Bioorganic Chemistry*, 82, 139–144.
- Yang, X., Eilerman, R.G., 1999. Pungent principal of *Alpinia galangal* (L.) Swartz and its applications. *J. Agric. Food Chem.* 47 (4), 1657–1662.
- Zheng, Y.-Z., Deng, G., Guo, R., Chen, D.-F., & Fu, Z.-M. (2019). Substituent effects on the radical scavenging activity of isoflavonoid. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(397).