

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali
e Ambiente

Corso di laurea in Scienze e tecnologie alimentari

Miglioramento della shelf-life dei prodotti frutticoli
tramite l'applicazione di "*edible coating*"

Relatore
Prof. Luca Sella

Laureando
Giovanni Guarda
Matricola n.
1221730

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Sommario

Abstract.....	3
Riassunto.....	4
Introduzione.....	5
Prodotti frutticoli.....	6
Fisiologia dei prodotti frutticoli dopo la raccolta.....	7
Tecniche di conservazione.....	9
Shelf-life.....	11
Qualità.....	12
Edible Coating: cosa sono e come funzionano.....	13
Utilizzo di Edible Coating.....	15
Rivestimenti a base di chitosano.....	17
Caso studio su fragole.....	18
Caso studio su kiwi.....	20
Gel di Aloe Vera e Aloe arborescens.....	25
Caso studio su pesche e prugne.....	25
Gomma arabica.....	28
Vantaggi e svantaggi dell'applicazione.....	30
Rivestimenti commestibili a base di pectina su arance tarocco con lievito di biocontrollo.....	31
Vantaggi e svantaggi applicazione.....	34
Zeina come rivestimento commestibile abbinata ad oli essenziali in meloni.....	35
Vantaggi e svantaggi nell'utilizzo di oli essenziali.....	36
Conclusioni.....	37
Bibliografia.....	38

Abstract

The demographic increase and the change in the rhythms and lifestyles of modern society have seen an increasingly globalized market as well as the development of new dynamics in the agri-food sector and the growing demand from consumers for products with certain quality parameters and with greater shelf life over time. The agro-food industries respond to this request with increasingly cutting-edge products, especially as regards fruit products. One of the issues that stimulate the curiosity of many researchers is the use of edible coatings. This technique consists in the application, by spraying or dipping, of an odorless, colorless and tasteless edible substance, consisting of hydrocolloids and/or lipid substances and waxes, on the surface layer of the fruit, both cut and whole. The case studies analyzed have highlighted how the edible coating acts as a barrier for gaseous exchanges with the surrounding atmosphere, reduces water loss and controls microbial development while preserving quality and giving the product better mechanical resistance. Furthermore, the proliferation of microorganisms on the surface of the fruit is inhibited by the combined use of antimicrobial substances, potential carriers of anti-browning agents and, at the same time, nutrients. The main coatings studied are based on i) chitosan and Aloe vera gel on fruits such as strawberries, kiwis, peaches, and plums; ii) arabic gum on fresh fruit and iii) pectin on Tarocco oranges. Furthermore, the ease of realization of the edible coating supports an easy transferability of scientific results in a commercial context and their potential applicability on an industrial scale.

Riassunto

L'incremento demografico e il cambiamento dei ritmi e degli stili di vita della società moderna hanno visto un mercato sempre più globalizzato nonché lo sviluppo di nuove dinamiche nel settore agroalimentare e la crescente richiesta da parte dei consumatori di prodotti con determinati parametri di qualità e con una maggiore conservabilità nel tempo. Le industrie agro-alimentari rispondono a questa richiesta con prodotti sempre più all'avanguardia, in particolar modo per quanto riguarda i prodotti frutticoli. Una delle tematiche che stimolano la curiosità di molti ricercatori è l'utilizzo di edible coating. Questa tecnica consiste nell'applicazione, mediante immersione o spruzzatura, di una sostanza edibile inodore, incolore e insapore, costituita da idrocolloidi e/o sostanze lipidiche e cere, sullo strato superficiale del frutto, sia tagliato che intero. I casi studio analizzati hanno messo in luce come i rivestimenti commestibili fungono da barriera per gli scambi gassosi con l'atmosfera circostante, riducono la perdita d'acqua e controllano lo sviluppo microbico preservando la qualità e conferendo al prodotto una migliore resistenza meccanica. Inoltre, la proliferazione dei microrganismi sulla superficie del frutto viene inibita dall'uso combinato di sostanze antimicrobiche, potenziali trasportatori di agenti anti-imbrunimento e, al contempo, nutrienti. I principali rivestimenti studiati sono a base di i) chitosano e gel di *Aloe vera* su frutti quali fragole, kiwi, pesche e susine; ii) gomma arabica su frutta fresca e iii) pectina su arance Tarocco. Inoltre, la facilità di realizzazione dell'edible coating supporta una facile trasferibilità dei risultati scientifici in un contesto commerciale e una loro potenziale applicabilità su scala industriale.

Introduzione

Un problema sempre più ampio nel settore agroalimentare è far arrivare il prodotto sano e genuino al consumatore finale senza che sia andato incontro a senescenza o che rappresenti un rischio dal punto di vista della sicurezza alimentare. Questo è dovuto dal fatto che la popolazione mondiale è in continuo aumento e la domanda di prodotti alimentari è in continua espansione; inoltre, l'incremento della popolazione a livello globale ha portato a un incremento di tutti quei processi che provocano il deterioramento dei prodotti naturali. Da qui nasce la necessità di stabilire una strategia efficace e sostenibile per ridurre le perdite e gli sprechi alimentari, i quali risultano tra le cause maggiori di produzione di gas serra. Una sfida che riguarda tutti gli alimenti ma in particolar modo i prodotti facilmente deperibili come i prodotti ortofrutticoli.

Nel mondo il 95% delle risorse agricole vengono investite per la produzione di alimenti e solo il 5% per la loro conservazione (FAO ,2011). Parallelamente alla crescita della popolazione mondiale, negli ultimi anni abbiamo assistito ad un incremento della produzione di frutta (pomacee, agrumi, frutta a nocciolo, frutta tropicale, bacche, meloni, pomodori e avocado) in particolar modo dal 2007 al 2017 siamo passati da 2.587.570 tonnellate a 34.622.004 tonnellate (FAOSTAT, 2019). Sta di fatto che il business agricolo trae profitto dalla vendita di pesticidi, fertilizzanti, prodotti chimici ma vede pochissimo profitto nel miglioramento delle tecnologie post-raccolta degli alimenti. Pertanto, 1/3 della produzione alimentare viene persa come scarto a causa del deterioramento post-raccolta. I paesi in via di sviluppo risentono maggiormente del volume degli scarti alimentari a causa del processamento e di una inadeguata conservazione post-raccolta. Le pessime condizioni di stoccaggio e la mancanza di continuità della catena del freddo porta a un deterioramento delle caratteristiche nutraceutiche e organolettiche dei prodotti. Intervenire per ridurre questo danno può portare a una maggiore disponibilità di cibo e ridurre l'impatto ambientale causato dagli scarti alimentari.

Prodotti frutticoli

Numerosi frutti commestibili sono comunemente considerati prodotti frutticoli. Tra questi, alcuni non sono propriamente dei frutti, come le pomacee. Altri frutti commestibili quali zucche e pomodori sono invece raggruppati nella categoria degli ortaggi.

La frutta è un alimento ad alta densità nutritiva e a bassa densità calorica, ricca di acqua e importanti principi nutritivi; inoltre ha importanti funzioni mineralizzanti e vitaminizzanti, ha proprietà lassative e stimola la digestione.

La frutta forma un gruppo di alimenti più omogeneo degli ortaggi anche se esistono delle differenze nel suo valore nutritivo e nelle sue possibilità di conservazione, che riguardano:

- la conformazione (frutti a buccia spessa sono più resistenti dei frutti a buccia sottile)

- il colore (la frutta colorata è più ricca di vitamine)

- la diversità della selezione genetica

La frutta raggiunge il massimo delle sue qualità nutritive e gustative a piena maturazione solo che difficilmente la frutta matura si trasporta bene e inoltre non sempre è bella dal punto di vista visivo. Le varietà maggiormente coltivate e commercializzate sono state scelte soprattutto per la loro attitudine al trasporto e al bell'aspetto più che per il gusto o per il loro valore nutrizionale.

Il consumo di frutta è molto importante poiché apporta dei benefici al nostro corpo. Tuttavia, con il trascorrere del tempo, molte vitamine si riducono e quelle idrosolubili diminuiscono con un eccessivo lavaggio; quindi, al fine di utilizzare in modo ottimale il contenuto in principi nutritivi, la frutta dovrebbe essere consumata subito dopo la raccolta. Questo però non è sempre possibile, anzi solo raramente, e lo studio di tecniche per salvaguardare nel tempo le caratteristiche nutrizionali e sensoriali dei frutti si rende necessario al fine di avere dei prodotti sani e di qualità.

Fisiologia dei prodotti frutticoli dopo la raccolta

La frutta ha un periodo di conservazione post-raccolta che varia da alcuni giorni a qualche mese (esempio mele). Gli aspetti più importanti dei processi metabolici riguardano infatti la vita del frutto dopo la raccolta e sono, in particolare: la respirazione (aerobica e anaerobica), la traspirazione (con conseguente perdita d'acqua), le normali risposte fisiologiche allo stress ossidativo, la produzione di etilene e il conseguente avanzamento dei processi di maturazione che portano alla senescenza del frutto (Gorny et al., 2002).

Tali processi non possono essere fermati ma possono essere rallentati adottando migliori tecniche di conservazione e trattamenti mirati ad allungare la shelf-life del prodotto.

La raccolta determina una riduzione della disponibilità di acqua e sostanze nutritive, ed espone i frutti a fenomeni di stress ossidativo. Infatti, i prodotti frutticoli freschi vengono divisi in due categorie principali:

-frutti climaterici (esempio mele, pere, banane): la respirazione raggiunge il minimo climaterico (fase della raccolta) poi aumenta ad un massimo, detto massimo climaterico; quindi, decresce fino al disfacimento del frutto. Esso si raccoglie per la conservazione nel periodo di minimo climaterico mentre in seguito diventerà edule.

-frutti aclimaterici (esempio agrumi, ciliegie, uva): la respirazione decresce regolarmente durante tutto il periodo della maturazione.

La differenza tra queste due categorie di frutti sta nella produzione di etilene; nei frutti climaterici aumenta di pari passo con la respirazione, mentre i frutti aclimaterici maturano con un ridotto tasso di respirazione perché hanno una bassissima emissione di etilene.

La respirazione è il processo attraverso il quale i materiali organici immagazzinati (carboidrati, acidi organici e grassi) vengono scomposti con rilascio di energia. Questo processo, legato alle attività enzimatiche, determina il rilascio di CO₂, mentre, tutte le riserve immagazzinate nel frutto vengono usate durante la maturazione. Infatti, il tasso di deterioramento (deperibilità) delle materie prime raccolte è generalmente proporzionale al tasso di respirazione.

La fase finale di maturazione del frutto è la senescenza che comporta a una serie di eventi irreversibili che portano progressivamente alla rottura e alla morte delle cellule.

Tecniche di conservazione

L'esigenza di conservare la frutta e gli ortaggi o la carne e il pesce dopo una battuta di caccia o di pesca, ha accompagnato l'uomo fin dall'età preistorica. Col passare dei secoli i sistemi conservativi degli alimenti non subirono grandi evoluzioni e il problema della rapida degenerazione degli alimenti veniva risolto frequentemente mascherando i cattivi odori o sapori con abbondante uso di aromi e spezie. La ricerca di nuove tecniche di conservazione, più attinenti alle esigenze di una società in continua evoluzione è progredita fino ai giorni nostri; nel secolo scorso, per esempio, sono state approntate nuove applicazioni conservative nel campo alimentare come l'atmosfera controllata, le radiazioni ionizzanti e la liofilizzazione (Giorgio Menaggia & Wilma Roncalli, 2015).

Il primo obiettivo di ogni tecnica di conservazione è quello di contrastare le cause dell'alterazione di un alimento, che possono essere di origine biologica e/o chimico-fisica. Tra queste le prime, in particolare i microrganismi e gli enzimi, sono i principali fattori di deterioramento di un prodotto e per questo la maggior parte delle tecniche di stabilizzazione degli alimenti agisce su uno o più fattori che condizionano lo sviluppo microbico. Questo è possibile in due modi:

-eliminando i microrganismi dagli alimenti (azione microbocida)

-impedendo che i microrganismi eventualmente presenti trovino condizioni adatte al loro sviluppo (azione microbiostatica)

A seconda del principio cui si basano, è possibile raggruppare i diversi metodi di conservazione in: metodi fisici, chimici e biologici

Nei metodi chimici i microrganismi vengono inibiti o uccisi per aggiunta di sostanze naturali o di additivi conservanti. Nella frutta troviamo applicazione dei metodi chimici tramite l'uso di "*edible coating*". Il rivestimento commestibile (*edible coating*) è uno dei metodi che negli ultimi anni ha mostrato risultati promettenti per quanto riguarda il mantenimento della qualità della frutta in post-raccolta (Guimarães et al., 2018). Gli *edible coating* possono essere definiti come un sottile strato di materiale edibile, di origine naturale o sintetica, che riveste la superficie dei prodotti ortofrutticoli, pertanto, la composizione di tali rivestimenti deve essere conforme alle norme che si applicano in materia di salute riguardante il consumo del prodotto fresco. Infatti, tali *edible coating*, che sono a diretto contatto con gli alimenti devono

essere riconosciuti come sicuri, nonché approvati dalla European Food Safety Authority (EFSA) o, in America, dalla Food and Drug Administration (FDA) o devono acquisire lo status di GRAS (Generally Recognized As Safe). I produttori possono chiedere l'approvazione di un ingrediente o di un composto alimentare, purché siano stati effettuati numerosi studi. Tuttavia, lo status GRAS non garantisce la completa sicurezza del prodotto, soprattutto per i soggetti allergici o aventi intolleranze alimentari. Secondo gli studi finora effettuati, i film commestibili e biodegradabili potrebbero essere una valida alternativa ai materiali da imballaggio sintetici, grazie alla loro capacità di ridurre la traspirazione (perdita di peso e assorbimento di acqua), o la respirazione e la perdita di composti aromatici (Aider, 2010).

Nei metodi biologici la conservazione si ottiene per l'azione inibente di particolari sostanze prodotte durante l'attività fermentativa di alcuni microrganismi.

I metodi fisici rallentano o bloccano il processo di alterazione per effetto di riscaldamento o di sottrazione di calore, oppure per azione di radiazioni ionizzanti o, ancora, mediante la sottrazione di umidità o di aria. La tecnica che ci interessa maggiormente utilizzata per i prodotti frutticoli è la refrigerazione. Questa tecnica viene usata per procedimenti di conservazione a breve scadenza e si attua utilizzando celle frigorifere. La temperatura di conservazione impiegata per refrigerare solitamente si aggira tra 1 e 4° C, ma può scendere fino a -1°C o innalzarsi fino a 8-10°C. A queste temperature i liquidi organici degli alimenti non solidificano e quindi la crescita microbica e le reazioni chimiche degenerative sono solo rallentate e non fermate. La refrigerazione è una buona tecnica per conservare frutta e verdura anche per alcune settimane (anche per alcuni mesi per determinati prodotti) senza che si verifichino modifiche dei caratteri organolettici e perdite dei principi nutritivi, a condizione che la temperatura si mantenga costante e l'umidità interna sia adeguata (generalmente tra l'85 e il 90%). La refrigerazione è spesso accompagnata da altri interventi conservativi, quali l'atmosfera controllata o modificata e il sottovuoto, che annullano o riducono il contatto dell'alimento con l'ossigeno.

Shelf-life

Con il termine shelf-life ci riferiamo a quell'intervallo di tempo durante il quale il prodotto risulta utile ai fini commerciali, in funzione delle sue caratteristiche organolettiche, nutritive e sensoriali ovvero il periodo di tempo che intercorre fra la produzione e il consumo dell'alimento senza che ci siano rischi per la salute del consumatore. La traduzione più appropriata, ovvero "vita da scaffale" indica, appunto, che la vita del prodotto in questione non corrisponde al suo intero ciclo di vita. L'uso corretto della catena del freddo tra i siti di produzione e quelli di consumo può indicare una strategia per mantenere più a lungo possibile la qualità e la sicurezza dei prodotti deperibili lungo la filiera agroalimentare. Tutte le tecnologie adeguate possono migliorare la redditività, ma nessuna di queste tecnologie, utilizzate singolarmente, può determinare una corretta gestione post-raccolta, né garantire la qualità e la sicurezza dei prodotti (Gorny et al., 2002).

Per la maggior parte degli alimenti la normativa vigente impone di informare il consumatore, indicando in etichetta la data sino alla quale si ritiene che il prodotto mantenga le proprie caratteristiche igienico-sanitarie, qualitative e sensoriali prossime a quelle originarie. Scopo della shelf-life è quello di aiutare i consumatori ad utilizzare in modo informato e sicuro gli alimenti, da un lato per prevenire l'insorgenza di potenziali rischi per la salute e dall'altro per evitare sprechi inutili.

Produttori e distributori di alimenti devono conoscere bene i meccanismi microbiologici e chimico-fisici attraverso i quali avvengono i "fenomeni di invecchiamento degli alimenti", necessari per determinare la conservabilità, sotto forma di Data di Scadenza (DS) o di Termine Minimo di Conservazione (TMC). Una delle sfide più importanti per gli OSA (Operatori del Settore Alimentare), è rappresentata dalla conoscenza delle tecnologie alimentari disponibili finalizzate al prolungamento della shelf-life, al fine di garantirne la sicurezza e la qualità sensoriale con un approccio sostenibile e metodologico sotto il profilo tecnico-scientifico. Per quanto riguarda i prodotti frutticoli, il deperimento di tali prodotti rappresenta un fenomeno naturale irreversibile che desta preoccupazione nelle imprese che ricercano una maggiore salubrità e durabilità degli alimenti messi in commercio.

Qualità

La definizione di qualità si basa su due approcci, uno orientato al prodotto e l'altro al consumatore: il primo si focalizza sui tratti qualitativi, relativi all'aspetto e alla Shelf-life, quantificabili mediante strumenti appropriati, il secondo si basa sulle esigenze del consumatore. In nessuno dei due casi però si ha una completa definizione di qualità del prodotto. Infatti, l'approccio strumentale che quantifica le caratteristiche qualitative del prodotto risulta fondamentale per creare degli standard e dei parametri da utilizzare per il monitoraggio della qualità della frutta lungo la filiera agroalimentare; mentre la comprensione delle esigenze dei consumatori è necessaria per fornire al mercato prodotti pertinenti alle loro richieste. I descrittori standard identificano i gradi di qualità di un prodotto e sono strumenti essenziali in quanto forniscono un linguaggio comune per il commercio tra coltivatori, gestori, trasformatori e consumatori. Ciò fornisce un ordine nella commercializzazione e protegge i consumatori da prodotti di scarsa qualità. Tuttavia, gli standard di qualità si differenziano da paese a paese. Ad esempio, nei paesi in via di sviluppo viene meno l'esigenza di eliminare i prodotti che presentano difetti estetici, rispetto ai paesi sviluppati; inoltre, la consuetudine in fase di confezionamento è quella di collocare i prodotti di buona qualità sopra e quelli di bassa qualità sotto. Per questo motivo i produttori sono invitati a seguire gli standard di qualità e i regolamenti di sicurezza che riguardano le corrette procedure di gestione e gli aspetti riguardanti la salute pubblica. Infatti, le buone pratiche agricole, la manipolazione e le procedure di garanzia della sicurezza alimentare sono step fondamentali per il commercio di prodotti di buona qualità. Le procedure igienico-sanitarie riducono al minimo la contaminazione microbica, ad esempio il lavaggio e la sanificazione delle superfici e dei prodotti, la pulizia dei contenitori per il raccolto e per la spedizione, lo smistamento e l'adeguata eliminazione dei prodotti in progressivo stato di decomposizione nonché la sanificazione degli espositori e delle strutture di stoccaggio. Inoltre, gli standard di qualità dipendono sia da fattori genetici, come ad esempio la specie, la varietà, la fisiologia e il grado di maturazione al momento della raccolta, sia da fattori estrinseci, come i metodi di coltivazione, il tipo di suoli, l'esposizione alla luce o agli agenti inquinanti, le condizioni meteorologiche, ecc. (Musacchi & Serra, 2018). La conoscenza delle caratteristiche qualitative, intese come rapporto tra cibo e benessere, ha determinato un incremento della domanda di prodotti ortofrutticoli che mantengano il loro stato di freschezza e, allo stesso tempo, abbiano un elevato valore nutrizionale.

Edible Coating: cosa sono e come funzionano

Anche se i prodotti ortofrutticoli sono già dotati di un rivestimento naturale a base di cere (cuticola), gli additivi sono da sempre stati utilizzati per controllare la permeabilità e gli scambi di ossigeno e anidride carbonica con l'esterno, e per limitare i danni da manipolazione della frutta durante le varie fasi che precedono lo stoccaggio. Tuttavia, le proprietà che caratterizzano un edibile coating (rivestimento commestibile) sono la trasparenza, la permeabilità al vapore acqueo e ai soluti e il potere selettivo agli scambi gassosi (Jongsri et al., 2016); un'altra proprietà da non trascurare è che il rivestimento edibile, deve essere tendenzialmente inodore e insapore, per non influenzare il profilo sensoriale. L'edibile coating determina un rallentamento della respirazione cellulare e, di conseguenza, della senescenza, oltre a rallentare lo sviluppo e la proliferazione di funghi e batteri e a migliorare l'aspetto esteriore dei frutti (Dhall, 2013). Alcuni coadiuvanti come soluzioni antimicrobiche, acidificanti e antiossidanti, sono comunemente usati (Artés & Allende, 2014) per ritardare i processi ossidativi, ma in un mondo in cui la sostenibilità gioca un ruolo del tutto centrale, diventa fondamentale trovare delle valide alternative ai prodotti chimici mantenendo inalterata la qualità del prodotto. Le Direttive Europee (95/2/CE e 98/72/CE) e il Code of Federal Regulations degli Stati Uniti (FDA 21CFR172, 2006) definiscono i rivestimenti commestibili come 'rivestimenti formulati con additivi alimentari'. L'uso di rivestimenti per prodotti ortofrutticoli freschi è un concetto in continuo sviluppo. Già dal XII secolo in Cina la cera è stata il primo rivestimento commestibile applicato su agrumi, e in seguito, le cere sono entrate nel commercio dei rivestimenti commestibili per alimenti (Park, 1999). A partire dagli anni '50 sono state utilizzate cere, sospensioni colloidali o emulsioni a base di oli per rivestire la frutta fresca. I rivestimenti di maggior successo sono stati i film lipidici, idrocolloidi (polisaccaridi e proteine) e cere (cera d'api, cera carnauba e candelilla, paraffina e crusca di riso). Gli idrocolloidi rappresentano il gruppo di biopolimeri maggiormente utilizzati nella produzione di materiali edibili. Essi possono essere ottenuti direttamente da piante, animali o microrganismi. Tra questi, i derivati della cellulosa, l'amido, l'alginato, il chitosano, e i carragenani sono i polisaccaridi più comunemente utilizzati nella produzione di film e rivestimenti commestibili, mentre le proteine della soia, il glutine, la zeina, la gelatina, la caseina e la cheratina rientrano tra le proteine maggiormente utilizzate

(Falguera et al., 2011). Tuttavia, essendo questi materiali di natura idrofila, sorge la necessità di incorporare oli o grassi vegetali nella matrice idrocolloidale, al fine di migliorare l'effetto barriera del coating nei confronti dell'ambiente esterno (Galus & Kadzińska, 2015). L'edible coating viene applicato immergendo (dipping technique) la frutta nella soluzione o spruzzando (spraying technique) la soluzione sulla superficie della frutta. La differenza tra le due tecniche sta nel fatto che, l'immersione determina un maggior consumo di prodotto e un suo maggiore assorbimento da parte del frutto, provocando talvolta una ben visibile stratificazione dell'edible coating sulla sua superficie; invece, la tecnica spraying prevede l'erogazione di uno strato sottile di edible coating, che può essere applicato più volte al fine di creare una diversa stratificazione del rivestimento. Questo permette di creare un effetto barriera diverso in funzione delle esigenze del frutto. Tuttavia, nella maggior parte dei lavori presenti in letteratura viene utilizzata la tecnica di immersione del prodotto nell'edible coating. Tra gli effetti positivi rilevati dalle analisi fisico-chimiche su frutti interi trattati con edible coating vi sono: il mantenimento della consistenza e della compattezza, poiché la presenza del rivestimento commestibile permette di tenere legate le pectine della parete cellulare; l'aumento dell'acidità titolabile e delle vitamine, grazie alla presenza di sostanze antiossidanti e/o antimicrobiche. Dunque, gli effetti positivi degli edible coating, messi in risalto nella frutta intera, hanno stimolato l'interesse dei ricercatori, i quali hanno voluto approfondire gli studi riguardanti la correlazione tra le matrici del rivestimento e le caratteristiche fisiologiche dei frutti sottoposti al trattamento. Dagli studi è infatti emerso che l'applicazione di un rivestimento commestibile è in grado di ridurre l'attività enzimatica della polifenolossidasi (PPO) e della perossidasi (POD) e di rallentare l'imbrunimento e la decolorazione dei frutti. In conclusione, l'edible coating migliora la Shelf-life, riduce le perdite di acqua e lo scambio gassoso, la respirazione e i processi ossidativi delle cellule, ma anche le fisiopatie post-raccolta (Baldwin et al., 1996). Inoltre, risulta totalmente innocuo per l'ambiente, infatti può essere considerato una valida alternativa green a rivestimenti sintetici e ad altri trattamenti chimici post-raccolta.

Utilizzo di Edible Coating

L'obiettivo principale di qualsiasi materiale di imballaggio è proteggere gli alimenti da contaminazione allungandoli così la shelf life (Popović et al., 2018). Polimeri sintetici sono ampiamente utilizzati per le loro caratteristiche di lunga durata, ma i rifiuti di plastica degli imballaggi sono una delle principali fonti di inquinamento ambientale (de Kock et al., 2020). Tuttavia, il vantaggio di questi è che possono essere modellati in una varietà di forme, realizzandoli nel modo più adatto per l'imballaggio alimentare. Questi materiali, nonostante le loro caratteristiche di lunga durata, vengono utilizzati per un periodo di tempo limitato. Inoltre, a causa della contaminazione degli alimenti, il riciclaggio di questi prodotti è problematico. Recentemente, i materiali biodegradabili sono in fase di valutazione come alternativa alle plastiche sintetiche e sono visti come rispettosi dell'ambiente. Molti biopolimeri sono stati utilizzati per realizzare imballaggi alimentari ecologici come alternativa alle tradizionali materie plastiche (Chavan et al., 2023). Negli ultimi anni questi imballaggi commestibili stanno diventando sempre più popolari dato la crescente domanda da parte dei consumatori di opzioni alimentari convenienti, sicure e sane, nonché dalla crescente preoccupazione, da parte della popolazione, dell'impatto ambientale causato dagli imballaggi non biodegradabili. Alcuni dei comuni materiali biodegradabili sono gelatina, amido, chitosano, cellulosa, acido polilattico e alginati che vengono applicati a frutta e verdura, biscotti ricoperti, a freddo salmone affumicato, fette di prosciutto, nasello (Díaz-Montes & Castro-Muñoz, 2021). Un film o rivestimento commestibile è una sostanza sottile utilizzata per ricoprire (coprire o avvolgere) gli alimenti per migliorare la shelf-life e prevenire il movimento di umidità, ossigeno e soluti. Lo spessore ideale di tali rivestimenti commestibili è $\leq 0,25$ mm. Inoltre, i rivestimenti alimentari dovrebbero essere privi di componenti tossici e allergeni, nonché semplici da produrre, rispettosi dell'ambiente ed economicamente sostenibili. I materiali di rivestimento dovrebbero avere buone proprietà adesive e avere la capacità di mantenere o migliorare l'estetica e le qualità sensoriali del prodotto (Motelica et al., 2020). Oltre a questo, dovrebbero anche difendere il prodotto da contaminazione e/o infestazione di parassiti e microbi e da altri tipi di deterioramento. Pertanto, negli ultimi anni, l'uso di protettivi, di rivestimenti commestibili e di pellicole biodegradabili per imballaggi ha ipnotizzato l'interesse dell'industria alimentare (Vital et al., 2018). La durata di conservazione e la qualità di frutta o verdura sono andate via via aumentando grazie all'utilizzo di pellicole e rivestimenti commestibili. Tuttavia, parte del deterioramento della

qualità e le perdite post-raccolta sono probabilmente inevitabili a causa di una varietà di fattori sia durante la fase di pre-raccolta che post-raccolta (Chen et al., 2021). I fattori più importanti che influenzano tali perdite sono la senescenza fisiologica intrinseca e l'infezione da patogeni fungini. Dopo la raccolta, circa il 30% di frutta e verdura è reso inadatto al consumo a causa del deterioramento. Negli ultimi anni la domanda di alimenti minimamente trasformati è aumentata in modo significativo. Produzione di cibo con metodi che richiedono meno input tecnici sono diventati sempre più popolari in quanto i consumatori ritengono che i cibi freschi siano più nutrienti e salubri di quelli trattati termicamente. Tuttavia, anche una lavorazione minima danneggia il prodotto, con conseguente significativa perdita di qualità (Giannakourou & Tsironi, 2021). Una combinazione di invecchiamento fisiologico, alterazioni metaboliche e deterioramento microbiologico è il principale fattore di degradazione di frutta e verdura che sono minimamente lavorate. Per mantenere o ritardare il periodo di deterioramento di questi prodotti è necessario utilizzare un inibitore dell'imbrunimento dallo 0,2 all'1% come solfiti, acido ascorbico e suoi derivati, acido ossalico, acido citrico e composti tiolici negli imballaggi. Negli ultimi anni, i rivestimenti/film commestibili sono una soluzione efficiente sia da un punto di vista del consumatore e sia per il rispetto dell'ambiente. Questi rivestimenti/film prevengono anche l'imbrunimento ossidativo, lo scolorimento, il sapore sgradevole e infestazioni microbiologiche in frutta e verdura. Polisaccaridi, proteine e lipidi presi singolarmente o in combinazione sono considerati componenti critici per la produzione di rivestimenti commestibili grazie al loro colore e sapore neutri. Additivi come vitamine, minerali, coloranti, agenti antibatterici e probiotici possono essere adattati in pellicole e rivestimenti commestibili per aumentare la loro funzionalità (Khodaei et al., 2020).

Rivestimenti a base di chitosano

Chitosano, $(C_6H_{11}NO_4)_n$ è un polisaccaride lineare cationico (poli β -(1,4) N-acetil-D-glucosamina) ottenuto dalla parziale deacetilazione della chitina (Fig. 1), la quale è un abbondante biopolimero spesso presente nelle pareti cellulari della maggior parte di funghi, lieviti, insetti, gusci di crostacei, bachi da seta ed esoscheletri marini. Esso è costituito da più unità di N-acetilglucosammina legate tra di loro con un legame di tipo β -1,4 ed è strutturalmente simile alla cellulosa.

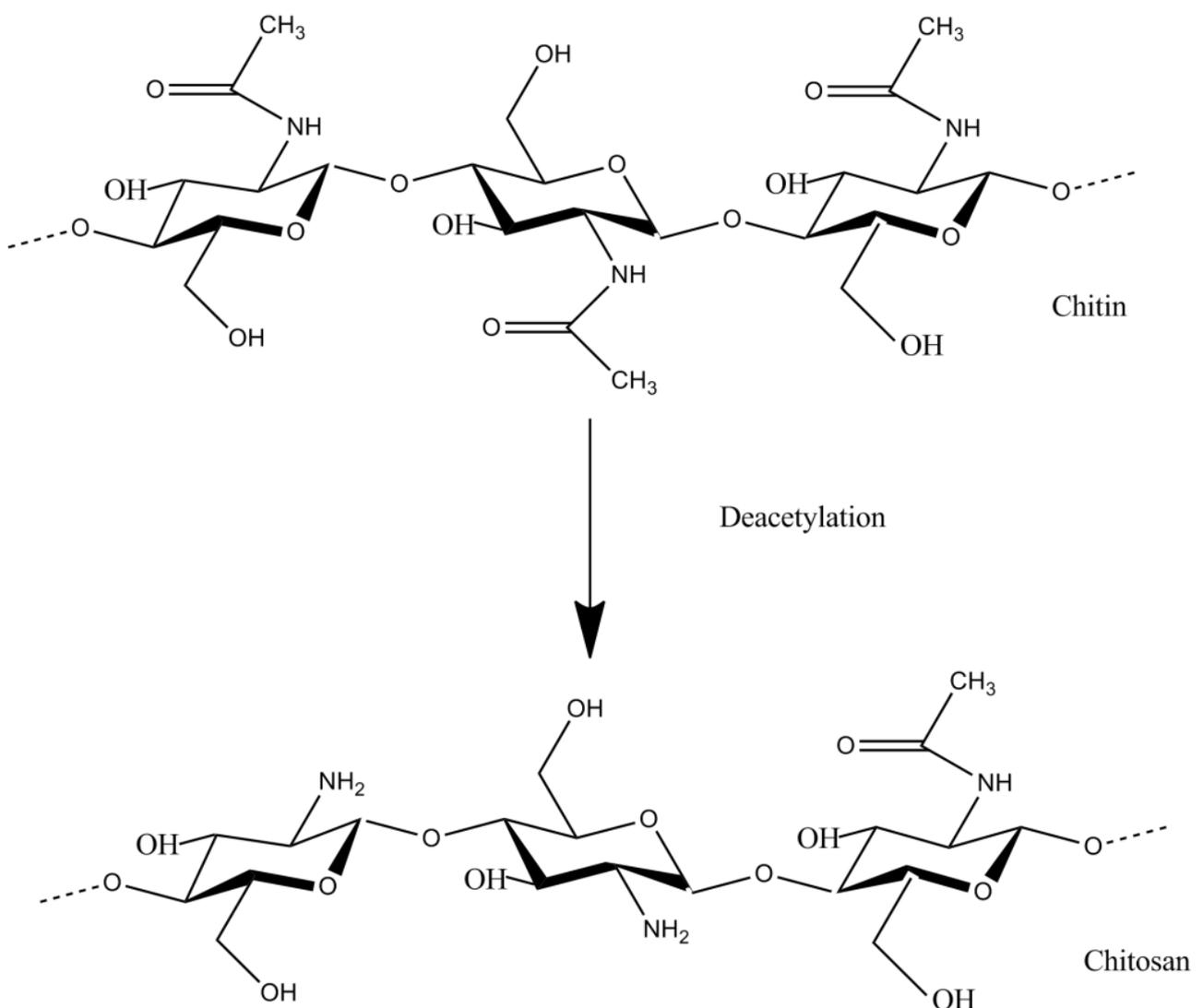


Fig. 1 Struttura chimica della chitina e del chitosano

Le proprietà del chitosano lo rendono un biopolimero di grande interesse e adatto allo sviluppo di packaging con applicazioni nell'industria alimentare (per imballaggi attivi o

intelligenti), biomedica e chimica (Siripatrawan & Harte, 2010). Infatti, il chitosano e i suoi derivati, oltre ad essere biodegradabili, atossici e biocompatibili, hanno anche proprietà antimicrobiche, antimicotiche e chelanti dei metalli (Aider, 2010).

Il chitosano ha attività antimicrobica contro diversi microrganismi come funghi, lieviti e batteri Gram-positivi e Gram-negativi. Il chitosano può prevenire la crescita di un'ampia gamma di funghi e batteri, mostrando più efficacia nei confronti dei batteri Gram-positivi rispetto ai Gram-negativi. Infine, è interessante notare come l'attività antimicrobica di film e rivestimenti a base di chitosano possa essere migliorata attraverso l'aggiunta di oli essenziali, composti fenolici ed estratti di frutta. I rivestimenti a base di chitosano sono promettenti perché sono commestibili e biologicamente sicuri per diversi tipi di alimenti. Inoltre, questi rivestimenti sono biocompatibili, biodegradabili, filmogeni, antimicrobici, e antiossidanti pur mancando di tossicità. I vantaggi del chitosano includono anche il suo costo relativamente basso e il suo utilizzo come additivo alimentare sicuro (Fortunati et al., 2017; Tezotto-Uliana et al., 2014).

Caso studio su fragole

I frutti di fragola hanno una shelf-life e un periodo di senescenza molto brevi a causa del loro alto grado di deperibilità, e le infezioni causate da diversi agenti patogeni possono ridurre rapidamente la qualità di questi frutti. La fragola (*Fragaria × ananassa* Duch.) è un frutto non climaterico caratterizzato da gusto e sapore unici e altamente desiderabili. Le fragole sono una fonte rilevante di composti bioattivi a causa di alti livelli di vitamina C, vitamina E, carotene e composti fenolici come gli antociani, le quali sostanze sono estremamente correlate a benefici per la salute umana. Gli antociani sono responsabili del color rosso fragola e sono i fenoli quantitativamente più importanti. Le fragole possiedono un alto livello di attività antiossidante e quindi hanno un conseguente effetto benefico sul mantenimento della salute dei consumatori (Van De Velde et al., 2013). I frutti di fragola hanno una shelf-life molto breve a causa della loro suscettibilità alle lesioni meccaniche, che portano a un ammorbidimento della consistenza; inoltre, le infezioni causate da diversi agenti patogeni possono ridurre rapidamente la qualità della frutta, rendendo così il marketing e il commercio di tali prodotti una sfida (Vu et al., 2011). La durata di conservazione di fragole fresche in celle frigorifere (0-2 °C) è di circa 2 settimane e dopo la conservazione a freddo, durano per altri 3-4 giorni alla temperatura ambiente (circa 20 °C). La durata di conservazione delle fragole è spesso interrotta dalla loro natura deperibile e dall'infezione fungina. Varie tecnologie sono state sviluppate per la conservazione delle

fragole, come i trattamenti con acqua calda, atmosfera controllata, luce ultravioletta, e tra loro, la maggior parte dei trattamenti ha effetti negativi su colore, sapore, aroma e consistenza. A livello globale, i consumatori chiedono di utilizzare tecniche più naturali e rispettose dell'ambiente fornendo prodotti con elevata qualità e una lunga durata di conservazione. Quindi, l'uso di conservanti naturali per controllare i processi fisiologici e la crescita microbica della fragola è di crescente interesse (Lin & Zhao, 2007).

Le principali infezioni fungine che colpiscono le fragole sono causate da *Botrytis cinerea* e *Rhizopus stolonifer*, che provocano l'alterazione di colore, perdita di consistenza e qualità nel post-raccolta. Generalmente le fragole non vengono trattate con rivestimenti formati esclusivamente da chitosano, ma da miscele di componenti che consentono di migliorarne le proprietà. Lo studio preso in considerazione è stato intrapreso con l'obiettivo di valutare l'estensione della durata di conservazione e il miglioramento della qualità della fragola attraverso l'utilizzo di carbossimetilcellulosa (CMC) e idrossipropilmetile cellulosa (HPMC) in combinazione con il chitosano (CH).

Applicazione rivestimento

I frutti di fragola sono stati disinfettati in superficie mediante immersione in una soluzione di ipoclorito di sodio al 2% per 2 minuti per poi essere lavati e asciugati all'aria per 2 ore a temperatura ambiente con aria forzata. I frutti sono stati divisi casualmente in cinque gruppi (uno per ogni trattamento) da 17, e ciascun trattamento è stato condotto con tre repliche. La frutta è stata suddivisa in 5 gruppi ognuno per ogni tipo di trattamento (T):

1. CMC 1% (T1)
2. CMC 1% + CH 1% (T2)
3. HPMC 1% (T3)
4. HPMC 1% + CH 1% (T4)
5. frutti non trattati immersi in acqua distillata, designati come controllo o non ricoperti

Dopo l'asciugatura, la fragola è stata immersa nelle soluzioni di rivestimento per 2 minuti. Il frutto è stato lasciato sgocciolare a 26 ± 2 °C per 2 ore, poi questi campioni sono stati posti in scatole di plastica e conservati a 11 ± 1 °C e 70–75% RH. Per tutti i tipi di trattamento compresi anche i frutti di controllo sono stati valutati gli attributi di qualità e le attività degli enzimi all'inizio dell'esperimento (ovvero 0 giorni) e dopo 4, 8 e 12 giorni di conservazione. Sono stati pesati campioni di fragole all'inizio dell'esperimento (cioè 0 giorni) e alla fine di ciascun intervallo di tempo. La differenza tra il peso iniziale del frutto e quello finale è stata

considerata come una perdita di peso totale e i risultati sono stati espressi come perdita percentuale del peso iniziale secondo il metodo standard di AOAC (1994). Le maggiori perdite si sono verificate nei campioni di controllo. Applicazione di rivestimenti commestibili costituiti da CMC e HPMC singolarmente e in combinazione con CH hanno mostrato un effetto significativo ($P < 0,05$) sulla percentuale di perdita di peso. Tra i rivestimenti, HPMC 1% + CH 1% ha avuto un effetto migliore nel ritardare la perdita di peso della fragola a 12 giorni di conservazione. Si ritiene comunemente che la traspirazione sia la principale causa di perdita di peso di frutti durante la conservazione (Duan et al., 2011). I risultati ottenuti sono coerenti con studi precedenti che mostrano come questi rivestimenti servono come barriera semipermeabile contro ossigeno, anidride carbonica e umidità, riducendo così la respirazione, la perdita di acqua e l'ossidazione (Maqbool et al., 2011). I risultati del presente studio indicano che i rivestimenti di CMC, HPMC e la loro combinazione con CH sembrano avere un impatto benefico sulla conservazione della qualità della fragola durante la conservazione (Gol et al., 2013).

Caso studio su kiwi

Il kiwi (*Actinidia* spp.) è un tipico frutto climaterico. L'elevata attività metabolica dei kiwi durante la conservazione e la sua elevata sensibilità all'etilene deteriorano la qualità, compromettendone la conservazione e la vita post-raccolta. I rivestimenti commestibili sono una tecnologia molto promettente che può prolungare la vita post-raccolta di molte colture, compreso il kiwi. Di conseguenza, i rivestimenti commestibili sulla frutta fresca sono un'alternativa al confezionamento in atmosfera modificata, riducendo al contempo i cambiamenti di qualità e perdite di quantità modificando e controllando l'atmosfera interna di ogni singolo frutto (Fisk et al., 2008). Quindi, i rivestimenti commestibili possono ridurre la perdita di umidità, ridurre i tassi di respirazione, la produzione di etilene, la maturazione e mantenere la qualità e la conservabilità dei frutti. I rivestimenti commestibili hanno un'elevata capacità di essere utilizzati come vettori per additivi alimentari mirati come agenti antimicrobici, antiossidanti, agenti anti-imbrunimento, aromi, coloranti e sostanze nutritive, che ritardano lo scolorimento, la crescita microbica e prolungano la vita post-raccolta. Alcuni rivestimenti aggiungono lucentezza e lustro alle merci, rendendole più attraenti (Fisk et al., 2008). Inoltre, i rivestimenti commestibili a base di chitosano sono stati utilizzati per prolungare efficacemente la durata di conservazione dei kiwi.

I rivestimenti di chitosano applicati ai kiwi interi riducono la perdita di peso nel post-raccolta prevenendo la perdita di umidità superficiale (Fisk et al., 2008). Le proprietà uniche del

chitosano evidenziano il suo potenziale utilizzo sia vicino al momento della raccolta sia nel post-raccolta per migliorare gli attributi di qualità della frutta (Gayed et al., 2017). Sebbene il chitosano venga applicato nei trattamenti post-raccolta, pochissimi studi hanno confermato il potenziale dell'applicazione pre-raccolta del chitosano per la conservazione di frutta fresca. Inoltre, il chitosano è considerato un elicitore chimico organico (Romanazzi et al., 2002, 2006). Quindi, l'applicazione pre-raccolta o post-raccolta di chitosano previene potenzialmente il decadimento, prolunga la durata di conservazione e mantiene la qualità complessiva della frutta fresca. Nel trattamento post-raccolta, asciugare completamente il frutto dopo essere stato immerso in soluzioni di chitosano è difficile a causa dell'umidità persistente attorno al frutto dopo l'applicazione. Pertanto, l'applicazione del chitosano nel periodo antecedente al raccolto è fattibile perché fornisce un completo rivestimento uniforme sulla superficie della frutta e realizza la completa asciugatura. Inoltre, evita lo spreco di soluzione di rivestimento come nel post-raccolta tramite l'immersione nella soluzione di rivestimento (Tezotto-Uliana et al., 2014), solo che l'applicazione su molti ettari è limitata poiché richiede molto tempo e un sacco di manodopera quindi per il momento queste prove sono state effettuate per poche piante per trattamento. L'applicazione pre-raccolta del chitosano può fornire un effetto preventivo contro gli agenti patogeni responsabili delle malattie post-raccolta le quali derivano spesso da un inoculo che sopravvive e si accumula sulla superficie della frutta in campo o successivamente nella linea di confezionamento. I trattamenti preraccolta sono fortemente consigliati per frutti che sono caratterizzati da una fioritura in superficie, tipo uva da tavola, o hanno un sottile pericarpo ceroso e polpa succulenta, come fragole, che possono essere facilmente danneggiate durante la raccolta e la manipolazione post-raccolta.

Il chitosano è considerato un rivestimento conservante ideale per la frutta fresca a causa delle sue proprietà filmogene, proprietà biochimiche, intrinseche proprietà antimicotiche e proprietà stimolanti. Gli effetti dei rivestimenti commestibili a base di chitosano sugli attributi fisico-chimici e sulla durata di conservazione di kiwi durante lo stoccaggio post-raccolta sono elencati in Fig. 2.

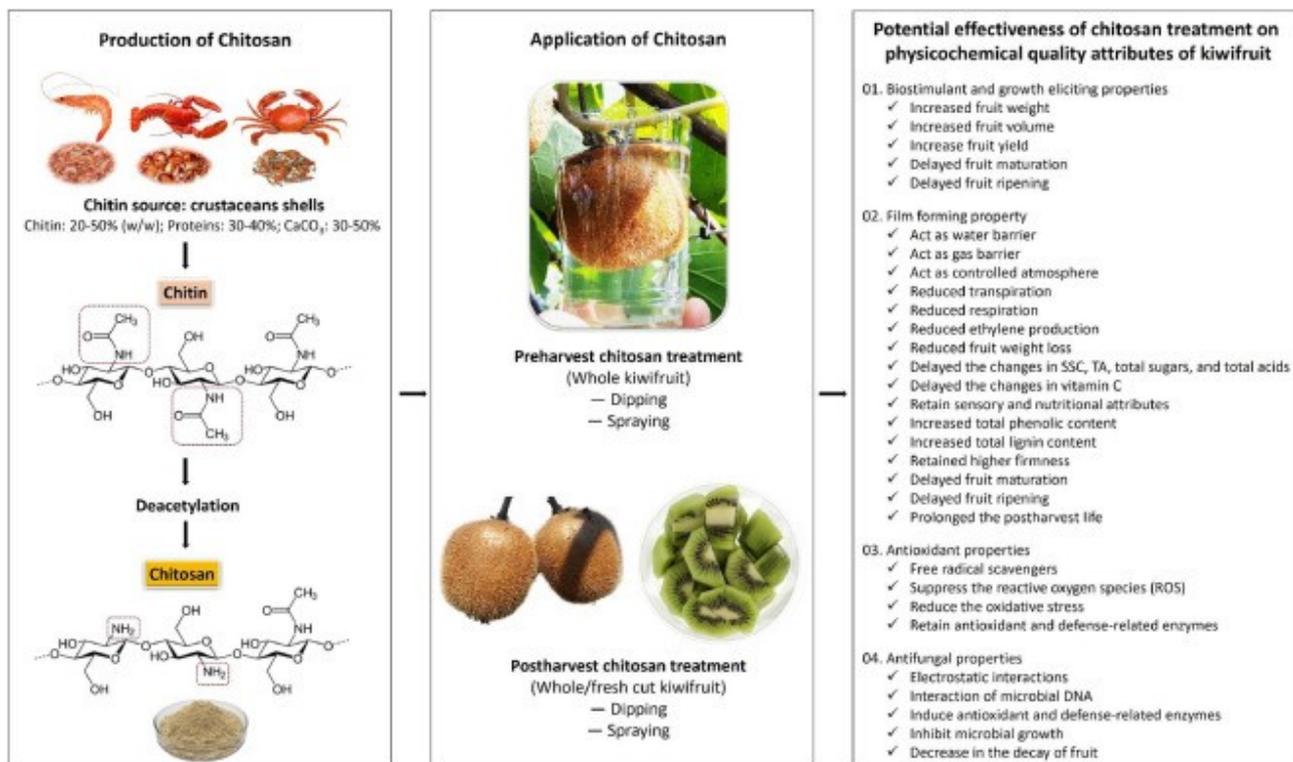


Fig. 2 Produzione, applicazione ed efficacia del chitosano sugli attributi fisico-chimici del kiwi per prolungare la vita post-raccolta.

La perdita di peso è un importante indice di qualità nella vita post-raccolta dei frutti. Il contenuto medio di acqua della frutta alla raccolta è di circa 80-90% del peso fresco. La perdita di peso nella frutta fresca è dovuta principalmente alla perdita di acqua causata dai processi di traspirazione e respirazione. Il meccanismo principale di perdita d'acqua dalla frutta fresca dipende dalla diffusione in fase vapore guidata da un gradiente della pressione del vapore acqueo tra l'atmosfera circostante e il tessuto della frutta. La perdita di acqua nel post-raccolta può causare avvizzimento e alterare il metabolismo dei frutti, con conseguente rapida perdita di qualità dei frutti. Si è osservato che i kiwi con le concentrazioni più alte (6, 8 e 10 g/L) di chitosano hanno mostrato tassi più lenti di perdita di massa (rispettivamente del 3,45%, 2,90% e 2,95%) durante lo stoccaggio a 5 °C per 10 giorni. Il film semipermeabile formato sulla superficie del frutto dal rivestimento di chitosano funge da barriera fisica allo scambio di gas e acqua, riducendo così i tassi di respirazione e traspirazione. Quindi, i rivestimenti di chitosano riducono la perdita di peso della frutta fresca durante la conservazione rispetto ai frutti non ricoperti. Un altro parametro importante per determinare la qualità post-raccolta e il valore di mercato dei frutti è la fermezza. In genere, la fermezza della frutta diminuisce con l'aumentare del periodo di conservazione, raggiungendo il minimo valore al termine del periodo di conservazione. Si manifesta una perdita di fermezza

dall'ammorbidimento della tessitura dei frutti durante la maturazione, che è uno dei maggiori attributi di qualità giudicati dai consumatori. È uno dei fattori deterioranti che limitano la vita post-raccolta e la qualità dei frutti. Perciò, la consistenza del frutto è significativamente importante per l'accettazione generale della frutta.

I rivestimenti di chitosano hanno un effetto benefico sulla consistenza dei frutti poiché mantengono valori di fermezza più elevati durante il post-raccolta rispetto ai frutti non ricoperti. La maggiore fermezza dei frutti ricoperti di chitosano potrebbe essere dovuta alla formazione di un film semipermeabile sul frutto che può fungere da barriera per l'assorbimento di ossigeno, ritardando così le attività metaboliche ed enzimatiche e il processo di degradazione delle componenti della parete cellulare. Inoltre, è stato precedentemente suggerito che il chitosano potrebbe produrre un'atmosfera modificata attorno alla superficie del frutto che riduce la degradazione della pectina e ritarda la perdita di consistenza dei frutti (He et al., 2018; Reddy et al., 2000; Tezotto-Uliana et al., 2014). Infatti, la formazione di una barriera semipermeabile sulla superficie del frutto potrebbe influenzare l'attività degli enzimi chiave, poli-galatturonasi (PG), pectin-metilesterasi (PME) ed espansine (EXP), coinvolti nelle modificazioni della parete cellulare durante la maturazione dei frutti (Kumarihami et al., 2021).

I kiwi sono un'ottima fonte di vitamina C, che è l'attributo nutrizionale più distintivo del kiwi. La vitamina C, nota anche come acido ascorbico, è uno dei composti antiossidanti più noti trovati nel kiwi e ha una forte correlazione con l'attività antiossidante totale dei kiwi. Il contenuto di vitamina C diminuisce gradualmente durante la maturazione a causa dell'ossidazione dell'acido ascorbico da parte di ossidasi (enzima ascorbinasi), che converte l'acido ascorbico ad acido deidroascorbico e fenolossidasi. Una possibile spiegazione per mantenere più alto il contenuto di acido ascorbico può essere l'atmosfera modificata generata dal rivestimento di chitosano, che si traduce in bassa permeabilità all'ossigeno e ridotta attività enzimatica nell'ossidazione dell'acido ascorbico. Pertanto, i rivestimenti a base di chitosano potrebbero essere favorevoli per i kiwi per mantenere livelli elevati di vitamina C e ritardare la maturazione e la senescenza dei frutti.

Le malattie post-raccolta dei kiwi causano gravi perdite durante lo stoccaggio, il trasporto e la commercializzazione, con conseguenti notevoli perdite economiche. Il chitosano ha inoltre un'attività antimicotica diretta contro diversi funghi inibendo la germinazione delle spore, l'allungamento del tubo germinativo e la crescita miceliare. Il chitosano (5 g/L) inibisce

lo sviluppo della muffa grigia (*Botrytis cinerea*) in modo significativo nei kiwi durante lo stoccaggio post-raccolta (Zheng et al., 2017). La capacità del chitosano di ridurre la muffa nei kiwi conservati può essere associata all'elicitazione delle risposte di difesa dell'ospite. I trattamenti a base di chitosano sono un'efficace tecnica di conservazione che riduce l'attività respiratoria, ritardando così la maturazione. D'altra parte, i meccanismi precisi sull'azione del chitosano correlati alla sua proprietà filmogena e all'attività antimicrobica rimane poco chiara. Quindi, ulteriori studi sui precisi meccanismi d'azione del chitosano saranno necessari. A questo proposito, il lavoro futuro dovrebbe mirare a comprendere i dettagli molecolari dei meccanismi fondamentali di azione del chitosano. Inoltre, c'è una mancanza di informazioni sui possibili effetti del chitosano sugli attributi sensoriali dei kiwi. La qualità sensoriale è un fattore importante che influenza direttamente l'accettazione da parte dei consumatori e il potenziale di mercato dei prodotti freschi. I materiali di rivestimento possono avere un impatto diretto sulla qualità sensoriale dei prodotti rivestiti, inclusi aspetto, colore, aroma, gusto e consistenza. Pertanto, la qualità sensoriale sia dei materiali di rivestimento che dei prodotti rivestiti dovrebbe essere esaminata per soddisfare l'accettazione da parte del consumatore dei prodotti rivestiti (Kumarihami et al., 2021).

Gel di *Aloe Vera* e *Aloe arborescens*

Negli ultimi anni l'uso del gel di *Aloe vera* ha guadagnato molta attenzione come trattamento post-raccolta della frutta poiché si presenta come un prodotto ecocompatibile e sicuro per quanto riguarda la salute umana. I trattamenti con gel di *A. vera* come rivestimenti commestibili prodotto ottimi risultati sul mantenimento della qualità post-raccolta in diversi tipi di frutta come la ciliegia dolce o acida (Martínez-Romero et al., 2006), le nettarine (Ahmed et al., 2009) e l'uva da tavola (Serrano et al., 2006). Inoltre, l'applicazione pre-raccolta del gel di *A. vera* ha mostrato benefici in termini di ritardo della maturazione post-raccolta dell'uva da tavola (Castillo et al., 2010). È noto che in tutto il mondo esistono circa 500 specie di *Aloe*, dai piccoli arbusti alle grandi forme arboree, che mostrano una grande biodiversità ma poca ricerca è stata fatta sulle varie specie di *Aloe*, a parte *A. vera*, nota per le proprietà terapeutiche del suo gel e per l'impatto sulla salute umana (Eshun & He, 2004). Nel seguente studio sono state analizzate le specie di *Aloe vera* e *A. arborescens* (Zapata et al., 2013). Questi autori hanno concluso che l'attività antimicotica era più elevata per *A. arborescens* che per *A. vera*. Tuttavia, non c'è letteratura sull'uso di *A. arborescens* come trattamento post-raccolta. In questo senso, l'obiettivo di questo lavoro era verificare se *A. arborescens* gel mostrasse un'efficacia simile a quella di *A. vera* se applicata come rivestimento a frutti climaterici come pesche e prugne, e l'effetto sulla maturazione di questi frutti.

Caso studio su pesche e prugne

Pesco (*Prunus persica* L.Batsch. 'Red Heaven') e susino (*Prunus salicina* Lindl.) sono stati raccolti nella fase di maturazione commerciale. Per ogni specie sono stati selezionati 4 lotti omogenei in colore e calibro, da 15 frutti ciascuno. Un lotto è stato utilizzato per determinare le proprietà della frutta alla raccolta e i restanti 3 per i seguenti trattamenti: gel di *A. vera*, gel di *A. arborescens* e controllo (acqua distillata). I trattamenti sono stati eseguiti per immersione del frutto nella soluzione corrispondente per 10 min. I gel di *Aloe* sono stati ottenuti tramite il seguente procedimento: le punte poste lungo i margini di ciascuna foglia sono state asportate prima del taglio longitudinale per separare l'epidermide dal parenchima; poi successivamente i filetti di parenchima sono stati frantumati per produrre un gel mucillaginoso il quale è stato filtrato per scartare la frazione fibrosa ottenendo il gel

desiderato e pronto per l'utilizzo. Dopo i trattamenti, la frutta è stata lasciata ad asciugare ed è stata conservata in una camera controllata a 20° C e 85% RH per sei giorni.

La perdita di peso di ogni singolo frutto è stata calcolata in percentuale rispetto al peso del giorno 0. La produzione di etilene e il tasso respiratorio sono stati misurati ponendo ciascun frutto in un bicchiere da 0,5 L chiuso ermeticamente con tappo di gomma per 30 min. La produzione di etilene è aumentata durante lo stoccaggio anche se la frutta trattata, sia con gel di *A. vera* che con gel di *A. arborescens*, hanno mostrato un significativo ritardo nella produzione sia per le susine che per le pesche. La riduzione della produzione di etilene è stata maggiore per le prugne che per pesche (Fig. 3).

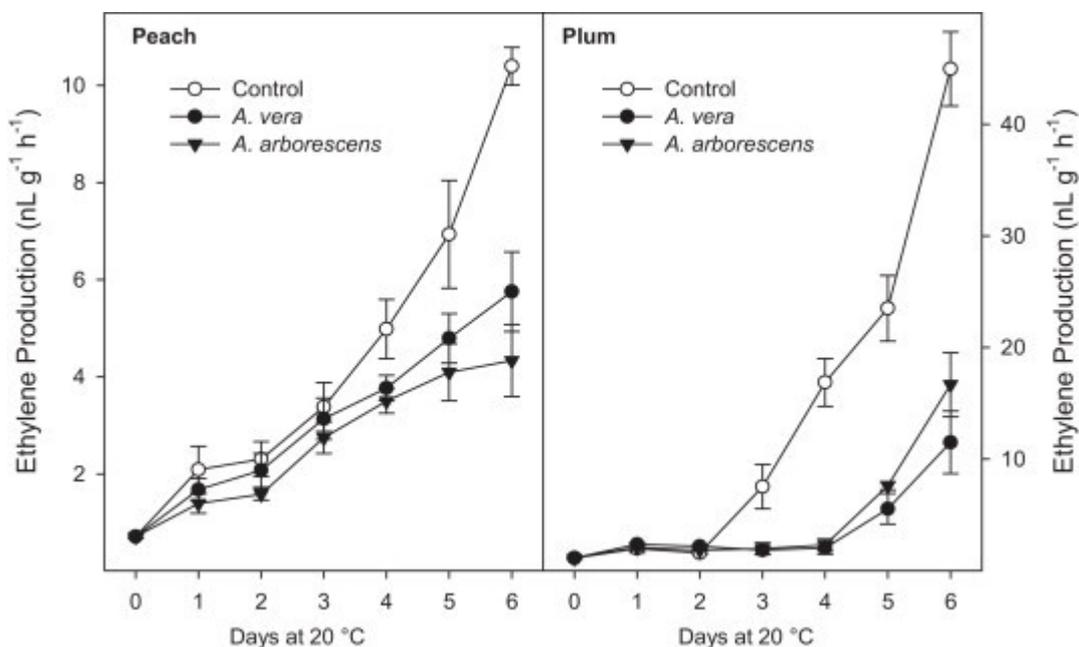


Fig. 3 Tassi di produzione di etilene di pesche e prugne rivestite con gel di *Aloe vera* o *Aloe arborescens* o acqua distillata (controllo) durante la conservazione a 20 °C.

Per quanto riguarda il tasso respiratorio, lo studio ha riportato che non vi sono differenze significative nelle pesche trattate mentre nelle susine entrambi i gel, soprattutto *A. vera*, hanno portato a un ritardo. L'effetto di entrambi i rivestimenti di aloe sulla riduzione di questi parametri fisiologici potrebbe essere attribuito alla modificazione dell'atmosfera interna (aumento della CO₂ e diminuzione di O₂) che potenzialmente riduce la produzione di etilene (Castillo et al., 2010). Tuttavia, queste riduzioni erano maggiori nelle susine che nelle pesche, probabilmente a causa della maggiore adesione del rivestimento alla buccia cerosa della susina rispetto alla pesca. La perdita di peso è aumentata durante lo stoccaggio post-raccolta delle pesche e prugne, con valori finali di circa 6,5% e 5,5% per il controllo. Tuttavia,

queste perdite erano significativamente inferiori nei frutti trattati. Anche i risultati relativi ai parametri di qualità dimostrano che il gel di *A. arborescens* è altrettanto efficace del gel di *A. vera* nel ritardare la maturazione post-raccolta, e questo effetto potrebbe essere attribuito al loro effetto nel ritardare la produzione di etilene climaterico. Le indagini future dovrebbero concentrarsi sull'applicazione del gel di *A. arborescens* a bassa temperatura studiando il suo effetto sugli attributi di qualità e il possibile aumento della durata di conservazione, in particolare per quei frutti sensibili ai danni da freddo dopo una prolungata conservazione (Guillén et al., 2013).

Gomma arabica

Il rivestimento commestibile di gomma arabica (GA) è una tecnica di imballaggio innovativa per ridurre le malattie post-raccolta e prolungare la durata di conservazione di frutta e verdura. Un numero considerevole di ricerche è stato recentemente condotto sull'effetto del rivestimento commestibile di GA sulla conservazione della qualità post-raccolta di frutta. La gomma arabica è un polimero a base di polisaccaridi derivato principalmente dagli steli e dai rami di due specie di Acacia: albero di Acacia *Senegal* e Acacia *Seyal*. Come quasi tutte le gomme e le resine di origine vegetale, è prodotta dalla pianta in seguito a un processo naturale di "gommosi" che si attiva spontaneamente per rimarginare una ferita alla propria integrità superficiale. È una miscela complessa di polisaccaridi e glicoproteine. GA ha trovato ampio utilizzo nell'industria alimentare grazie alle sue proprietà stabilizzanti, emulsionanti e leganti; infatti, è ampiamente utilizzata per la produzione di soft drink e caramelle gombose grazie alla sua caratteristica proprietà di impedire la cristallizzazione degli zuccheri. È ideale anche per pellicole e glasse per dolci grazie alla sua proprietà filmogena. Gli attributi fisici e chimici di GA possono variare in modo significativo in base all'origine geografica e all'età dell'albero, alle condizioni climatiche, all'ambiente del suolo e persino alla posizione dell'essudazione sull'albero. La preparazione della soluzione è la prima fase del processo per formare il rivestimento commestibile di gomma arabica e questo è fatto sciogliendo l'essudato in acqua distillata. Come ogni altro rivestimento commestibile, GA può essere applicato alla frutta tramite immersione, spruzzatura o spazzolatura. Immersione e spruzzatura sono i metodi di applicazione più utilizzati per la loro semplicità. L'efficacia delle due tecniche di applicazione varia a seconda dei prodotti alimentari che vengono rivestiti, e lì vi sono prove contrastanti su quale sia l'approccio più efficace (Atieno et al., 2019). I rivestimenti di polisaccaridi come la gomma arabica mostrano spesso una bassa flessibilità a causa delle forti forze intermolecolari all'interno le catene polimeriche (Lin & Zhao, 2007). Generalmente, saccarosio, glicerolo, sorbitolo, polietilenglicole, mannitolo, xilitolo e il monogliceride acetilato vengono spesso aggiunti ai rivestimenti commestibili per migliorarne la flessibilità e ridurre lo sfaldamento, la formazione di bolle e le screpolature durante l'applicazione (Riva et al., 2020). La gomma arabica, combinata con oli essenziali ed estratti di semi, è stata ampiamente studiata in letteratura con affermazioni di eccellente inibizione dell'attività microbica. Ad esempio, lo sviluppo del *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Salmonella typhimurium* erano significativamente

ridotti quando la gomma arabica veniva combinata con l'olio essenziale di zenzero e l'olio essenziale di pepe nero (Amalraj et al., 2020). È stato riportato che GA ritarda il tasso respiratorio nei prodotti freschi (Khaliq et al., 2015; Saleem et al., 2020) e limita la quantità di ossigeno che la frutta può assorbire. Tuttavia, il contenuto di ossigeno della frutta deve essere mantenuto al di sopra del 3% per evitare la respirazione anaerobica e lo sviluppo di un sapore sgradevole (Riva et al., 2020). L'effetto del rivestimento commestibile di gomma arabica sul tasso di respirazione della frutta è dovuto a un'atmosfera modificata internamente che fa da barriera all'O₂ e alla CO₂ (González-Aguilar et al., 2009). Recentemente è stato riferito che la produzione di etilene nella frutta è ridotta dal rivestimento di gomma arabica; ad esempio, la generazione di etilene del frutto del mango è stata ridotta con successo del 10% con GA da sola o in combinazione con cloruro di calcio al 3% (Khaliq et al., 2015). L'etilene nei frutti di banana durante la conservazione si è ridotto del 10% con GA in combinazione con l'1% di chitosano (Maqbool et al., 2011). Di conseguenza, il rivestimento commestibile di GA funge da barriera efficace tra la superficie dei prodotti e l'ambiente, riduce la produzione di etilene e ritarda i processi di senescenza. Il rivestimento commestibile di GA è particolarmente efficace nel mantenere la fermezza della frutta. Ad esempio, il trattamento con la gomma arabica migliora la fermezza delle mele conservate in celle frigorifere a 0°C e 90-95 di RH. Gomma arabica al 10% combinata con lo 0,4% di olio di cannella migliora significativamente anche la compattezza della papaya (Maqbool et al., 2011). Uno studio condotto da Maqbool et al. (2011) sulle banane utilizzando GA ha mostrato che le banane rivestite da GA avevano una fermezza notevolmente superiore rispetto a quelle non trattate dopo lo stoccaggio. Il colore è un fattore essenziale che influenza l'accettazione dei prodotti freschi da parte dei consumatori. È stato anche segnalato che il rivestimento commestibile di GA ha ritardato lo sviluppo del colore in prodotti come banana fresca (Maqbool et al., 2011), fragola fresca (Tahir et al., 2018) e Avocado fresco (Bill et al., 2014). La perdita di peso è uno dei disturbi fisiologici prevalenti sulla frutta durante il magazzinaggio. La perdita di peso si verifica nella frutta a causa della perdita di umidità e rappresenta circa il 97% della perdita totale di peso totale (Riva et al., 2020). Tuttavia, i film commestibili a base di polisaccaridi come GA proteggono dai gas, rallentando la respirazione e i processi di disidratazione (Khaliq et al., 2015). Questo permette di avere una minor perdita di peso grazie appunto al rivestimento commestibile che rallenta la perdita d'acqua allungando così la shelf-life della frutta. La diminuzione della perdita di peso è probabilmente causata dagli effetti del rivestimento che agisce come

protezione semipermeabile contro la diffusione di ossigeno e anidride carbonica e la traspirazione, riducendo così la respirazione e la perdita di umidità (Ali et al., 2010).

La suscettibilità della frutta al decadimento microbico è dovuta al loro elevato contenuto di umidità e sostanze nutritive, che forniscono un ambiente ideale per la crescita di microrganismi patogeni (Tahir et al., 2019). Sia i funghi che i batteri sono le cause primarie del deperimento dei frutti dopo la raccolta. GA combinato con cloruro di calcio riduce il marciume del frutto di mango al momento della conservazione (Khaliq et al., 2015). GA combinato con olio di semi di baobab africano ha mostrato un ritardo significativo nel decadimento microbico del mirtillo rivestito durante la conservazione a freddo (4 °C) (Tahir et al., 2020).

Vantaggi e svantaggi dell'applicazione

L'effetto del rivestimento commestibile con Gomma Arabica ha fornito risultati molto promettenti sulla qualità della frutta per quanto riguarda tutti gli aspetti visti in precedenza: fermezza, colore, inibizione dell'attività microbica, tasso di respirazione, produzione di etilene e ritardo sulla perdita di peso. Tuttavia, mentre l'uso del rivestimento commestibile di gomma arabica ha prodotto questi positivi risultati, in particolare le recenti indagini condotte finora sul rivestimento commestibile di gomma arabica si sono basate principalmente su scala di laboratorio e non su scala commerciale. Pertanto, ulteriori indagini devono essere eseguite commercialmente per raccogliere ulteriori informazioni sulla sua applicabilità commerciale. Oltre a questo, sono necessarie maggiori informazioni sulla sostenibilità della gomma arabica. Inoltre, sono disponibili pochi studi sull'influenza del rivestimento commestibile di gomma arabica su vari aspetti fisiologici che spesso colpiscono la frutta durante la conservazione (Tiamiyu et al., 2023).

Rivestimenti commestibili a base di pectina su arance tarocco con lievito di biocontrollo

L'arancia tarocco (*Citrus sinensis*) è una varietà pigmentata comunemente coltivata nella costa orientale della Sicilia (Sud Italia), caratterizzata da una concentrazione piuttosto elevata di vitamina C e antociani, che hanno proprietà farmacologiche e antiossidanti (Caruso et al., 2016). Negli ultimi decenni, la produzione e l'esportazione di agrumi sono aumentate in modo significativo, richiedendo tecnologie di conservazione a freddo e nuove strategie per allungare la durata di conservazione dei frutti (Strano et al., 2017). A parte le perdite post-raccolta dovute alla senescenza dei frutti e ai danni fisici che possono verificarsi durante lo stoccaggio (Yahia et al., 2019), la muffa verde e blu, causata dai funghi filamentosi *Penicillium digitatum* e *P. italicum*, sono le più importanti malattie degli agrumi responsabili fino al 60% della perdita di prodotto durante la fase di post-raccolta (Palou, 2014). Per molti anni, il controllo della muffa verde e blu nei centri di confezionamento degli agrumi è stato ottenuto utilizzando fungicidi chimici sintetici come imazalil, generalmente applicato a spruzzo come emulsione di cera sulla superficie del frutto. La combinazione di modifiche legislative e l'aumento della richiesta da parte dei consumatori di prodotti freschi privi di residui di fungicidi, hanno recentemente stimolato la ricerca di strategie di controllo sicure e rispettose dell'ambiente, strategie che devono conservare la frutta fresca, aumentare la shelf-life e ridurre rischi per la salute. L'applicazione di rivestimenti commestibili sulla frutta ha ricevuto notevole attenzione come metodo alternativo all'applicazione convenzionale di cere miscelate con fungicidi (Dhall, 2013; Romanazzi et al., 2017; Tesfay & Magwaza, 2017). Tra i polisaccaridi, la pectina rappresenta un ingrediente adatto per essere utilizzato nella produzione di rivestimenti commestibili, per la sua commestibilità e il suo valore nutraceutico. Inoltre, la pectina può essere facilmente estratta dalle bucce della frutta e recenti tecniche sono state sviluppate per estrarla con processi ecosostenibili (Cho et al., 2019). Sono già stati sviluppati rivestimenti commestibili a base di pectina (PBEC). Applicazione PBEC su pesche (Hussain et al., 2016) e uve (Yinzhe & Shaoying, 2013) hanno mostrato un buon mantenimento della qualità nutrizionale. Inoltre, negli ultimi anni, l'utilizzo post-raccolta di microrganismi antagonisti per il controllo

delle malattie della frutta ha meritato notevole attenzione (Chan & Tian, 2005; Ghaouth et al., 2003; Liu et al., 2013). Il lievito di biocontrollo *Wickerhamomyces anomalus* BS91 (WABS91) è stato studiato per il biocontrollo post-raccolta delle muffe verde e blu di agrumi. Al momento esistono poche informazioni sui rivestimenti commestibili a base di pectina che incorporano *W. anomalus* per prevenire le infezioni naturali degli agrumi nelle celle frigorifere in post-raccolta. Pectina incorporata con il lievito di biocontrollo può rappresentare una soluzione per valutare l'attività antimicotica e il mantenimento della qualità dei frutti. Questa ricerca ha studiato:

- i) l'attività antifungina di PBEC e PBECY (pectina incorporata con *W. Anomalus*) contro *P. digitatum* e *P. italicum* in arance inoculate;
- ii) la vitalità di WABS91 durante lo stoccaggio a bassa temperatura.

Un totale di 360 frutti di arancia Tarocco, precedentemente selezionati e lavati nell'impianto pilota, sono stati sanificati mediante immersione in soluzione al 2% di sodio ipoclorito per 1 minuto, per poi essere lavati con acqua di rubinetto ed asciugati all'aria. Sessanta frutti per trattamento sono stati danneggiati (due lesioni per frutto) con un chiodo sterile (2 mm di diametro × 2 mm di profondità) e ogni lesione è stata inoculata con sospensioni conidiali di *P. digitatum* (PD) o *P. italicum* (PI) (1×10^5 conidi/ml). I frutti sono stati conservati in una scatola di plastica sigillata contenente carta bagnata per mantenere un'umidità relativa elevata (>90% RH), e incubati a 23 ± 2 °C per 24 h. Le arance sono state poi immerse nei diversi rivestimenti e soluzioni. Rivestimento commerciale (WI) contenente gommalacca integrata con imazalil è stato utilizzato come controllo. I frutti ricoperti da PBEC e PBECY sono stati prima immersi nella formulazione di pectina per 5 s, e poi immersi in una soluzione di reticolazione CaCl₂ per 5 s ed asciugati a 34 ± 2 °C per 3 ore (Senturk Parreidt et al., 2018). I frutti ricoperto di WI (cera commerciale + imazalil) sono stati immersi uniformemente nella formulazione per 10 sec. I frutti trattati con lievito (Y) sono stati immersi per 10 secondi in una sospensione cellulare di *W. anomalus*. Il frutto di controllo, precedentemente inoculato con PD e PI, è stato immerso in acqua per 10 secondi. L'incidenza del decadimento è stata valutata dopo 4 giorni e 7 giorni di incubazione a temperatura ambiente.

I risultati hanno mostrato che, come previsto, Y ha effettivamente inibito la crescita del micelio a entrambi i livelli di inoculo del patogeno. Per quanto riguarda i rivestimenti studiati, solo PBECY in entrambi i patogeni, ha inibito la crescita del micelio di PD (10^5 conidi/mL) e di PI (10^5 conidi/mL) sopra il rivestimento e attorno all'area di contatto. Nessuna

inibizione è stata osservata per PBEC, che ha permesso la crescita del micelio sui quadrati di rivestimento. I risultati hanno evidenziato che tra i due rivestimenti commestibili, dopo 7 giorni di incubazione solo PBECY ha mostrato una significativa riduzione dell'incidenza di entrambe le muffe sulle arance ferite, rispetto al controllo non trattato (100%). In particolare, ha ridotto l'incidenza di PD del 90% dopo 4 giorni e del 37% dopo 7 giorni, e ha ridotto l'incidenza di PI del 56% dopo 4 giorni e del 36% dopo 7 giorni, rispetto ai relativi controlli. PBEC ha ridotto l'incidenza di PD del 47% e del 10% e l'incidenza di PI del 14% e 7%, rispettivamente dopo 4 e 7 giorni. Applicazione del solo *W. anomalus* (Y) ha portato ad una riduzione della PD del 68% dopo 4 giorni e del 59% dopo 7 giorni, quest'ultima è statisticamente più efficace di PCBEY (37%) ma per quanto riguarda la riduzione di PI, rispettivamente del 52% e del 31% dopo 4 e 7 giorni, non è statisticamente diversa rispetto a PBECY.

Lo sviluppo di efficaci strategie di controllo per ridurre le perdite post-raccolta e per mantenere alti livelli di qualità durante la shelf-life è ancora una sfida importante. Il recente sviluppo di rivestimenti commestibili utilizzando biopolimeri naturali ha attirato sempre più l'attenzione dei ricercatori, con la possibilità di proporre un'alternativa alle cere sintetiche di uso comune (Arnon et al., 2014; Dhall, 2013; Valencia-Chamorro et al., 2011). C'è da considerare che lo sviluppo di un nuovo rivestimento commestibile contenente un agente biologico deve soddisfare diversi requisiti ma soprattutto deve essere accettato da parte dei consumatori. Nel presente studio, i rivestimenti a base di pectina, da soli (PBEC) e arricchiti con *W. anomalus* (PBECY), sono stati valutati sulle arance, rivelando diverse caratteristiche importanti che li rendono adatti per il controllo dei marciumi post-raccolta (Valdés et al., 2015). Da un confronto tra i due rivestimenti, solo PBECY ha mostrato la capacità di inibire la crescita del micelio di *P. digitatum* e *P. italicum*, quando inoculato a 10^5 conidi/mL. Inoltre, l'aggiunta del lievito di biocontrollo nel rivestimento a base di pectina (PBECY) ha sempre conferito un'elevata capacità di controllare lo sviluppo della muffa verde e blu. Anche se nel presente studio non vi era alcuna differenza significativa nel controllo di PD e PI tra lievito da solo e lievito incorporato nel rivestimento con pectina, il rivestimento a base di pectina ha consentito di migliorare la sopravvivenza del lievito di biocontrollo *W. anomalus* sulla buccia del frutto. Per quanto riguarda questa caratteristica, la capacità del rivestimento a base di pectina di conservare la vitalità del lievito di biocontrollo è di rilevante importanza. Questo aspetto peculiare offre un grande vantaggio durante la conservazione a freddo della frutta, poiché un grande numero di cellule che sopravvivono alla fase di applicazione è

fondamentale per colonizzare la superficie dei frutti e le ferite, fornendo così un efficace controllo biologico. Inoltre, *W. anomalus* è estremamente tollerante agli stress ambientali e si adatta a una vasta gamma di condizioni di crescita, come temperatura (da 3 a 37 °C) e pH (2–12) (Fredlund et al., 2002), rendendolo altamente competitivo in una vasta varietà di habitat, compresa la superficie dei frutti conservati a basse temperature.

Il rivestimento commestibile a base di pectina da solo o addizionato con un lievito antagonista è in grado di influenzare in modo significativo lo sviluppo di infezioni naturali, in confronto con il controllo non trattato; tuttavia, il rivestimento contenente il lievito antagonista ha avuto una migliore efficacia nel controllo dei marciumi post-raccolta, anche durante la shelf life dei frutti, mostrando risultati comparabili con la cera commerciale e l'imazalil.

Vantaggi e svantaggi applicazione

Nel complesso, questo lavoro riporta che un rivestimento commestibile a base di pectina antimicotica di nuova concezione può essere utilizzato con successo durante il post-raccolta degli agrumi, in quanto questo rivestimento fornisce un buon controllo di infezioni naturali post-raccolta e mantiene i parametri di qualità. Considerando che il rivestimento antimicotico a base di pectina è stato ottenuto da sottoprodotti agroindustriali, può risultare vantaggioso il suo utilizzo sia per ridurre gli sprechi e quindi per quanto riguarda la sostenibilità ambientale sia per contribuire in modo significativo allo sviluppo di nuove formulazioni di protettivi alimentari, che beneficiano dell'effetto sinergico tra agenti di biocontrollo e composti naturali bioattivi (Strano et al., 2021).

Zeina come rivestimento commestibile abbinata ad oli essenziali in meloni

È una ben nota verità scientifica che le colture che crescono sul terreno sono particolarmente rischiose, in quanto sono a diretto contatto con fonti di potenziali patogeni (acqua di irrigazione, letame o fertilizzanti, animali, ecc.). Pertanto, individui sensibili come donne in gravidanza, anziani e soggetti immunodepressi nutrono particolari preoccupazioni riguardo ai micidiali *L. monocytogenes* dei frutti che crescono sul terreno. Le bucce dei meloni forniscono un ambiente protettivo unico non solo per *L. monocytogenes*, ma anche per *Escherichia coli* O157:H7 e *Salmonella* spp. (Sapers & Sites, 2003). Processi come tagliare e affettare potrebbero facilmente contaminare le parti commestibili interne di meloni e angurie (Ma et al., 2016). I frutti contaminati presentano anche un rischio di contaminazione incrociata quando sono conservati in cantine, cucine o frigoriferi domestici sprovvisti di isolamento da altri alimenti. Il rivestimento antimicrobico è una promettente tecnologia di confezionamento attivo che potrebbe essere applicata per aumentare la sicurezza di questi frutti interi utilizzando antimicrobici naturali (Appendini & Hotchkiss, 2002).

Materiali commestibili come cellulosa, caseina, zeina, proteine di soia e chitosano potrebbero essere impiegati per il rivestimento della frutta per sopprimere i tassi di respirazione, formando così rivestimenti inodori, insapori e trasparenti con le desiderate proprietà di barriera/permeazione ai gas (Park, 1999). La Zeina è una proteina appartenente al gruppo della prolamine, contenuta nei semi dei cereali, in particolare nel mais ed è utilizzata nella preparazione di fibre sintetiche (proteiche), di polveri da stampaggio, adesivi, nella patinatura della carta ecc. Questo biopolimero sta suscitando un particolare interesse industriale come materiale per imballaggi e rivestimenti grazie alla sua eccezionale capacità di formare film e alla sua solubilità in solventi organici (ad es. etanolo), che consente la deposizione della soluzione di zeina filmogena semplicemente mediante immersione, spruzzatura o spazzolatura. Pertanto, le caratteristiche desiderate di permeabilità ai gas dei rivestimenti di zeina sono state sfruttate per sopprimere la frequenza respiratoria di diversi frutti, come i manghi (Gol & Ramana Rao, 2014), mele (Bai et al., 2003) e pere (Scramin et al., 2011). Anche se la zeina ha eccellenti proprietà filmogene, l'elevata fragilità e la limitata flessibilità riducono la sua ampia applicazione come materiale

di rivestimento. Questo problema è più pronunciato in condizioni di bassa umidità soprattutto nella frutta di grandi dimensioni e dalla superficie ruvida. Molti studi sono stati condotti per plastificare film di zeina con acidi organici, zuccheri, alcoli e acidi grassi (Lawton, 2004; Sessa et al., 2008; Woods et al., 2009). Tuttavia, è stato riferito che i plastificanti più efficaci per la zeina sono i composti fenolici (ad esempio estratti di piante fenoliche e oli essenziali) (Alkan & Yemenicioğlu, 2016; Arcan & Yemenicioğlu, 2011). Gli studi che mirano allo sviluppo di rivestimenti antimicrobici di zeina contro agenti patogeni rischiosi nella frutta fresca intera che cresce nei terreni (come meloni e angurie) sono scarsi. È stato effettuato uno studio sui film a base di zeina con annessi oli essenziali, quali carvacrolo (CAR), timolo (THY) ed eugenolo (UEG) con l'obiettivo di utilizzare sia l'attività antimicrobica degli oli essenziali sia la loro eccellente capacità di plastificazione (Alkan & Yemenicioğlu, 2016). I rivestimenti di zeina contenenti oli essenziali sarebbero una soluzione non solo per limitare la contaminazione batterica patogena, ma anche per ridurre la fragilità e aumentare la flessibilità della zeina.

Vantaggi e svantaggi nell'utilizzo di oli essenziali

L'utilizzo di film antimicrobici flessibili di zeina incorporati con oli essenziali si è rivelato importante perché rivela un prodotto atossico e rispettoso dell'ambiente in alternativa ai più comuni metodi di disinfezione chimica applicati ai meloni per contrastare le proliferazioni di microrganismi indesiderati. Si è dimostrato che i film flessibili sviluppati potrebbero essere impiegati come rivestimenti antimicrobici per l'inibizione di alcuni dei principali batteri patogeni sulla superficie della buccia dei meloni interi. Pertanto, i rivestimenti sviluppati in questo lavoro potrebbe servire non solo come soluzione per controllare in tutto il mondo le infezioni umane originate dai meloni, ma anche per far fronte alle perdite economiche causate dal deterioramento microbico dei meloni interi. Ulteriori studi sono necessari per combinare gli oli essenziali con composti aromatici adatti e per sopprimere gli odori indesiderati dei rivestimenti fatti con tali oli. Inoltre, è necessaria l'ottimizzazione dello spessore del rivestimento in base alla cultivar di melone presa in considerazione poiché differiscono commercialmente per le caratteristiche della buccia (liscia, ruvida o palmata) (Boyacı et al., 2019).

Conclusioni

Gli studi effettuati sui rivestimenti nascono dalla necessità di ottenere prodotti frutticoli che perdurino nel tempo ovvero che mantengono la loro shelf-life per un periodo di tempo più lungo possibile. Tutt'oggi si utilizzano rivestimenti con film plastici con cere abbinati a fungicidi; questi hanno una grande potenzialità nel ridurre il deperimento della frutta e proteggerli dalle condizioni esterne, per contro però risultano non sostenibili a livello ambientale. Inoltre, i fungicidi in alcuni casi possono essere tossici per la salute umana rendendo la buccia del frutto trattato non edibile. La ricerca di rivestimenti commestibili utilizzando prodotti naturali diventa una soluzione alternativa alle tecniche finora utilizzate. Come abbiamo potuto osservare precedentemente sono state prese in considerazione varie sostanze tra cui il chitosano, che ha mostrato ottimi risultati nella conservazione dei kiwi e delle fragole in post-raccolta; il gel di *Aloe vera* e *A. arborescens* su pesche e prugne ritardano in modo significativo la maturazione di questi frutti climaterici; l'utilizzo di gomma arabica come rivestimento commestibile riduce in modo significativo il tasso di respirazione e la produzione di etilene; l'utilizzo di pectina con il lievito di biocontrollo *W. anomalus* ha contrastato in modo rilevante lo sviluppo della muffa verde e blu degli agrumi; infine, l'utilizzo di oli essenziali con materiali commestibili come la zeina ha dimostrato di essere un'alternativa valida contro i patogeni alimentari che si possono trovare nella frutta. La maggior parte di questi studi sono stati effettuati in laboratorio e quindi vi è il bisogno di estendere i test su scale produttive maggiori e valutarne l'effettiva sostenibilità dal punto di vista economico. Inoltre, questi rivestimenti possono essere applicati, in alcuni casi, in preraccolta per ritardare la maturazione dei frutti e proteggerli fin da subito da attacchi di patogeni. I problemi che portano al deperimento e/o scarto di un prodotto frutticolo sono vari ma in particolare la perdita di peso è un fattore molto importante soprattutto perché incide sulla valutazione dei consumatori; i rivestimenti commestibili, oltre a ritardare la maturazione e prevenire gli attacchi fungini, riducono la perdita di peso, generalmente tradotta in perdita d'acqua, poiché limita lo scambio di vapor acqueo con l'ambiente esterno. In conclusione, questi rivestimenti commestibili naturali rappresentano una potenziale soluzione per l'allungamento della shelf-life della frutta, ma ulteriori studi sono necessari per renderne fattibile l'applicazione pratica.

Bibliografia

- Ahmed, M. J., Singh, Z., & Khan, A. S. (2009). Postharvest Aloe vera gel-coating modulates fruit ripening and quality of "Arctic Snow" nectarine kept in ambient and cold storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(5), 1024–1033. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01873.x>
- Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. In *LWT* (Vol. 43, Issue 6, pp. 837–842). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.021>
- Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S., & Alderson, P. G. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58(1), 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.05.005>
- Alkan, D., & Yemenicioğlu, A. (2016). Potential application of natural phenolic antimicrobials and edible film technology against bacterial plant pathogens. *Food Hydrocolloids*, 55, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.025>
- Amalraj, A., Haponiuk, J. T., Thomas, S., & Gopi, S. (2020). Preparation, characterization and antimicrobial activity of polyvinyl alcohol/gum arabic/chitosan composite films incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 366–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.176>
- Appendini, P., & Hotchkiss, J. H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. In *Innovative Food Science & Emerging Technologies* (Vol. 3). www.bioka.
- Arcan, I., & Yemenicioğlu, A. (2011). Incorporating phenolic compounds opens a new perspective to use zein films as flexible bioactive packaging materials. *Food Research International*, 44(2), 550–556. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.034>
- Arnon, H., Zaitsev, Y., Porat, R., & Poverenov, E. (2014). Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.007>
- Artés, F., & Allende, A. (2014). Minimal Processing of Fresh Fruit, Vegetables, and Juices. In *Emerging Technologies for Food Processing* (pp. 583–597). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00031-0>
- Atieno, L., Owino, W., Ateka, E. M., & Ambuko, J. (2019). Influence of Coating Application Methods on the Postharvest Quality of Cassava. *International Journal of Food Science*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2148914>
- Bai, J., Alleyne, V., Hagenmaier, R. D., Mattheis, J. P., & Baldwin, E. A. (n.d.). *Formulation of zein coatings for apples (Malus domestica Borkh) 1*. www.elsevier.com/locate/postharvbio

- Baldwin, E. A., Nisperos, M. O., Chen, X., & Hagenmaier, R. D. (1996). Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. In *Postharvest Biology and Technology* (Vol. 9).
- Bill, M., Sivakumar, D., Korsten, L., & Thompson, A. K. (2014). The efficacy of combined application of edible coatings and thyme oil in inducing resistance components in avocado (*Persea americana* Mill.) against anthracnose during post-harvest storage. *Crop Protection*, 64, 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.015>
- Boyacı, D., Iorio, G., Sozbilen, G. S., Alkan, D., Trabattoni, S., Pucillo, F., Farris, S., & Yemenicioğlu, A. (2019). Development of flexible antimicrobial zein coatings with essential oils for the inhibition of critical pathogens on the surface of whole fruits: Test of coatings on inoculated melons. *Food Packaging and Shelf Life*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100316>
- Caruso, M., Ferlito, F., Licciardello, C., Allegra, M., Strano, M. C., Di Silvestro, S., Russo, M. P., Pietro Paolo, D., Caruso, P., Las Casas, G., Stagno, F., Torrisi, B., Roccuzzo, G., Reforgiato Recupero, G., & Russo, G. (2016). Pomological diversity of the Italian blood orange germplasm. *Scientia Horticulturae*, 213, 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.044>
- Castillo, S., Navarro, D., Zapata, P. J., Guillén, F., Valero, D., Serrano, M., & Martínez-Romero, D. (2010). Antifungal efficacy of Aloe vera in vitro and its use as a preharvest treatment to maintain postharvest table grape quality. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.04.006>
- Chan, Z., & Tian, S. (2005). Interaction of antagonistic yeasts against postharvest pathogens of apple fruit and possible mode of action. *Postharvest Biology and Technology*, 36(2), 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.01.001>
- Chavan, P., Lata, K., Kaur, T., Rezek Jambrak, A., Sharma, S., Roy, S., Sinhmar, A., Thory, R., Pal Singh, G., Aayush, K., & Rout, A. (2023). Recent advances in the preservation of postharvest fruits using edible films and coatings: A comprehensive review. *Food Chemistry*, 135916. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135916>
- Chen, T., Ji, D., Zhang, Z., Li, B., Qin, G., & Tian, S. (2021). Advances and Strategies for Controlling the Quality and Safety of Postharvest Fruit. In *Engineering* (Vol. 7, Issue 8, pp. 1177–1184). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.029>
- Cho, E. H., Jung, H. T., Lee, B. H., Kim, H. S., Rhee, J. K., & Yoo, S. H. (2019). Green process development for apple-peel pectin production by organic acid extraction. *Carbohydrate Polymers*, 204, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.086>
- de Kock, L., Sadan, Z., Arp, R., & Upadhyaya, P. (2020). A circular economy response to plastic pollution: Current policy landscape and consumer perception. In *South African Journal of Science* (Vol. 116, Issues 5–6). Academy of Science of South Africa. <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/8097>
- Dhall, R. K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 53, Issue 5, pp. 435–450). <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>

- Díaz-Montes, E., & Castro-Muñoz, R. (2021). Edible films and coatings as food-quality preservers: An overview. In *Foods* (Vol. 10, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods10020249>
- Duan, J., Wu, R., Strik, B. C., & Zhao, Y. (2011). Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.08.006>
- Eshun, K., & He, Q. (2004). Aloe Vera: A Valuable Ingredient for the Food, Pharmaceutical and Cosmetic Industries - A Review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 44, Issue 2, pp. 91–96). <https://doi.org/10.1080/10408690490424694>
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 22, Issue 6, pp. 292–303). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.02.004>
- Fisk, C. L., Silver, A. M., Strik, B. C., & Zhao, Y. (2008). Postharvest quality of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* 'Ananasnaya') associated with packaging and storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.07.015>
- Fortunati, E., Giovanale, G., Luzi, F., Mazzaglia, A., Kenny, J. M., Torre, L., & Balestra, G. M. (2017). Effective postharvest preservation of kiwifruit and romaine lettuce with a chitosan hydrochloride coating. *Coatings*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/coatings7110196>
- Fredlund, E., Druvefors, U., Boysen, M. E., Lingsten, K.-J., & Schnu, J. (n.d.). *Physiological characteristics of the biocontrol yeast Pichia anomala J121*. www.fems-microbiology.org
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 45, Issue 2, pp. 273–283). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011>
- Gayed, A. A. N. A., Shaarawi, S. A. M. A., Elkhishen, M. A., & Elsherbini, N. R. M. (2017). Efeito da aplicação pré-colheita de cloreto de cálcio e quitosano na qualidade e no armazenamento de frutos de pessegueiro da variedade 'early swelling' durante o armazenamento a frio. *Ciencia e Agrotecnologia*, 41(2), 220–231. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412005917>
- Ghaouth, A. El, Wilson, C. L., & Wisniewski, M. (n.d.). *Control of Postharvest Decay of Apple Fruit with Candida saitoana and Induction of Defense Responses*.
- Giannakourou, M. C., & Tsironi, T. N. (2021). Application of processing and packaging hurdles for fresh-cut fruits and vegetables preservation. In *Foods* (Vol. 10, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods10040830>
- Giorgio Menaggia, & Wilma Roncalli. (2015). *L'industria agroalimentare Processi e tecnologie: Vol. 1°*. Franco Lucisano.

- Gol, N. B., Patel, P. R., & Rao, T. V. R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, *85*, 185–195. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008>
- Gol, N. B., & Ramana Rao, T. V. (2014). Influence of zein and gelatin coatings on the postharvest quality and shelf life extension of mango (*Mangifera indica* L.). *Fruits*, *69*(2), 101–115. <https://doi.org/10.1051/fruits/2014002>
- González-Aguilar, G. A., Valenzuela-Soto, E., Lizardi-Mendoza, J., Goycoolea, F., Martínez-Téllez, M. A., Villegas-Ochoa, M. A., Monroy-García, I. N., & Ayala-Zavala, J. F. (2009). Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya “Maradol.” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *89*(1), 15–23. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3405>
- Gorny, J. R., Hess-Pierce, B., Cifuentes, R. A., & Kader, A. A. (2002). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. In *Postharvest Biology and Technology* (Vol. 24). www.elsevier.com/locate/postharvbio
- Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Valero, D., Serrano, M., Castillo, S., & Martínez-Romero, D. (2013). Aloe arborescens and Aloe vera gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *83*, 54–57. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.011>
- Guimarães, A., Abrunhosa, L., Pastrana, L. M., & Cerqueira, M. A. (2018). Edible Films and Coatings as Carriers of Living Microorganisms: A New Strategy Towards Biopreservation and Healthier Foods. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 17, Issue 3, pp. 594–614). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12345>
- He, Y., Bose, S. K., Wang, W., Jia, X., Lu, H., & Yin, H. (2018). Pre-harvest treatment of chitosan oligosaccharides improved strawberry fruit quality. *International Journal of Molecular Sciences*, *19*(8). <https://doi.org/10.3390/ijms19082194>
- Hussain, P. R., Suradkar, P. P., Wani, A. M., & Dar, M. A. (2016). Potential of carboxymethyl cellulose and γ -irradiation to maintain quality and control disease of peach fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, *82*, 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.09.047>
- Jongsri, P., Wangsomboondee, T., Rojsitthisak, P., & Seraypheap, K. (2016). Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. *LWT*, *73*, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.038>
- Khaliq, G., Muda Mohamed, M. T., Ali, A., Ding, P., & Ghazali, H. M. (2015). Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*, *190*, 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.020>

- Khodaei, D., Oltrogge, K., & Hamidi-Esfahani, Z. (2020). Preparation and characterization of blended edible films manufactured using gelatin, tragacanth gum and, Persian gum. *LWT*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108617>
- Kumarihami, H. M. P. C., Kim, J. G., Kim, Y. H., Lee, M., Lee, Y. S., Kwack, Y. B., & Kim, J. (2021). Preharvest application of chitosan improves the postharvest life of 'garmrok' kiwifruit through the modulation of genes related to ethylene biosynthesis, cell wall modification and lignin metabolism. *Foods*, 10(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/foods10020373>
- Lawton, J. W. (2004). *Plasticizers for Zein: Their Effect on Tensile Properties and Water Absorption of Zein Films* (Vol. 81, Issue 1).
- Lin, D., & Zhao, Y. (n.d.). *Comprehensive Food Science and Food Safety Reviews in Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables*.
- Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Droby, S., & Liu, Y. (2013). Review: Utilization of antagonistic yeasts to manage postharvest fungal diseases of fruit. In *International Journal of Food Microbiology* (Vol. 167, Issue 2, pp. 153–160). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.09.004>
- Ma, Q., Zhang, Y., Critzer, F., Davidson, P. M., & Zhong, Q. (2016). Quality attributes and microbial survival on whole cantaloupes with antimicrobial coatings containing chitosan, lauric arginate, cinnamon oil and ethylenediaminetetraacetic acid. *International Journal of Food Microbiology*, 235, 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.030>
- Maqbool, M., Ali, A., Alderson, P. G., Mohamed, M. T. M., Siddiqui, Y., & Zahid, N. (2011). Postharvest application of gum arabic and essential oils for controlling anthracnose and quality of banana and papaya during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.002>
- Maqbool, M., Ali, A., Alderson, P. G., Zahid, N., & Siddiqui, Y. (2011). Effect of a novel edible composite coating based on gum arabic and chitosan on biochemical and physiological responses of banana fruits during cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), 5474–5482. <https://doi.org/10.1021/jf200623m>
- Martínez-Romero, D., Albuquerque, N., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: A new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.09.006>
- Motelica, L., Fikai, D., Fikai, A., Oprea, O. C., Kaya, D. A., & Andronesco, E. (2020). Biodegradable antimicrobial food packaging: Trends and perspectives. In *Foods* (Vol. 9, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods9101438>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 234, pp. 409–430). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>

- Palou, L. (2014). *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* (Green Mold, Blue Mold). In *Postharvest Decay: Control Strategies* (pp. 45–102). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00002-8>
- Park, H. J. (n.d.). *Development of advanced edible coatings for fruits*.
- Popović, S. Z., Lazić, V. L., Hromiš, N. M., Šuput, D. Z., & Bulut, S. N. (2018). Biopolymer Packaging Materials for Food Shelf-Life Prolongation. In *Biopolymers for Food Design* (pp. 223–277). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811449-0.00008-6>
- Reddy, M. V. B., Belkacemi, K., Corcuff, R., Castaigne, F., & Arul, J. (2000). Effect of pre-harvest chitosan sprays on post-harvest infection by *Botrytis cinerea* and quality of strawberry fruit. In *Postharvest Biology and Technology* (Vol. 20). www.elsevier.com/locate/postharvbio
- Riva, S. C., Opara, U. O., & Fawole, O. A. (2020). Recent developments on postharvest application of edible coatings on stone fruit: A review. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 262). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109074>
- Romanazzi, G., Feliziani, E., Baños, S. B., & Sivakumar, D. (2017). Shelf life extension of fresh fruit and vegetables by chitosan treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(3), 579–601. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.900474>
- Romanazzi, G., Gabler, F. M., & Smilanick, J. L. (2006). Preharvest chitosan and postharvest UV irradiation treatments suppress gray mold of table grapes. *Plant Disease*, 90(4), 445–450. <https://doi.org/10.1094/PD-90-0445>
- Romanazzi, G., Nigro, F., Ippolito, A., Di Venere, D., & Salerno, M. (2002). Effects of Pre- and Postharvest Chitosan Treatments to Control Storage Grey Mold of Table Grapes. In *1862 JOURNAL OF FOOD SCIENCE* (Vol. 67).
- Saleem, M. S., Ejaz, S., Anjum, M. A., Nawaz, A., Naz, S., Hussain, S., Ali, S., & Canan, İ. (2020). Postharvest application of gum arabic edible coating delays ripening and maintains quality of persimmon fruits during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(8). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14583>
- Sapers, G. M., & Sites, J. E. (2003). Efficacy of 1% Hydrogen Peroxide Wash in Decontaminating Apples and Cantaloupe Melons. In *JOURNAL OF FOOD SCIENCE* (Vol. 68). www.ift.org
- Scramin, J. A., de Britto, D., Forato, L. A., Bernardes-Filho, R., Colnago, L. A., & Assis, O. B. G. (2011). Characterisation of zein-oleic acid films and applications in fruit coating. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(10), 2145–2152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02729.x>
- Senturk Parreidt, T., Schmid, M., & Müller, K. (2018). Effect of Dipping and Vacuum Impregnation Coating Techniques with Alginate Based Coating on Physical Quality Parameters of Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, 83(4), 929–936. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14091>
- Serrano, M., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., & Valero, D. (2006). Use of Aloe vera gel coating preserves the functional properties of table

grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 3882–3886.
<https://doi.org/10.1021/jf060168p>

- Sessa, D. J., Mohamed, A., & Byars, J. A. (2008). Chemistry and physical properties of melt-processed and solution-cross-linked corn zein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(16), 7067–7075. <https://doi.org/10.1021/jf800712k>
- Siripatrawan, U., & Harte, B. R. (2010). Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 770–775. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.003>
- Strano, M. C., Altieri, G., Admane, N., Genovese, F., & Di Renzo, G. C. (2017). Advance in Citrus Postharvest Management: Diseases, Cold Storage and Quality Evaluation. In *Citrus Pathology*. InTech. <https://doi.org/10.5772/66518>
- Strano, M. C., Restuccia, C., De Leo, R., Mangiameli, S., Bedin, E., Allegra, M., Quartieri, A., Cirvilleri, G., & Pulvirenti, A. (2021). Efficacy of an antifungal edible coating for the quality maintenance of Tarocco orange fruit during cold storage. *Crop Protection*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105719>
- Tahir, H. E., Xiaobo, Z., Jiyong, S., Mahunu, G. K., Zhai, X., & Mariod, A. A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 42(3). <https://doi.org/10.1111/jfbc.12527>
- Tahir, H. E., Xiaobo, Z., Mahunu, G. K., Arslan, M., Abdalhai, M., & Zhihua, L. (2019). Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: A review. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 224). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115141>
- Tahir, H. E., Zhihua, L., Mahunu, G. K., Xiaobo, Z., Arslan, M., Xiaowei, H., Yang, Z., & Mariod, A. A. (2020). Effect of gum arabic edible coating incorporated with African baobab pulp extract on postharvest quality of cold stored blueberries. *Food Science and Biotechnology*, 29(2), 217–226. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00659-9>
- Tesfay, S. Z., & Magwaza, L. S. (2017). Evaluating the efficacy of moringa leaf extract, chitosan and carboxymethyl cellulose as edible coatings for enhancing quality and extending postharvest life of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit. *Food Packaging and Shelf Life*, 11, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.12.001>
- Tezotto-Uliana, J. V., Fargoni, G. P., Geerdink, G. M., & Kluge, R. A. (2014). Chitosan applications pre- or postharvest prolong raspberry shelf-life quality. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.023>
- Tiamiyu, Q. O., Adebayo, S. E., & Yusuf, A. A. (2023). Gum Arabic edible coating and its application in preservation of fresh fruits and vegetables: A review. In *Food Chemistry Advances* (Vol. 2). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100251>
- Valencia-Chamorro, S. A., Palou, L., Delřio, M. A., & Pérez-Gago, M. B. (2011). Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(9), 872–900. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.485705>

- Van De Velde, F., Tarola, A. M., Güemes, D., & Pirovani, M. E. (2013). Bioactive compounds and antioxidant capacity of camarosa and selva strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Foods*, 2(2), 120–131. <https://doi.org/10.3390/foods2020120>
- Vital, A. C. P., Guerrero, A., Kempinski, E. M. B. C., Monteschio, J. de O., Sary, C., Ramos, T. R., Campo, M. del M., & Prado, I. N. do. (2018). Consumer profile and acceptability of cooked beef steaks with edible and active coating containing oregano and rosemary essential oils. *Meat Science*, 143, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.035>
- Vu, K. D., Hollingsworth, R. G., Leroux, E., Salmieri, S., & Lacroix, M. (2011). Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. *Food Research International*, 44(1), 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.037>
- Woods, K. K., Selling, G. W., & Cooke, P. H. (2009). Compatible blends of zein and polyvinylpyrrolidone. *Journal of Polymers and the Environment*, 17(2), 115–122. <https://doi.org/10.1007/s10924-009-0128-9>
- Yahia, E. M., Fonseca, J. M., & Kitinoja, L. (2019). Postharvest losses and waste. In *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities* (pp. 43–69). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00002-X>
- Yinzhe, R., & Shaoying, Z. (2013). Effect of Carboxymethyl Cellulose and Alginate Coating Combined with Brewer Yeast on Postharvest Grape Preservation. *ISRN Agronomy*, 2013, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2013/871396>
- Zapata, P. J., Navarro, D., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., & Serrano, M. (2013). Characterisation of gels from different *Aloe* spp. as antifungal treatment: Potential crops for industrial applications. *Industrial Crops and Products*, 42(1), 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.002>
- Zheng, F., Zheng, W., Li, L., Pan, S., Liu, M., Zhang, W., Liu, H., & Zhu, C. (2017). Chitosan Controls Postharvest Decay and Elicits Defense Response in Kiwifruit. *Food and Bioprocess Technology*, 10(11), 1937–1945. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1957-5>