



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

Corso di laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Alimentari

**Stress termici nel post-raccolta di *Pleurotus ostreatus*:
effetti su qualità e contenuto nutrizionale**

Relatore: prof. Carlo Nicoletto

Correlatore: dott.ssa Marina De Bonis

Laureando: Fabrizio Ceglie
Matricola n. 2023410

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Indice

<i>Riassunto</i>	5
<i>Abstract</i>	7
1. Introduzione	9
1.1 Panoramica attuale sulla produzione dei funghi coltivati nel mondo	9
1.1.1 La produzione di funghi in Europa	11
1.1.2 La produzione di funghi in Italia	12
1.2 <i>Pleurotus ostreatus</i>	13
1.2.1 <i>Pleurotus ostreatus</i> : proprietà nutrizionali.....	14
1.3 Modalità di trasformazione principali	15
1.4 Metabolismo dei funghi nel post raccolta	18
1.5 Tecniche di conservazione in post raccolta	19
1.5.1 Packaging e atmosfera modificata.....	19
1.5.2 Temperatura.....	20
2. Scopo del lavoro	23
3. Materiali e metodi	25
3.1 Sito sperimentale e trattamenti	25
3.2 Rilievi CO ₂ e O ₂	27
3.3 Rilievi morfologici	28
3.3.1 Peso	28
3.3.2 Colore	28
3.4 TPA (Texture Profile Analysis).....	30
3.5 Analisi qualitative	31
3.6. Determinazione antiossidanti e polifenoli totali	32
3.7 Analisi contenuto fibra totale	33
3.8 Analisi contenuto di azoto	33
3.9 Analisi amminoacidi.....	33
4. Risultati	35
4.1 Peso	35
4.2 Colore	36
4.3 Rilievi O ₂ e CO ₂	38

4.4 Texture	39
4.4.1 Durezza	39
4.4.2 Elasticità.....	40
4.4.3 Gommosità	41
4.4.4 Coesività	41
4.4.5 Masticabilità	42
4.4.6 Resilienza	43
4.5 Analisi qualitative	43
4.5.1 Solidi solubili.....	43
4.5.2 pH	44
4.5.3 Acidità titolabile.....	45
4.5.4 Conducibilità elettrica.....	45
4.6 Antiossidanti e polifenoli totali.....	46
4.7 Composizione amminoacidica	47
4.8 Contenuto di fibra totale	49
5. <i>Discussione</i>	51
5.1 Peso	51
5.2 Colore	51
5.3 Proprietà meccaniche.....	53
5.4 Analisi qualitative	54
5.5 Attività antiossidante e contenuto polifenoli	54
5.6 Contenuto proteico e composizione amminoacidica	55
6. <i>Conclusioni</i>	57
<i>Bibliografia</i>	59

Riassunto

Negli ultimi anni il crescente interesse nei confronti dei funghi eduli e medicinali ha portato ad un notevole incremento produttivo a livello mondiale. I funghi sono tra i prodotti ortofrutticoli più deperibili, pertanto, è di fondamentale importanza una corretta gestione nel post raccolta per cercare di prolungare la loro conservabilità.

Lo scopo di questa tesi è stato quello di valutare le potenziali problematiche che si possono manifestare nel post raccolta del *Pleurotus ostreatus*, soprattutto in relazione all'interruzione della catena del freddo durante la fase di trasporto e durante lo stoccaggio presso la grande distribuzione.

Nel corso della sperimentazione i funghi sono stati sottoposti a quattro diversi trattamenti di conservazione (stress) con l'obiettivo di analizzare il periodo di conservabilità e l'impatto sulle caratteristiche qualitative e nutrizionali. I trattamenti considerati sono stati: conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la catena del freddo.

Sono stati eseguiti giornalmente rilievi del contenuto di CO₂ ed O₂ per valutare i cambiamenti dell'atmosfera interna al packaging. Sono state condotte valutazioni del peso, del colore e della texture, oltre ad analisi qualitative sui corpi fruttiferi per la determinazione di sostanza secca, pH, conducibilità elettrica, contenuto di solidi solubili e acidità titolabile. In aggiunta, è stato valutato il contenuto di antiossidanti totali, fenoli totali, di fibra totale, azoto e di amminoacidi.

La temperatura è il parametro che ha inciso maggiormente sulla conservabilità di *P. ostreatus*. Una conservazione inadeguata determina variazioni di colore imputabili all'imbrunimento e all'ingiallimento dei corpi fruttiferi. Temperature più alte sono associate all'aumento del metabolismo traspiratorio del prodotto e a perdite di umidità che possono arrivare fino al 5%. La riduzione del contenuto d'acqua, inoltre, si riflette direttamente sul turgore cellulare del prodotto e quindi sulle sue caratteristiche meccaniche. I funghi che sono stati conservati adeguatamente attraverso il trattamento 1 con temperatura fissa di 4°C hanno preservato per più tempo la propria texture, al contrario quelli conservati a temperatura non idonea sono andati incontro ad un rapido decadimento dopo pochi giorni. Tra i trattamenti 3 e 4 non sono state riscontrate differenze significative nella stragrande maggioranza dei parametri esaminati. Nel trattamento 2 in cui i campioni sono stati soggetti a stress termico solamente durante il giorno del trasporto è stato osservato che il cambiamento dei parametri qualitativi analizzati si protrae anche durante la fase di distribuzione.

Abstract

The production of cultivated mushrooms in the world is constantly growing as a result of their good nutritional and medicinal properties. Mushrooms are one of the most perishable foods, thus a correct post-harvest management is essential to extend their shelf-life.

The aim of this thesis has been the evaluation of the problems that could arise during the *P. ostreatus* postharvest, especially in relation with the break in the cold chain during transport and distribution phase.

In this experiment mushrooms have been subjected to four preservation treatments (stress), with the aim of analyzing the changes in the nutritional and qualitative properties. The storage treatments considered were: storage at 4°C for all the shelf-life (Tr1); storage at 18°C during the transport and 4°C at the large distribution (Tr2); storage at 4°C during the transport and 18°C at the large distribution (Tr3); storage at 18°C during the transport and at the large distribution (Tr4).

Everyday were carried out the CO₂ and O₂ concentration for the evaluation of the changes in the atmosphere inside the packaging. Moreover, the weight, the colour and the texture analysis on the fruiting body were conducted. Qualitative analyses were performed for the evaluation of dry matter, pH, electrical conductivity, content of soluble solids and titratable acidity. In addition, the content of total antioxidants and total phenols was evaluated. The analysis of the content of fiber, nitrogen and amino acids were assigned to an external laboratory.

Temperature is the main factor that has affected *P. ostreatus* shelf life, because an unsuitable conservation limits their shelf-life. High temperature were associated with the increase of the transpiratory metabolism and weight loss that could arrive until the 5%. The water loss is reflected on the cellular turgor and on the product texture.

Mushrooms stored by the treatment 1 at 4°C for all the shelf-life preserved their texture for more time, unlike mushrooms subjected to an unsuitable temperature undergoes a rapid decay. There aren't big differences between the treatment 3 and 4 for all the parameters examined.

In conclusion the samples stored by the treatment 2 were subjected to a thermal stress during the transport that determines changes that continue also during the distribution phase.

1. Introduzione

1.1 Panoramica attuale sulla produzione dei funghi coltivati nel mondo

La coltivazione dei funghi è iniziata secoli fa in Cina, dove questo alimento veniva consumato per le sue proprietà nutrizionali, curative e terapeutiche. Si tratta di un prodotto che oggi è diffuso in tutto il mondo, soprattutto nei paesi sviluppati dove il sistema di produzione ha raggiunto importanti livelli di meccanizzazione ed automatizzazione (Marshall et al., 2009).

I funghi possono essere coltivati facilmente poiché non richiedono grandi aree di produzione, possono essere prodotti durante tutto l'anno e con materiali di partenza a basso costo. Queste caratteristiche rendono possibile la coltivazione di questo prodotto anche nei paesi in via di sviluppo, consentendo di generare un'eccellente fonte di cibo per risolvere i problemi di malnutrizione, aumentare le opportunità di lavoro e promuovere l'economia locale (Chitra et al., 2018).

I funghi coltivati sono per lo più saprofiti, cioè si nutrono di sostanza organica in decomposizione. I substrati che possono essere sfruttati per la loro coltivazione possono essere di origine agricola, come per esempio semi di cotone, segatura, paglia, oppure di origine alimentare, come scarti di frutta e verdura (Muswati et al., 2021). Al termine della coltivazione i substrati di crescita rappresentano un prodotto a valore aggiunto, perché possono essere utilizzati come ammendante organico per l'agricoltura, oppure possono essere impiegati per produrre energia da impianti a biogas, riducendo in questo modo l'impatto ambientale della gestione dei rifiuti ed i costi che questa comporterebbe (Rashad et al., 2019).

Come si evince dalla figura 1, esistono 3 macrocategorie di funghi ad oggi in commercio: i funghi eduli (54%), i funghi ad uso medico (38%) ed i funghi selvatici (8%) (Royse et al., 2014).

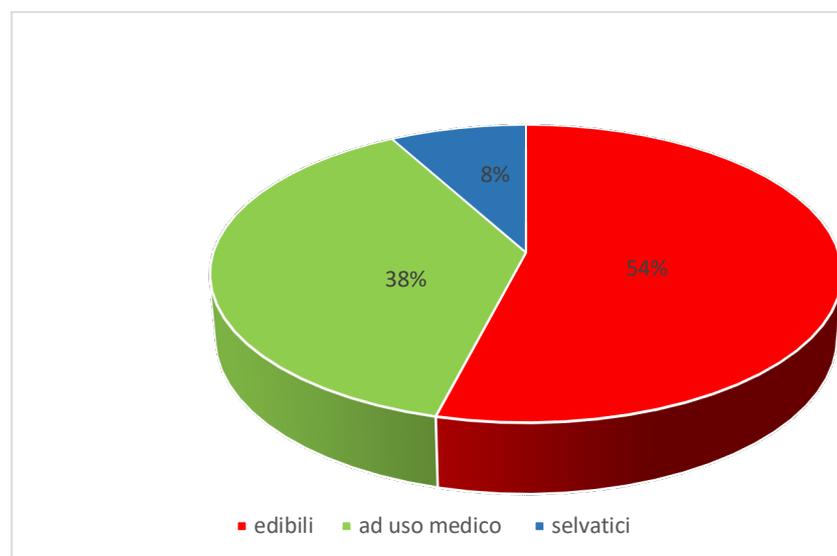


Figura 1: Scenario produttivo dei funghi nel mondo.

Negli ultimi 30 anni il crescente interesse nei confronti delle specie eduli e di quelle ad uso medico, ha portato ad un notevole incremento produttivo a livello mondiale, infatti, nel 1978 il volume di funghi prodotto era di circa 1 milione di tonnellate, nel 2013 la produzione è arrivata fino a 34 milioni di tonnellate (Royse et al., 2017).

Il mercato mondiale dei funghi è dominato da cinque generi, i quali nel loro insieme rappresentano l'85% dell'offerta mondiale (Royse et al., 2014). La specie più coltivata è *Agaricus bisporus* che rappresenta circa il 30% del totale della produzione. Si tratta di una specie coltivata soprattutto in Europa, Nord America e Cina, con un volume di vendite annuali di milioni di tonnellate, corrispondenti ad un fatturato di miliardi di dollari. Al secondo posto con il 27%, vi è il genere *Pleurotus*, le cui specie più diffuse sono *P. ostreatus*, *P. cornucopiae*, *P. eryngii*, *P. djmaor* e *P. sajor-caju*, la cui produzione deriva per l'87% dalla Cina e da altri paesi dell'Asia, come il Giappone, la Corea, la Thailandia e l'India. *P. ostreatus* è la specie più coltivata e fu introdotta per la prima volta dalla Cina durante la Seconda guerra mondiale (de Mattos-Shiple, 2016).

Lentinula edodes rappresenta il 17% della produzione mondiale ed è una specie particolarmente diffusa in Cina, Giappone e Corea del sud. Infine a seguire *Auricularia* e *Flammulina* rappresentano rispettivamente il 6% ed il 5% dell'offerta (Royse et al. 2017).

Al giorno d'oggi il leader mondiale della produzione di funghi coltivati è la Cina, con 5 milioni di tonnellate all'anno di funghi prodotti (Fig. 2), volume che rappresenta circa il 75% del totale (Miaschi, 2017). L'Europa con il 15% si trova al secondo posto, con una tendenza produttiva in aumento nei prossimi anni, mentre l'America copre circa il 5% della produzione, con un mercato in costante espansione a causa della diffusione di uno stile alimentare più sano.

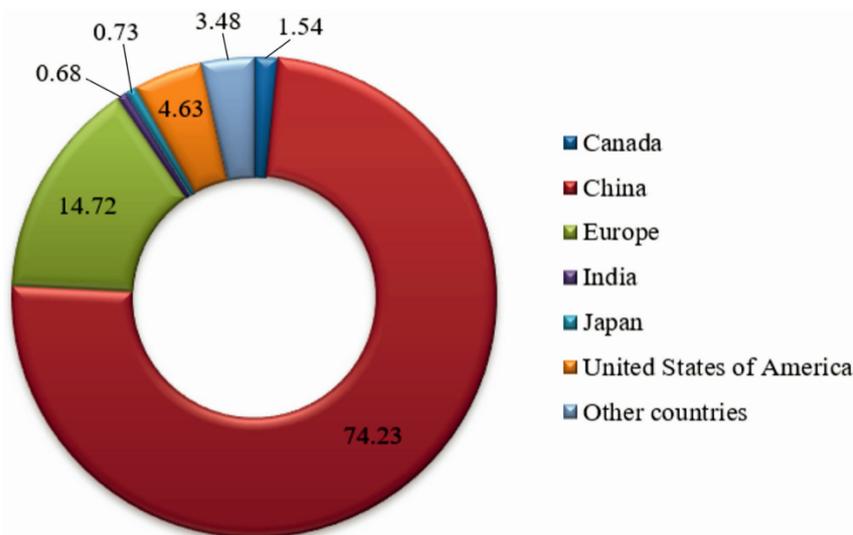


Figura 2: La produzione dei funghi nel mondo (Royse et al., 2013).

I più importanti consumatori a livello mondiale sono: la Cina, l'Europa, gli Stati Uniti, il Giappone, il Canada e l'India, ma negli ultimi anni si sta verificando un aumento della domanda anche da parte di alcuni paesi dell'Africa e del Medio Oriente.

La maggior parte dei funghi eduli è consumata come prodotto fresco, mentre la restante parte della produzione viene trasformata e processata per l'ottenimento di alimenti essiccati ed in scatola (Ferraro, 2022).

La Cina dal 2004 rappresenta il più grande esportatore di funghi freschi e trasformati. Gli USA ed alcuni paesi europei tra cui anche l'Italia sono invece grandi importatori poiché la produzione nazionale non riesce a soddisfare la domanda interna (Freshplaza, 2019).

1.1.1 La produzione di funghi in Europa

Come già accennato in precedenza, l'Europa ha un ruolo importante nella produzione di funghi a livello mondiale. Dall'analisi dei dati della FAOSTAT, si evince infatti, che nel 2018 il volume totale prodotto tra funghi e tartufi sia stato nel complesso di 1.3 milioni di tonnellate.

La maggior parte dei funghi viene commercializzata all'interno dell'Unione Europea, mentre le esportazioni e importazioni nei paesi extra UE sono limitate a causa dell'elevata deperibilità del prodotto (Szwedziak, 2018).

Il leader produttivo è l'Olanda dove la specie più coltivata è *Agaricus bisporus* con 300.000 tonnellate di funghi all'anno, un terzo dei quali è destinato al consumo fresco e di cui una buona parte viene esportata. La Polonia si trova al secondo posto, con circa 200.000 tonnellate prodotte, soprattutto per le specie appartenenti al genere *Agaricus* e *Pleurotus*, delle quali una buona parte è destinata all'esportazione verso il Regno Unito (Szwedziak e Polańczyk, 2018).

Infine è stato rilevato un significativo aumento produttivo anche in altri stati come Spagna, Germania ed Italia. In Europa il settore dei funghi, sia freschi sia trasformati, viene sostenuto e tutelato dal GEPC (Groupement Européen de Producteurs de Champignon), un ente che si occupa della gestione di varie questioni di interesse per i coltivatori di funghi, come per esempio: informazioni relative al mercato, al monitoraggio dei flussi internazionali o alla gestione dei progetti di ricerca volti a migliorare le condizioni di coltivazione.

In Europa il consumo di funghi è in espansione (Fig. 3), soprattutto in relazione ad un aumento dell'interesse dei consumatori verso alimenti sani e con buone caratteristiche nutrizionali ed alla crescente attenzione delle proprietà dei funghi ad uso medico (Ferraro et al., 2022).

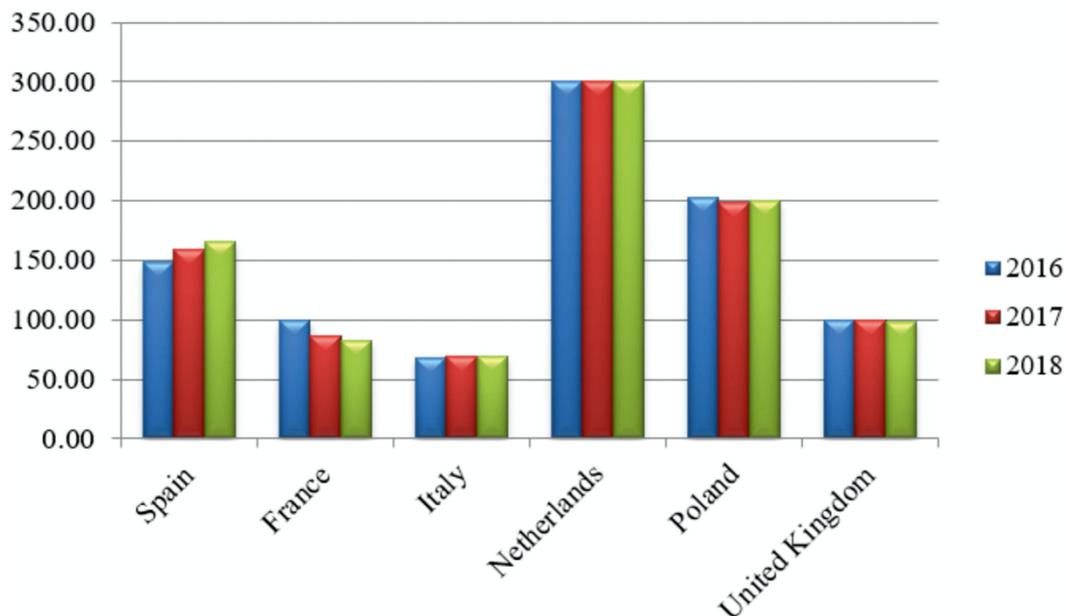


Figura 3 : Volumi produttivi (t) di funghi a livello europeo fra il 2016 e 2018 (Ferraro et al., 2020).

1.1.2 La produzione di funghi in Italia

In Italia il mondo della fungicoltura ha un'origine piuttosto recente, considerando che ha iniziato a svilupparsi nel secolo scorso grazie alla diffusione delle tecniche di coltivazione da parte dei migranti da Francia e Belgio (Maffi, 2011).

L'Italia si trova al sesto posto in Europa con una produzione annua di circa 70.000 tonnellate e un trend in costante aumento negli ultimi anni (EUROSTAT database, 2019).

L'87% della produzione nazionale è destinata al mercato del fresco e la restante parte all'industria per l'ottenimento di alimenti in scatola, disidratati e congelati. La quantità di funghi consumata è maggiore rispetto a quella prodotta; pertanto, la domanda interna viene soddisfatta attraverso le importazioni da altri paesi europei: dall'analisi del report della FAOSTAT viene indicato che nel 2017 siano state importate circa 17.000 tonnellate di funghi freschi e 15.000 tonnellate di funghi in scatola in Italia.

La produzione nazionale è limitata a poche specie, infatti come si può constatare dai dati dell'Associazione italiana fungicoltori (AIF), la specie più coltivata è *A. bisporus* (80%), seguita da *Pleurotus*, in particolare *P. ostreatus* e *P. eryngii*, *Cyclocybe aegerita* e *Lentinula edodes*.

Oltre il 50% della produzione è concentrata nella regione Veneto, soprattutto nelle zone di Treviso, Belluno, Vicenza e Padova, che dispongono di tecnologie ed impianti produttivi sofisticati e all'avanguardia. La parte rimanente è data dall'Emilia Romagna e dalle regioni dell'Italia meridionale.

Negli ultimi quarant'anni diverse piccole e medie imprese si sono riunite in cooperative, come il Consorzio dei Funghi di Treviso in Veneto, che comprende diverse aziende agricole più o meno diversificate nelle specie di funghi coltivati e nella tipologia di produzione. Lo stesso consorzio fa parte dell'Associazione Italiana fungicultori (AIF), fondata nel 1961 ed a cui appartengono aziende dislocate in tutto il paese, le quali sono certificate ed in grado di fornire prodotti con standard qualitativi elevati, a questo scopo infatti nel 2015 è stato costituito il consorzio "Fungo Italiano Certificato", con l'obiettivo di tutelare e valorizzare la coltivazione dei funghi in Italia.

1.2 *Pleurotus ostreatus*

I funghi appartenenti al genere *Pleurotus*, chiamati anche "Funghi ostrica", sono dei funghi edibili e rappresentano la seconda specie più coltivata al mondo dopo *l'Agaricus bisporus* (Royse, 2017).

Il nome scientifico fa riferimento alla forma del fungo: il termine "*Pleurotus*", significa "di traverso" a causa della modalità di accrescimento del gambo rispetto al cappello, "*ostreatus*" invece fa riferimento al termine "ostrica" ad indicare la forma tipica del corpo fruttifero.

P. ostreatus presenta un optimum di temperatura di crescita di 15-30°C e richiede un'umidità del 90% per svilupparsi, è pertanto coltivabile sia nelle zone temperate che tropicali del mondo (Alam et al., 2007).

L'habitat naturale caratteristico del fungo sono i tronchi di latifoglie morenti e qui, grazie alla produzione di specifici enzimi, induce la degradazione del legno. Questa decomposizione permette di restituire all'ecosistema parte di elementi minerali che possono essere usati da altri organismi e piante (Grimm e Wösten, 2018).

Dal punto di vista economico la coltivazione di *Pleurotus* è caratterizzata da bassi costi produttivi e da rese elevate. La produzione di *Pleurotus* per questo motivo rappresenta una delle principali fonti di reddito per gli agricoltori del sud est asiatico ed inoltre sono un una potenziale fonte di cibo per sconfiggere la malnutrizione in alcune aree del mondo (Rahman et al., 2020).

Un'applicazione di *P. ostreatus* è la degradazione della plastica, il cui accumulo nell'ambiente oggi rappresenta uno dei più grandi problemi di inquinamento, in quanto i polimeri che la compongono riescono a rimanere molto stabili in natura fino a 1000 anni. Questo fungo è in grado di degradare il polietilene ed il polipropilene perché questi polimeri hanno una struttura molecolare simile alla lignina, una componente vegetale che il fungo utilizza normalmente come fonte di carbonio ed energia (Rodríguez et al., 2015).

Interessante è anche l'utilizzo di *P. ostreatus* per il biorisanamento del suolo dai metalli pesanti e da altre sostanze tossiche come le tetracicline. I basidiomiceti infatti, sono in grado di assorbire questi

contaminanti ambientali grazie al loro micelio e successivamente degradarli in molecole caratterizzate da un minore tossicità (Migliore et al., 2012).

1.2.1 *Pleurotus ostreatus*: proprietà nutrizionali

I funghi sono un alimento utilizzato per insaporire molti piatti con un contenuto calorico quasi trascurabile, simile a quello delle verdure. Essi sono considerati un alimento funzionale, infatti è stato dimostrato in maniera soddisfacente che presentano proprietà nutrizionali tali da avere effetti positivi su una o più funzioni specifiche dell'organismo, tali da migliorare lo stato di salute e di benessere e per la riduzione del rischio di insorgenza di malattie (Kumar, 2015).

I funghi sono composti prevalentemente da acqua, il contenuto di sostanza secca è limitato a 5-15%. Sono un'importante fonte di fibra, fondamentale per il buon funzionamento dell'intestino, ma sono alimenti interessanti anche per il loro elevato contenuto proteico, maggiore rispetto ad altri prodotti vegetali, e la presenza di vitamine e sali minerali. I lipidi sono presenti in basse quantità, con una prevalenza di acidi grassi mono e polinsaturi (Kalac et al., 2013).

I funghi sono una buona fonte di proteine, in particolare per i vegetariani ed i vegani. Il contenuto proteico dipende dalla specie, dai fattori agro-climatici del territorio e dal substrato usato per la coltivazione. *P. ostreatus* presenta una quantità di proteine compresa tra 0,8 e 3,5 g per 100 grammi di prodotto fresco, oppure 9-39 g per 100g di sostanza secca. Il profilo amminoacidico degli alimenti rappresenta un parametro di qualità e questa specie apporta tutti e nove gli amminoacidi essenziali, di cui i più abbondanti sono: l'acido aspartico, la valina, la glutammina, l'acido glutammico e l'argina. L'amminoacido limitante è invece la metionina (Rathore et al., 2017). Un'altra caratteristica interessante è l'elevata quantità di acido γ -amminobutirico (GABA), necessario per la corretta funzionalità cerebrale e per la regolazione del tono muscolare (Oyetayo e Ariyo, 2013).

I carboidrati costituiscono circa il 40-65% del peso del fungo e la loro quantità dipende dal substrato di coltivazione utilizzato (Ragunathan, 2003). Essi sono rappresentati soprattutto da componenti strutturali come β -glucani, emicellulose, chitina e pectina. I β -glucani in particolare, esercitano effetti molto positivi sulla salute dell'uomo, per esempio stimolano il sistema immunitario, sono antimicrobici ed antivirali, hanno proprietà antinfiammatorie e anticancro (Kalac et al., 2013).

Gli zuccheri più presenti sono il mannitolo ed il trealosio, in una quantità rispettivamente del 2,9 % e 3,9% del peso secco (Agarwal et al., 2017).

I funghi sono un'ottima fonte di fibra, un carboidrato che non è in grado di essere digerito dal corpo umano, ma importantissimo per la regolazione di diverse funzioni fisiologiche dell'organismo (Guillon et al., 2000). Le fibre insolubili agiscono sul funzionamento del tratto gastrointestinale, le fibre solubili regolano l'assorbimento dei nutrienti, contribuendo al controllo del livello di glucosio

e colesterolo nel sangue. *P. ostreatus* presenta un contenuto di fibra variabile tra 11.2 e 15.0% (Singh et al., 2011). I funghi appartenenti al genere *Pleurotus* sono un'ottima fonte di acidi grassi insaturi come l'oleico ed il linoleico, i quali contribuiscono a ridurre la deposizione di colesterolo legato alle lipoproteine LDL e VLDL a livello arterioso, diminuendo in questo modo l'incidenza di malattie cardiovascolari (Holmes et al.2019). *P. ostreatus* contiene solo il 2-3% di grassi pertanto è consigliato in diete a ridotto contenuto di calorie (Schneider et al., 2013).

P. ostreatus è interessante anche per il contenuto di micronutrienti, in particolare è estremamente ricco in acido folico (vitamina B9), il quale non viene sintetizzato dall'organismo umano e pertanto deve necessariamente essere introdotto con la dieta. L'assunzione di acido folico è fondamentale per le donne in gravidanza perché previene la formazione di difetti cardiaci e del tubo neurale del feto (Patil et al., 2010). Niacina, riboflavina, acido ascorbico e tiamina sono altre vitamine che vengono fornite da questa specie fungina.

Il magnesio e il potassio sono i minerali più presenti in *P. ostreatus*, ma importante è anche l'apporto in ferro, che nei funghi è biodisponibile circa al 90%, oltre che di calcio e di zinco. Il contenuto di sodio è ridotto, pertanto i funghi sono un alimento che può essere inserito nelle diete di soggetti che soffrono di ipertensione (Karppanen et al., 2005).

1.3 Modalità di trasformazione principali

Come già accennato nel capitolo precedente, la maggioranza dei funghi viene venduta sul mercato come prodotto fresco. Tuttavia, a causa delle shelf-life limitata, sono oggetto di studio delle tecnologie che consentono di estenderne la conservabilità (Fig. 4). La tecnica scelta dipende fondamentalmente dalla destinazione d'uso dei prodotti e dal periodo di conservazione previsto (Zhang et al., 2018).

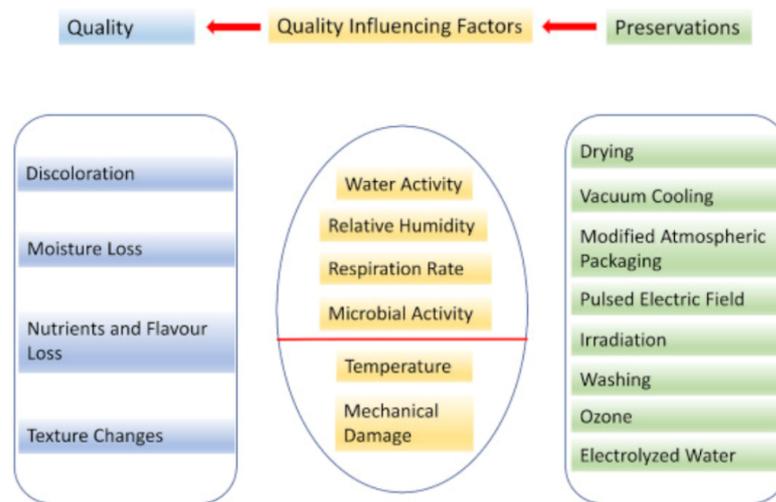


Figura 4: Fattori che influenzano la qualità dei funghi nel post raccolta e relative tecnologie di controllo.

La conservazione dei funghi può essere preceduta da alcuni trattamenti mirati a preservarne la qualità. Nelle acque di lavaggio si possono aggiungere degli agenti chimici come l'acido citrico, l'acido etilendiamminotetraacetico (EDTA), o il perossido di idrogeno che sono in grado di rallentare il tasso respiratorio, l'imbrunimento e la perdita di consistenza, preservando il contenuto nutrizionale del prodotto (Lagnika et al., 2014).

Un'altra modalità per estendere la conservabilità dei funghi è l'uso di film edibili, cioè matrici organiche, costituite solitamente da polisaccaridi, proteine, lipidi ed additivi con attività antiossidante ed antimicrobica (Salgado et al., 2015). Questi ultimi rivestono la superficie del prodotto e fungono da barriera per gli scambi di O_2 , CO_2 ed umidità con l'atmosfera circostante, diminuendo di conseguenza, la respirazione, i cambiamenti di colore e le modifiche della texture (Huang et al., 2019).

I funghi nel corso della loro filiera produttiva sono esposti ad una vasta gamma di contaminazioni microbiologiche. Nel post raccolta è fondamentale applicare dei trattamenti al fine di evitare che la carica microbica possa aumentare eccessivamente, accelerando in questo modo il decadimento qualitativo del prodotto. A tal fine ad oggi sono state proposte varie tecnologie, alcune ancora in corso di studio, che consentano di raggiungere quest'obiettivo (Marcal et al., 2021).

La conservazione a $4^\circ C$ per alcuni giorni, in camere ozonizzate, consente di ridurre in maniera significativa la carica microbica totale ed è inoltre efficace contro alcuni dei patogeni alimentari più diffusi: *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes* ed *Escherichia coli O157:H7*. Il vantaggio di questo trattamento è legato all'assenza di residui tossici perché l'ozono, una volta esplicita la sua funzione di disinfezione, si riconverte in modo naturale in ossigeno (Yuk et al., 2007).

L'acqua elettrolizzata è ottenuta elettrochimicamente da una soluzione di acqua e sale, in una vasca da elettrolisi contenente un anodo ed un catodo e viene comunemente utilizzata dall'industria

alimentare come disinfettante (Rahman et al., 2016). Infatti consente di ridurre la microflora naturale dei funghi e di ridurre la concentrazione di microrganismi patogeni. Come l'ozono anche l'acqua elettrolizzata ha il vantaggio di non lasciare residui tossici sui prodotti trattati.

L'irradiazione è un trattamento fisico che può essere utilizzato per eliminare insetti, microrganismi e tossine nelle derrate alimentari (Fernandes et al., 2012). È una tecnologia in grado di preservare il colore, il gusto e il contenuto nutritivo dei funghi ed ha il vantaggio di non lasciare residui tossici.

Tuttavia la diffusione di questo tipo di trattamento è ancora limitato a causa dello scetticismo dei consumatori nei confronti dei prodotti irradiati (Mami et al., 2014).

L'essiccazione, il congelamento e la conservazione in scatola sono le modalità più utilizzate per estendere la shelf-life dei funghi e rappresentano un'alternativa sul mercato rispetto al prodotto fresco.

La disidratazione è il trattamento di conservazione più comune ed ha l'obiettivo di ridurre il contenuto di umidità (circa al 13%) e quindi anche l'attività dell'acqua del prodotto. Diminuendo la quantità d'acqua libera, cioè quella disponibile per le reazioni chimiche, si possono prevenire vari fenomeni degradativi come le attività enzimatiche, le modifiche fisiologiche e la crescita di microrganismi alteranti (Piskov et al., 2020).

La disidratazione può avvenire sfruttando diverse tecnologie: essiccazione ad aria calda, essiccazione per contatto, essiccazione sottovuoto, essiccazione a letto fluido, essiccazione per congelamento, essiccamento al sole, oppure una combinazione di due o più delle modalità appena citate (Zhang et al., 2018).

I funghi essiccati sono caratterizzati da un sapore ed un aroma più forte rispetto a quelli freschi, in quanto il calore determina modifiche a carico delle sostanze volatili, aumentando la quantità di composti solforati ed azotati che hanno un'intensità molto più alta, rispetto ai composti carboniosi di partenza (Pei et al., 2016).

La qualità dei funghi essiccati viene valutata sulla base del colore, del tasso di reidratazione, della texture, dell'aroma e delle proprietà nutrizionali.

Per quanto riguarda *P. ostreatus* le migliori modalità di disidratazione sono l'essiccamento sottovuoto a 45°C per 8 ore, oppure l'essiccamento per congelamento a -80°C per 24 ore, in quanto hanno un minor impatto sulla qualità nutrizionale (Marcal et al., 2021). Le alte temperature generalmente inducono modifiche sul profilo delle sostanze fenoliche, degli acidi organici e delle componenti vitaminiche. Inoltre si osserva una riduzione del contenuto di polisaccaridi e proteine, dovute al fatto che il calore tende a degradare parzialmente i polisaccaridi in mono ed oligosaccaridi e le proteine in amminoacidi liberi, innescando in questo modo la reazione di Maillard (Gasecka et al., 2020).

Il congelamento è considerato uno dei migliori metodi di conservazione ed in confronto alla disidratazione consente di preservare in maniera più efficiente il colore, l'aroma, il gusto e la texture dei funghi (Fernandes et al., 2013).

Le vitamine essendo la componente più labile, possono essere utilizzate come parametro per valutare l'impatto sulla qualità nutrizionale di un trattamento tecnologico nei prodotti alimentari.

I funghi prima di essere congelati vengono sottoposti a blanching, cioè una bollitura per pochissimi secondi, seguita da un rapido raffreddamento, con l'obiettivo di disattivare l'attività enzimatica e stabilizzare il prodotto, riducendo il deterioramento qualitativo nelle successive fasi di lavorazione.

Tuttavia questo trattamento tende a ridurre il contenuto delle componenti idrosolubili, nello specifico le vitamine B1, B2 e C (Rickman et al., 2007).

La qualità dei funghi viene influenzata dal metodo di congelamento e dalla durata di conservazione. Il congelamento "blast freezing" è la modalità più adottata e consente di abbassare la temperatura del prodotto molto rapidamente (-45°C), impedendo la formazione di macrocristalli di ghiaccio che potrebbero alterare le caratteristiche sensoriali del prodotto in seguito allo scongelamento (Bernas et al., 2016).

La durata di conservazione influisce sulle proprietà nutrizionali in funzione della varietà dei funghi. In *P. ostreatus* dopo 12 mesi di conservazione a -25°C si osserva una leggera riduzione del contenuto di proteine e di amminoacidi rispetto al prodotto fresco (Jaworska et al., 2011).

In *A. bisporus* nello stesso periodo non ci sono cambiamenti significativi della quantità di carboidrati, proteine e grassi, ma dopo sei mesi di stoccaggio a basse temperature si osserva un'importante riduzione del contenuto di vitamine B1, B2, B6 ed acido ascorbico (Bernas, 2016).

1.4 Metabolismo dei funghi nel post raccolta

I funghi tra gli alimenti di origine vegetale sono uno dei più deperibili, a causa dell'assenza di una cuticola esterna che funge da barriera fisica contro i danni meccanici, la perdita di umidità e la proliferazione microbica (Gholami, et al., 2017).

I funghi, come tutti i prodotti ortofrutticoli, mantengono attivo il proprio metabolismo anche in seguito alla raccolta e questo comporta una graduale senescenza, attribuibile alla perdita di umidità, a cambiamenti di colore, allo sviluppo di odori sgradevoli e alla riduzione del contenuto nutritivo (Marçal et al., 2021)

I funghi freschi sono costituiti all'incirca da 85-90% d'acqua, contenuto ideale per la crescita microbica, fattore che contribuisce ulteriormente nel decadimento qualitativo dei funghi stessi.

In seguito alla raccolta si osserva una progressiva riduzione del contenuto di umidità a causa della perdita di integrità della membrana delle cellule vegetali e a cambiamenti strutturali delle componenti

che costituiscono la parete (Jaworska et al., 2011). Le perdite di acqua sono uno dei problemi principali da affrontare nel post raccolta, in quanto limitano la shelf-life, determinando cali di peso e quindi riduzioni del valore commerciale del prodotto.

I funghi sono caratterizzati da un elevato tasso di respirazione che determina sia un consumo di zuccheri per produrre energia, sia perdite di peso (Zhang et al., 2018). La respirazione è influenzata dalla temperatura e dalla durata di conservazione. A sostegno di quanto appena detto, Xu et al. (2016) hanno dimostrato che il tasso respiratorio in *A. bisporus* conservato a 4°C e 90% UR era di circa 2.5 mg kg⁻¹ h⁻¹, invece a 20°C e 70% UR è aumentato a 4.7 mg kg⁻¹ h⁻¹.

Inoltre la respirazione è un processo esoergonico, pertanto influenza anche il metabolismo traspiratorio ed etilenico: la traspirazione porta alla perdita d'acqua, mentre la produzione di etilene concorre alla maturazione e quindi accelera la senescenza del fungo.

Il parametro di qualità più importante per il consumatore è senz'altro il colore. Tutti i prodotti vegetali vanno incontro a cambiamenti di colore in seguito alla raccolta, sia ad opera dell'attività microbica, sia a causa dell'azione degli enzimi endogeni. L'enzima maggiormente coinvolto è la polifenolossidasi che in presenza di ossigeno, catalizza l'ossidazione delle sostanze fenoliche in chinoni che sono altamente instabili e che tendono a polimerizzare in melanoidine, composti dall'elevato peso molecolare che conferiscono il colore scuro al fungo (Lei et al., 2018).

Per prevenire fenomeni di imbrunimento è fondamentale evitare danni meccanici come schiacciamenti, tagli e rotture che comportano la rottura delle membrane cellulari e quindi l'avvicinamento tra enzima e substrato e l'inizio della reazione di catalisi enzimatica.

1.5 Tecniche di conservazione in post raccolta

Ci sono due tipologie di fattori che influenzano la qualità dei funghi nel post raccolta: fattori intrinseci legati alle caratteristiche del fungo (presenza di acqua nei tessuti, tasso di respirazione, attività microbica), già precedentemente descritti e fattori estrinseci relativi alle condizioni di conservazione (temperatura di conservazione ed atmosfera modificata) (Zhang et al., 2018).

1.5.1 Packaging e atmosfera modificata

I funghi freschi possono essere confezionati in diverse tipologie di packaging a seconda delle esigenze di trasporto ed alle caratteristiche della specie. Solitamente si fa uso di vaschette di polistirene espanso, coperte superiormente da una pellicola in PVC/PE, le quali vengono conservate in condizioni di refrigerazione (Rahman et al., 2016).

L'atmosfera modificata (MAP) permette di estendere la shelf-life dei funghi freschi, preservandone la qualità e la perdita delle componenti nutrizionali e bioattive. Si tratta di uno strumento di conservazione in cui l'aria all'interno della confezione viene sostituita con una miscela gassosa costituita prevalentemente da CO₂, mentre il contenuto di O₂ è limitato (Zhang et al., 2013). Tali condizioni proteggono i funghi dall'ossidazione, dall'attacco di microrganismi alteranti e da variazioni di colore ed aroma.

Esistono due tipologie di MAP: attiva e passiva. Nell'atmosfera modificata attiva i gas interni alla confezione vengono sostituiti da una miscela gassosa ad hoc che consente di preservare la qualità del prodotto.

Nell'atmosfera modificata passiva invece la concentrazione gassosa interna si modifica in funzione della respirazione del vegetale e delle caratteristiche di permeabilità del materiale utilizzato per il confezionamento (Charles et al., 2008).

Nella conservazione di *Pleurotus* è stato dimostrato che l'uso di un'atmosfera con 30% di CO₂ e 2% di O₂ consente di estendere significativamente la shelf life, anche a temperatura ambiente (Zhang et al., 2013).

1.5.2 Temperatura

La temperatura di conservazione è il fattore più impattante sulla qualità dei prodotti ortofrutticoli nel post raccolta perché incide sulla velocità di sviluppo dei microrganismi, sulle modifiche fisiologiche e sul metabolismo del prodotto (Que et al., 2017).

In linea generale un'inadeguata temperatura di conservazione già in poche ore determina evidenti cambiamenti di colore, perdita di consistenza e riduzioni del contenuto d'acqua. A sostegno di questo, analizzando alcuni articoli proposti da diversi autori (Choi et al., 2003, Jitareerat et al., 2018, Guillaume et al., 2010) si evince che la shelf-life del *P. ostreatus* a temperatura ambiente (25°C) sia limitata a 1-3 giorni.

Lo stoccaggio a temperatura di refrigerazione (4-10°C) permette di estendere in maniera consistente la conservabilità dei funghi, perché ne rallenta la respirazione e la traspirazione e quindi consente di tenere sotto controllo tutti i fenomeni degradativi che dipendono da questi due processi metabolici. Azevedo et al., (2017) hanno dimostrato (Fig. 5) che il tasso di traspirazione è aumentato da 1.82 (±0.20) a 3.88 (±0.41) g kg⁻¹ modificando la temperatura da 2 a 18°C, mantenendo sempre l'umidità relativa al 86%.

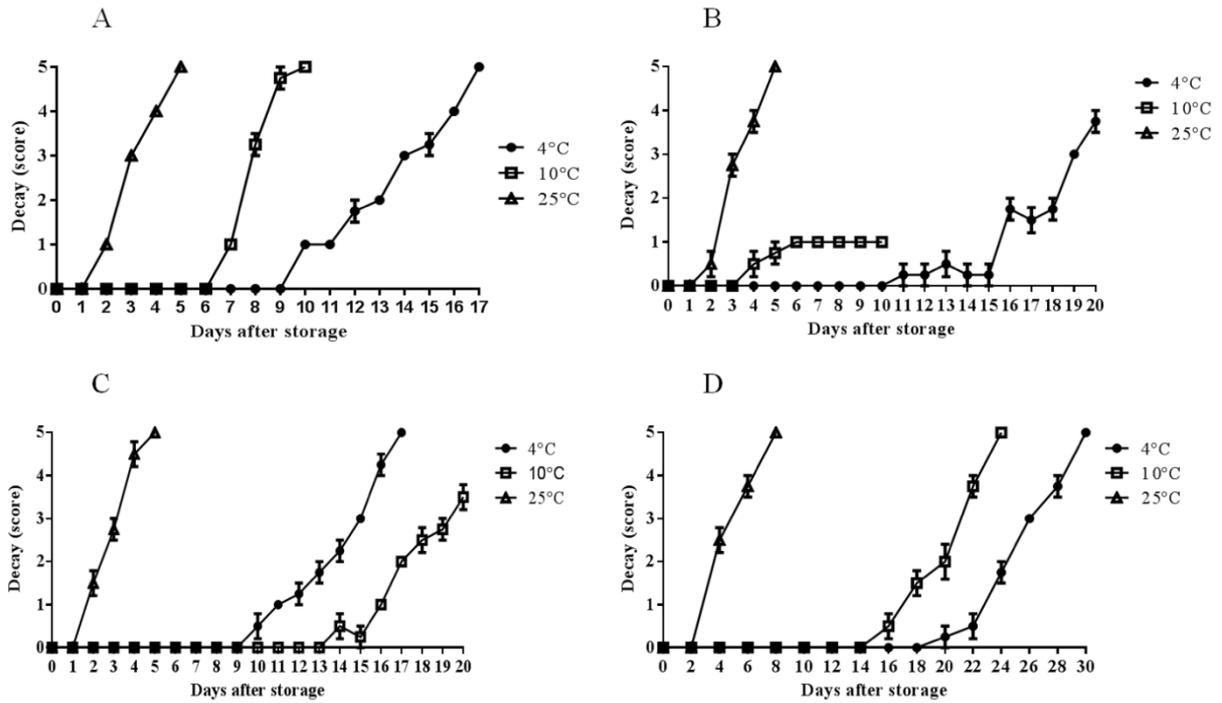


Figura 5: Relazione tra temperatura di conservazione (4, 10 e 25°C) e shelf life di quattro differenti cultivar di *Pleurotus ostreatus* (Azevedo et al., 2017).

2. Scopo del lavoro

Vista l'espansione a cui è soggetto il mercato dei funghi edibili e le loro rinomate caratteristiche nutrizionali è necessario uno studio approfondito del mantenimento di questo prodotto in fase di post-raccolta, al fine di approfondire la conoscenza e migliorare le tecniche di conservazione facilitando la distribuzione del prodotto.

Questa tesi ha lo scopo di osservare la shelf-life del *Pleurotus ostreatus*, che nello specifico se non conservato in maniera ottimale è soggetto ad un veloce deperimento qualitativo, simulando diversi stress termici che potrebbero potenzialmente verificarsi lungo la filiera di distribuzione di questo alimento.

Nello specifico sono stati valutati i cambiamenti qualitativi a cui è soggetto il prodotto durante la catena del freddo, a partire dal trasferimento dall'azienda produttrice fino all'arrivo sul banco della grande distribuzione, se sottoposto ad una temperatura non adeguata (circa di 18°C) in uno di questi due momenti o durante tutta la catena.

Tale sperimentazione fa parte del progetto YESP (Yield Stabilization of *Pleurotus ostreatus*) finanziato dalla regione Veneto e dal PSR Veneto 2014-2020 che mira ad affrontare e risolvere i principali problemi di produzione di funghi appartenenti al genere *Pleurotus*, che a differenza di altri funghi coltivati è caratterizzato da cicli produttivi disomogenei fortemente influenzati dai fattori climatici e dalla tipologia di substrato.

3. Materiali e metodi

3.1 Sito sperimentale e trattamenti

La sperimentazione è stata condotta presso il laboratorio di Orticoltura del campus di Agripolis dell'Università di Padova a Legnaro (PD), dal 14 al 24 febbraio.

Sono state richieste all'Azienda Agricola Mancon, ubicata a Loreggia (PD), 60 vaschette di prodotto confezionato pronto alla vendita, raccolto ad 1 giorno di distanza, su cui condurre la prova.

Il *P. ostreatus* è stato consegnato in vaschette di polipropilene avvolte da uno strato di film plastico in cellophane (Fig. 6). Essendo quest'ultimo di facile rottura, si è provveduto a ricoprire ciascuna vaschetta da un ulteriore strato di pellicola plastica, per evitare uscite di gas e modifiche dell'atmosfera interna.



Figura 6: Vaschetta di *Pleurotus ostratus* in polipropilene, avvolte da film plastico in cellophane.

Si è scelto di sottoporre il prodotto ad una conservazione ottimale a 4°C e ad una temperatura di conservazione non idonea a 18°C, con l'obiettivo di simulare i potenziali errori nelle diverse fasi della catena del freddo che si potrebbero verificare lungo la filiera del prodotto.

Sono state ipotizzate 4 situazioni che potrebbero manifestarsi (Tab. 1):

- 1) TR1: il prodotto è mantenuto ad una temperatura di 4°C per tutta la catena del freddo
- 2) TR2: il prodotto è sottoposto ad una conservazione non idonea a 18°C solo durante la fase di trasporto
- 3) TR3: il prodotto è sottoposto ad una temperatura di 18°C solo durante la fase conservazione presso la GDO
- 4) TR4: il prodotto è sottoposto ad una temperatura di 18°C sia durante la fase di trasporto, sia durante la conservazione presso la GDO

Tabella 1: Schema sperimentale dei trattamenti di conservazione.

	Magazzino (Giorno 0)	Trasporto (Giorno 1)	GDO (Giorno 2-8)
TR1	4°C	4°C	4°C
TR2	4°C	18°C	4°C
TR3	4°C	4°C	18°C
TR4	4°C	18°C	18°C

In laboratorio, per simulare tale situazione, si è fatto uso di una cella frigo a 4°C e di un frigorifero settato a 18°C.

Come visibile in tabella 2 per la sperimentazione sono state utilizzate un totale di 57 vaschette di *P. ostreatus*.

Per garantire la rappresentatività e la ripetibilità della prova, sono state utilizzate tre vaschette per trattamento per ogni giorno di rilievo sulle quali condurre le analisi.

Il primo giorno in laboratorio le vaschette sono state ordinate nei due ambienti di conservazione. Le vaschette sottoposte al trattamento 1 sono state conservate per tutta la durata della prova nella cella a 4°C, mentre i funghi sottoposti al trattamento 4 sono stati inseriti per lo stesso tempo nel frigo a 18°C. Per quanto concerne le vaschette conservate mediante il trattamento 2, al giorno 1 sono state inserite nel frigo a 18°C per simulare l'interruzione della catena del freddo verificatasi durante il trasporto e al giorno 2 sono state spostate in cella a 4°C. Al contrario per il trattamento 3 i funghi sono stati inseriti al giorno 1 in cella a 4°C ed il giorno successivo spostati a 18°C, con l'inizio dell'ipotetico

periodo di permanenza in GDO le vaschette non sono state più spostate dai loro ambienti di conservazione fino al termine della sperimentazione.

Tabella 2: schema riassuntivo della sperimentazione effettuata

GIORNO	LOCAZIONE PRODOTTO	RILIEVI EFFETTUATI	VASCHE UTILIZZATE	TRATTAMENTI
0	Magazzino azienda	Rilievi distruttivi + rilievi CO ₂ /O ₂	3	TR1
1	Trasporto	Rilievi distruttivi + rilievi CO ₂ /O ₂	6	TR1 o TR2
2	GDO	Rilievi CO ₂ /O ₂	12	TR1, TR2, TR3, TR4
3	GDO	Rilievi distruttivi + rilievi CO ₂ /O ₂	12	TR1, TR2, TR3, TR4
4	GDO	Rilievi CO ₂ /O ₂	12	TR1, TR2, TR3, TR4
5	GDO	Rilievi distruttivi + rilievi CO ₂ /O ₂	12	TR1, TR2, TR3, TR4
6	GDO	Rilievi CO ₂ /O ₂	12	TR1, TR2, TR3, TR4
7	GDO	Rilievi distruttivi + rilievi CO ₂ /O ₂	24	TR1, TR2, TR3, TR4

In tabella 2 inoltre è possibile osservare i trattamenti effettuati: giornalmente sono stati eseguiti i rilievi della concentrazione di CO₂ e O₂ interne alle confezioni ed a giorni alterni sono stati eseguiti rilievi morfologici con misurazione del peso e dei principali parametri colorimetrici, rilievi distruttivi per l'analisi della texture tramite TPA (Texture profile Analysis) e la predisposizione di campioni rappresentativi per le analisi qualitative effettuate successivamente alla fine della prova.

Infine si può notare che al giorno 7 sono state utilizzate 24 vaschette in quanto, a causa dell'elevato decadimento qualitativo dei campioni sottoposti al trattamento 4, si è deciso di anticipare di due giorni il termine della prova e quindi condurre anche i rilievi previsti per il giorno 9.

3.2 Rilievi CO₂ e O₂

Per valutare i cambiamenti dell'atmosfera interna al packaging, per tutta la durata della prova sono stati effettuati tre rilievi al giorno della concentrazione di CO₂ e O₂, a circa 5 ore di distanza l'uno dall'altro. L'analisi è stata condotta sulle ultime 12 vaschette (3 per trattamento) che sarebbero state utilizzate per il rilievo distruttivo, in modo tale da effettuare le misurazioni sempre sugli stessi campioni.

I rilievi sono stati condotti attraverso l'impiego di un analizzatore di gas portatile PBI Dansensor CheckPoint O₂/CO₂ (Fig. 7). Tale strumento è dotato di un sensore in grado di perforare il film plastico che riveste la confezione ed effettuare la misurazione in pochi secondi. Il foro successivamente è stato chiuso attraverso l'impiego di nastro isolante per evitare fuoriuscite di gas dalla confezione.



Figura 7: analizzatore di gas portatile PBI Dansensor CheckPoint O₂/CO₂

3.3 Rilievi morfologici

3.3.1 Peso

Il primo giorno della prova tutte le vaschette di funghi sono state pesate. Al giorno 0,1,3,5 e 7 le vaschette oggetto dei rilievi sono state pesate nuovamente per valutare le eventuali perdite avvenute durante lo stoccaggio. Successivamente è stata calcolata la differenza di peso in forma percentuale utilizzando la seguente formula:

$$x = \frac{\text{peso iniziale} - \text{peso finale}}{\text{peso iniziale}} \times 100$$

3.3.2 Colore

L'analisi del colore è stata effettuata utilizzando un colorimetro Minolta CR200 (Fig. 8). Per ciascuna vaschetta sono state effettuate dieci misurazioni al centro del corpo fruttifero dei funghi presenti nelle tre vaschette.

Il colore è stato misurato utilizzando la scala CIELab che definisce il colore utilizzando tre coordinate:

- L* o luminosità, il cui valore va da 0 a 100;

- a^* o indice del rosso, che esprime tonalità tendenti al rosso quando è positiva, oppure tonalità tendenti al verde quanto è negativa;
- b^* o indice del giallo che esprime il giallo quanto è positiva ed il blu quando è negativa.



Figura 8: Colorimetro Minolta CR200.

Per ciascun campione di *P. ostreatus*, sulla base delle formule di seguito descritte (a, b e c), sono stati calcolati tre parametri in riferimento al colore (Doroški et al., 2020; Kasim et al., 2015):

- La differenza di colore totale ΔE :

$$\Delta E = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2}$$

a)

- Il browning index BI che misura l'imbrunimento del campione:

$$BI = \frac{100(x - 0.31)}{0.17}, \quad \text{where } x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)}$$

b)

- Lo Yellow index che misura l'ingiallimento del campione:

$$YI = 142.86 \cdot \frac{b^*}{L^*}$$

c)

3.4 TPA (Texture Profile Analysis)

L'analisi della texture è stata condotta su delle porzioni circolari di fungo di uguali dimensioni, ricavati dal centro del corpo fruttifero. Per ciascuna vaschetta sono stati prelevati tre campioni da sottoporre all'analisi. La determinazione delle proprietà meccaniche sono state effettuate utilizzando un Texture Analyser TA.XT.plus, equipaggiato con una sonda a pistone. Il test è stato condotto ad una velocità di 2 mm s^{-1} , applicando al campione una compressione del 70% dell'altezza per due volte con un tempo di attesa tra i due cicli di 5 secondi (Fig. 9).

Lo strumento ha registrato i dati su uno specifico software, il quale sulla base dei risultati ottenuti genera due curve (una per ogni compressione su un grafico forza – tempo).

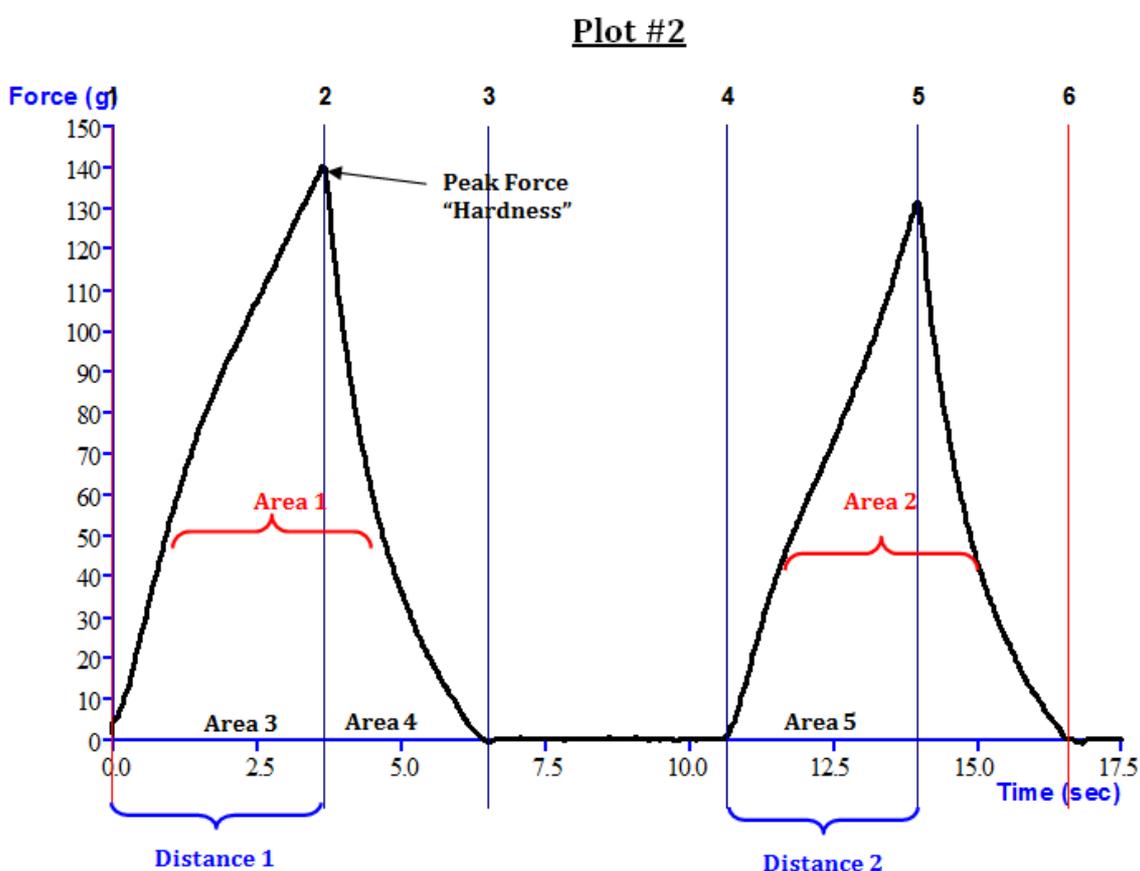


Figura 9: Grafico esemplificativo di un test TPA (Texture profile analysis) effettuato su un prodotto.

L'analisi di questo grafico consente di ricavare i seguenti parametri:

- Durezza: è la forza necessaria ad ottenere una deformazione e corrisponde al valore massimo della forza durante il primo ciclo di compressione. Graficamente la durezza corrisponde al picco massimo della prima curva. Può essere espressa in g, kg o N.
- Coesività: è il grado di deformazione che può essere raggiunto prima della rottura. Graficamente corrisponde all'area compresa tra le due curve. Non ci sono unità di misura per questo parametro.

- Adesività: è il lavoro necessario per vincere la forza di attrazione tra la superficie dell'alimento e gli altri materiali con cui l'alimento viene in contatto;
- Elasticità: rappresenta l'altezza che il prodotto recupera durante il tempo che trascorre tra la fine del primo ciclo di compressione ed il secondo. L'elasticità dal punto di vista grafico corrisponde alla distanza 1 e alla distanza 2. Non ci sono unità di misura per questo parametro.
- Gommosità: energia richiesta per disintegrare un cibo semisolido fino a quando è pronto per la deglutizione (Durezza * Coesività);
- Masticabilità (J), energia richiesta per masticare un cibo solido fino a quando è pronto per la deglutizione (Durezza * Coesività * Elasticità);
- Resilienza, misura l'ampiezza del recupero da parte del campione dopo il primo ciclo di deformazione. Dal punto di vista grafico corrisponde all'area 4 e 5. Non ci sono unità di misura per questo parametro.

3.5 Analisi qualitative

Le analisi qualitative hanno avuto lo scopo di caratterizzare il prodotto secondo alcuni parametri, tra cui sostanza secca, contenuto di solidi solubili, pH, conducibilità elettrica ed acidità titolabile. Per determinare la sostanza secca dei corpi fruttiferi, porzioni di *P. ostreatus*, sono state pesate e successivamente poste in stufa a 65°C per 48 ore. Al termine del processo di essiccazione il campione è stato nuovamente pesato ottenendo così la quantità di acqua che è evaporata e quindi per differenza la quantità di sostanza secca del fungo.

Un'altra parte dei corpi fruttiferi è stata conservata a -20°C e successivamente scongelata, al fine di ottenere il succo cellulare contenuto all'interno dei corpi fruttiferi, il quale è stato utilizzato per le analisi di seguito descritte.

Una aliquota del succo è servita per la determinazione del contenuto di solidi solubili (°Brix), che è stata effettuata tramite rifrattometro portatile digitale HI 96801 Hanna Instruments; uno strumento che utilizza la misura dell'indice di rifrazione per determinare il contenuto zuccherino. Parte del succo è stata inoltre prelevata per eseguire le analisi di pH e conducibilità elettrica (EC) tramite pH metro-conduttivimetro portatile, modello H19811.

L'acidità titolabile è stata determinata secondo il metodo standard ISO 750:1998 (E) tramite il titolatore automatico Titrex Act (Steroglass). Il volume di soda necessario al raggiungimento del punto di flesso (pH 8.2) è stato utilizzato nella seguente formula:

$$Z = \frac{V \cdot N \cdot mEqwt}{Y} \times 100$$

dove:

- Z= g di acido per 100 g di campione
- V= volume in mL di NaOH usata per la titolazione
- N= normalità di NaOH
- mEqwt= milliequivalenti di acido (0.064 ac.citrico)
- Y= volume in mL di campione

3.6. Determinazione antiossidanti e polifenoli totali

La determinazione degli antiossidanti e dei polifenoli totali è stata eseguita su campioni di *P. ostreatus*, precedentemente congelati con azoto liquido, con l'obiettivo di bloccare istantaneamente il metabolismo del fungo, e successivamente liofilizzati. Il campione ottenuto è stato finemente macinato così da ottenere una polvere.

La determinazione dell'attività antiossidante e dei fenoli totali ha previsto per entrambi la pesata di 0,5 g di campione macinato ai quali sono stati aggiunti 20 mL di metanolo (per HPLC); il campione è stato filtrato con carta da filtro (589 Schleicher diametro 125 mm).

L'attività antiossidante è stata determinata con il metodo FRAP (FerricReducingAbility of Plasma). Il reagente FRAP (soluzione 1 mM di 2,4,6-tripiridil-2 triazina [TPTZ], 2 mM cloruro ferrico e 250 mM di acetato di sodio a pH 3.6) è stato preparato giornalmente a partire da soluzioni madri di 300 mM di buffer acetato, 12 mM di TPTZ (in acido cloridrico 48 mM) e 24 mM di cloruro ferrico in rapporto 10:1:1. A 100 µL di estratto sono stati aggiunti 1900 µL di reagente FRAP e si è omogeneizzato con l'ausilio di un vortex; dopo 4' a 20 °C è stata letta l'assorbanza a 593 nm (Shimadzu UV-1800). La lettura è stata confrontata con una curva di calibrazione costituita da soluzioni di solfato di ammonio ferroso con concentrazione da 0 a 1200 µg mL⁻¹ di ione ferroso. L'attività antiossidante è stata quindi successivamente espressa come mg di Fe²⁺ equivalenti (Fe²⁺+E) per kg di campione secco o fresco.

Per la determinazione dei fenoli, invece, si sono prelevati 200 µL dell'estratto, si sono aggiunti 1000 µL di reattivo di Folin-Ciocalteu e 800 µL di carbonato di sodio anidro al 7.5%. Si è quindi proceduto con 15" di agitazione e successivo riposo per 30' a temperatura ambiente prima di leggere allo spettrofotometro ad una lunghezza d'onda di 765 nm (Shimadzu UV-1800). L'assorbanza è stata confrontata con quella letta per soluzioni a concentrazione nota di acido gallico (da 0 a 300 µg mL⁻¹) che hanno subito lo stesso procedimento dei campioni. Il contenuto totale di fenoli è stato espresso come mg di ac. gallico equivalenti (GAE) per kg di campione fresco o secco.

3.7 Analisi contenuto fibra totale

Il contenuto di fibra totale è stato determinato seguendo il metodo AACC 32-05.01 e AOAC 985.29. Sono stati pesati campioni doppi da 1 g, in becher da 400 ml a cui sono stati aggiunti 50 mL di tampone fosfato (pH 6,0) a ciascun becher. Successivamente è stata aggiunta una soluzione 50 µL di α -amilasi stabile al calore e il becher è stato posto coperto in un bagno di acqua bollente per essere incubato a 98-100°C per 15 minuti agitando delicatamente a intervalli di 5 minuti. Al termine dell'incubazione la soluzione è stata raffreddata a temperatura ambiente, regolando il pH $7,5\pm 0,1$ con 10 mL di soluzione di NaOH 0,275 N. Si sono aggiunti infine 100 µL di soluzione di proteasi e si è posto il becher coperto a incubare a 60°C con agitazione continua per 30 minuti. Dopo essere stato raffreddato si sono aggiunti 10 mL di soluzione di HCl 0,325 N per regolare il pH a $4,5\pm 0,2$, successivamente sono stati uniti 200 µL di amiloglicosidasi e il tutto è stato posto ad incubare per 30 minuti a 60°C con agitazione continua. Infine si sono aggiunti 280 mL di EtOH al 95% preriscaldato a 60°C. Dopo la formazione il precipitato è lasciato a temperatura ambiente per 60 min, si pesa il crogiolo contenente la celite con un'approssimazione di 0,1 mg; quindi, è stato bagnato e distribuito il letto di Celite nel crogiolo con un getto di 78 mg utilizzando un flusso di EtOH al 78% dalla bottiglia di lavaggio.

3.8 Analisi contenuto di azoto

L'analisi del contenuto di azoto è stata eseguita previa immissione di 1 g di ceneri di sostanza secca in 5 ml di HCl concentrato per 30 minuti. Successivamente la soluzione è stata diluita con acqua distillata fino ad ottenere un volume di 50 mL, filtrata accuratamente ed analizzata attraverso l'utilizzo di uno spettrofotometro ad emissione ICP-AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy) SPECTRO CIROS (della Spettro Italia S.r.l.).

3.9 Analisi amminoacidi

L'analisi degli amminoacidi è stata condotta previa idrolisi acida e derivatizzazione in colonna in presenza di aminochinolina carbamato(AQC). Successivamente i singoli amminoacidi sono stati separati in colonna RP-HPLC ed analizzati attraverso spettroscopia UV. Questo metodo segue le norme relative alla Farmacopea europea.

Per la determinazione di alanina, arginina, acido glutammico, acido aspartico, istidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, serina, tirosina e valina, le proteine dei campioni sono state idrolizzate in presenza di acido cloridrico (6M) a 105°C per 24 ore.

La cisteina è stata determinata come somma di cisteina e cistina in seguito alla reazione con acido ditiopropionico, il quale induce l'idrolisi acida. Successivamente i campioni sono stati neutralizzati con idrossido di sodio (8M) regolato e filtrato a 0,22 µm. La fase di derivatizzazione è stata condotta secondo le istruzioni del produttore (Acqua e derivatizzazione accq).

Il triptofano è stato determinato seguendo le indicazioni presenti nella direttiva comunitaria 2000/45. L'idrolisi delle proteine è stata eseguita in presenza di idrossido di bario a 105°C per 24 ore e la separazione è avvenuta in RP-HPLC, dotato di una colonna C18 a fase inversa (CORTECS C18 , 2.7 µm, 2.1 x 150 mm), mantenuta a 45°C. La rilevazione è stata condotta attraverso detector a serie di diodi (Agilent 1260 Series, DAD VL).

4. Risultati

4.1 Peso

Dalla figura 10 si evince che nel giorno di trasporto (G1) non ci sono state differenze significative in termini di peso tra il trattamento 1 e 4. Al terzo giorno è visibile una chiara differenza tra il trattamento 1, in cui la temperatura è stata mantenuta a 4°C ed il trattamento 4 dove la temperatura di conservazione invece non è stata idonea. Nei giorni 5 e 7 si può constatare ulteriormente che i trattamenti 3 e 4 a 18°C incidono maggiormente sulla perdita peso del prodotto, rispetto ai trattamenti 1 e 2 in cui la temperatura presso la GDO è stata adeguata.

Complessivamente nel trattamento 1 le differenze in peso sono state meno del 2% del peso totale per tutta la durata della sperimentazione. Nel trattamento 2, in cui la temperatura di conservazione non è stata idonea nella sola fase di trasporto si possono osservare delle differenze maggiori rispetto al trattamento precedente nel giorno successivo allo stress termico con circa il 6% della perdita di peso, mentre in fase di distribuzione la temperatura adeguata ha portato al mantenimento del peso del prodotto con perdite inferiori al 2%. Infine, tra il trattamento 3 e 4, in cui la temperatura di conservazione è stata non idonea per tutta la conservazione presso la GDO si osservano cambiamenti maggiori per quanto riguarda il calo di peso e tra i due trattamenti ci sono differenze statisticamente significative rispetto ai trattamenti 1 e 2 nel giorno 3 e 7 dove i trattamenti con stress termici si sono differenziati dal trattamento 1 con temperatura di 4°C.

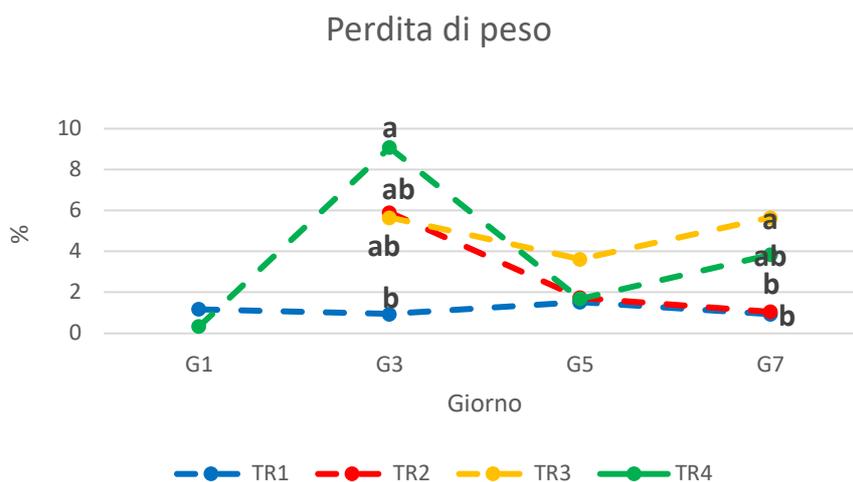


Figura 10: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento della perdita di peso espressa in percentuale (%) in *P. ostreatus* nei vari giorni di sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie ($p\text{-value} < 0,05$) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.2 Colore

In figura 11 si può osservare che la variazione di colore avviene già dal giorno 1, dove lo stress termico durante il trasporto determina un cambiamento significativo nei funghi conservati mediante TR4 rispetto a quelli sottoposti al TR1. Tale cambiamento si protrae anche nei giorni successivi durante la fase di distribuzione e si può affermare che i trattamenti TR3 e TR4, caratterizzati da un periodo di stress termico più prolungato, hanno un valore di ΔE maggiore rispetto ai trattamenti TR1 e TR2 dove il colore rimane invariato.

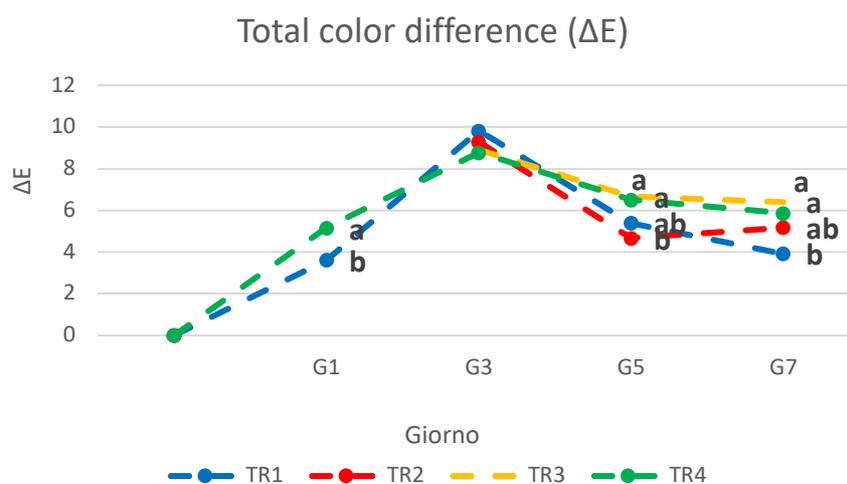


Figura 11: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento della differenza di colore totale in *P. ostreatus* durante i giorni di sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

Dalla figura 12, che rappresenta l'indice di imbrunimento del corpo fruttifero durante la sperimentazione, si evince che i funghi conservati a temperatura non idonea hanno una maggiore tendenza verso l'imbrunimento. È visibile che già nel giorno del trasporto i trattamenti TR1 e TR4 differiscono in maniera statisticamente significativa tra loro, mentre non ci sono differenze significative tra i diversi trattamenti al giorno 3. Infine, durante gli ultimi giorni di conservazione presso la GDO i funghi caratterizzati da un indice BI maggiore sono quelli sottoposti ai trattamenti TR3 e TR4.

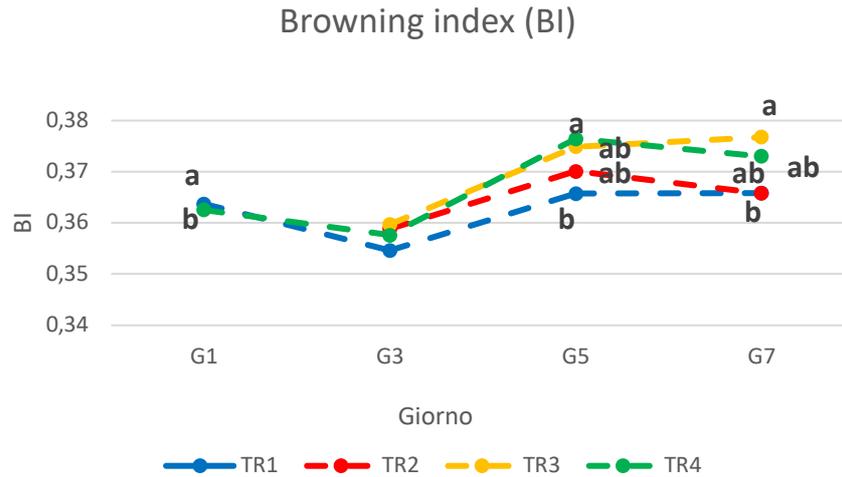


Figura 12: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento del Browning index in *P. ostreatus* durante i giorni di sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

La cinetica dello Yellow index è simile a quella del Browning index. Infatti dal grafico in figura 13, è possibile notare nel complesso una crescita di questo indice nei primi 5 giorni di conservazione per tutti i trattamenti termici studiati. Fino al giorno 3 non si osservano differenze statisticamente significative tra i campioni sottoposti ai trattamenti 1 e 4, mentre a partire dal giorno 5 i campioni conservati a 18°C tendono ad avere un indice di ingiallimento maggiore rispetto a quelli conservati a 4°C.

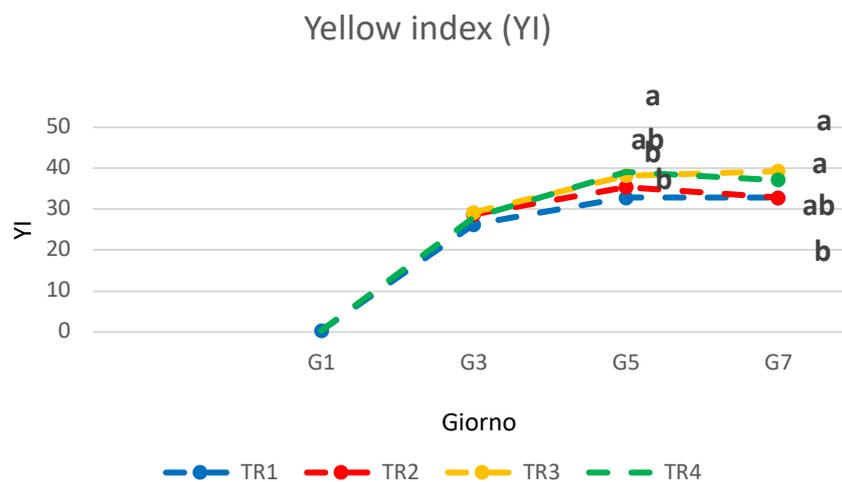


Figura 13: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento dello Yellow index in *P. ostreatus* durante i giorni di sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05), secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.3 Rilievi O₂ e CO₂

Dal grafico in figura 14 che descrive l'andamento della concentrazione di O₂ all'interno delle vaschette si nota che dal giorno di trasporto all'ultimo giorno di conservazione il livello di ossigeno tende a diminuire da circa 24 ppm a 18 ppm. Il calo più visibile si ha tra il primo ed il secondo giorno. Dal giorno 2 al giorno 8 il contenuto di ossigeno di tutte le vaschette di *P. ostreatus* oscilla tra i 20 e i 18 ppm.

Solo in un rilievo del giorno 3 la concentrazione di ossigeno si è differenziata tra i trattamenti con un livello maggiore nei trattamenti 1 e 2 rispetto ai trattamenti con stress termico (TR3 e TR4).

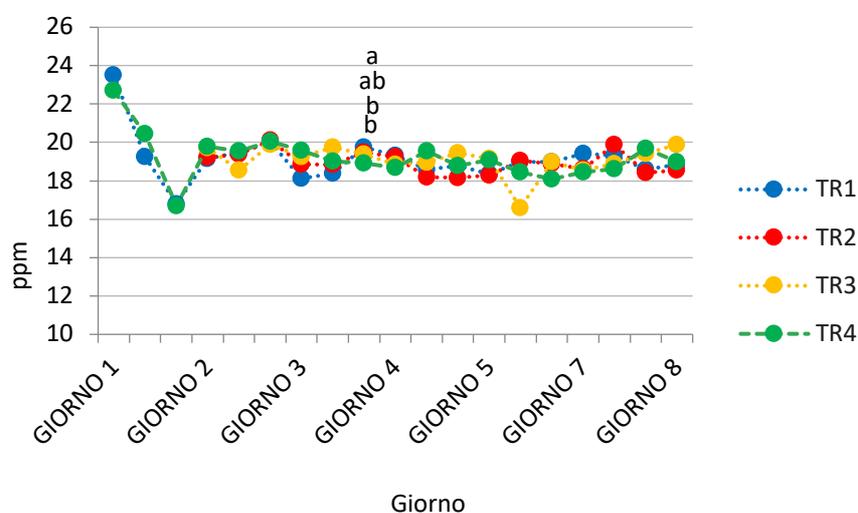


Figura 14: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento del contenuto di O₂ all'interno delle vaschette di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value<0,05) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

In figura 15 è visibile come la concentrazione di anidride carbonica per tutti i campioni sia abbastanza variabile. Dal giorno 3 al giorno 5, in tutti i trattamenti è stato rilevato un aumento del livello di respirazione dei funghi. al contrario dal giorno 6 è stato osservato un progressivo calo fino al giorno 8. Si può affermare che nei giorni 3 e 4 tra il TR3 ed il TR4 non ci sono differenze statisticamente significative relativamente alla concentrazione di CO₂.

Si nota che le vaschette soggette al trattamento 2 hanno una concentrazione di CO₂ inferiore rispetto agli altri trattamenti con valori compresi tra 2,5 e 15 ppm. I funghi invece conservati con trattamento 3 e 4 presentano una concentrazione maggiore, rispettivamente in media di 8-18 ppm e 13-20 ppm.

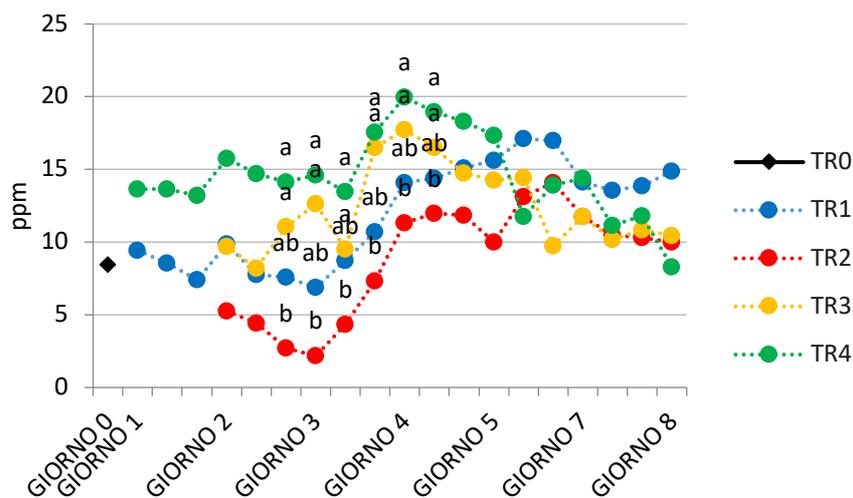


Figura 15: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento della concentrazione di CO₂ all'interno delle vaschette di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie ($p\text{-value} < 0,05$) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.4 Texture

Dalla valutazione della texture si può constatare che ci sono delle differenze nelle proprietà meccaniche del prodotto a seconda del trattamento termico che il *P. ostreatus* ha subito.

4.4.1 Durezza

La durezza del prodotto (Fig. 16) espressa in grammi nel giorno del trasporto non ha avuto cambiamenti significativi nella durezza dei campioni conservati con i trattamenti 1 e 4 (rispettivamente con 4824 e 3398 g). Dal terzo giorno invece si nota come i funghi conservati a 18°C tendono a perdere di consistenza in maniera netta, rispetto a quelli che sono stati conservati adeguatamente presso la GDO. Infatti al termine della sperimentazione si è misurato un valore di 4824,8 g per i funghi conservati sempre a 4°C, invece valori di 941,92 e 1347,79 (TR3 e TR4 rispettivamente) per il prodotto conservato, in condizioni termiche non idonee. Si può affermare che nell'ultimo giorno di conservazione i campioni sottoposti ai trattamenti 2,3 e 4 abbiano valori di durezza simili inferiori a 3000 g e si siano differenziati dai campioni del trattamento 1 che nel complesso hanno mantenuto la loro consistenza.

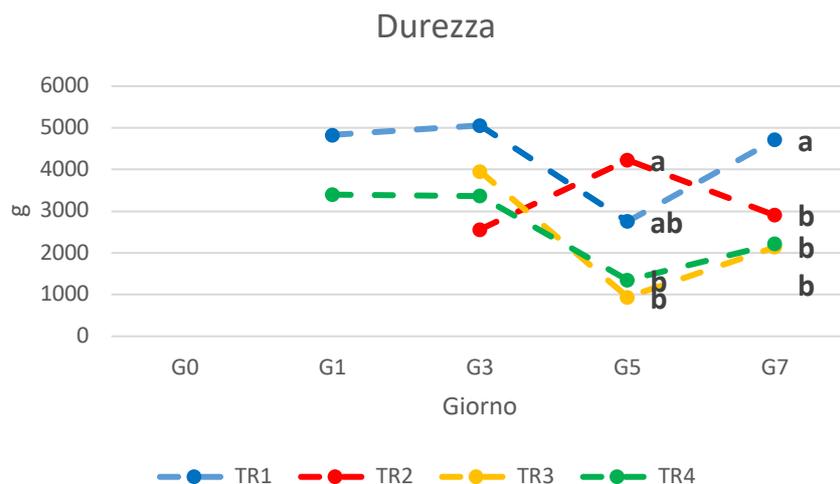


Figura 16: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sulla consistenza relativa al test TPA di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie ($p\text{-value} < 0,05$) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.4.2 Elasticità

Osservando il grafico in figura 17 che descrive l'elasticità del prodotto, si nota che al giorno 1 non ci sono differenze significative tra i campioni sottoposti ai trattamenti 1 e 4 in relazione alla loro elasticità, il cui valore misurato è stato rispettivamente 0,473 e 0,427. A partire dal terzo giorno si osserva un calo del parametro in questione fino ad un valore di 0,227 nei funghi sottoposti al trattamento 3 e di 0,302 nel trattamento 4. Il prodotto refrigerato a 4°C per tutta la fase di distribuzione, anche nel caso del trattamento 2 con una fase di stress termico durante il trasporto, tende invece a mantenere la sua elasticità.

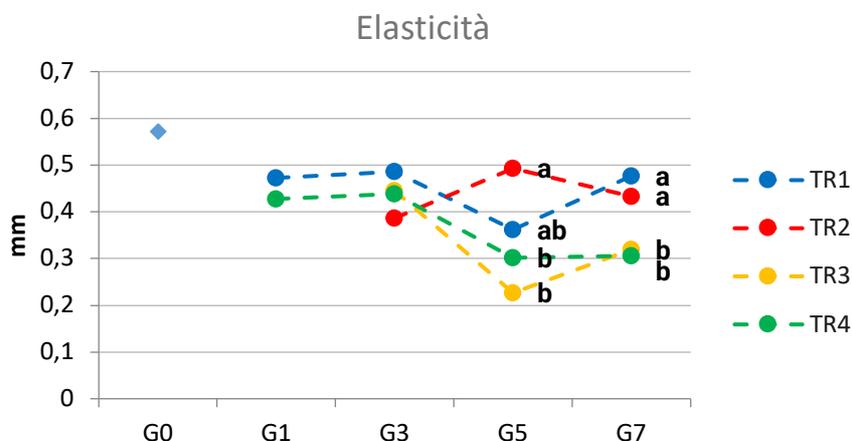


Figura 17: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'elasticità *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie ($p\text{-value} < 0,05$) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.4.3 Gommosità

Dal grafico in figura 18 è facilmente visibile come la gommosità del prodotto si mantenga elevata (sopra 3000) nei campioni sottoposti al trattamento 1, mentre nei funghi che sono stati conservati presso la grande distribuzione a 18°C si osserva a partire dal giorno 3 come la gommosità decresca vistosamente da un valore di 2500-2700 ad un valore di circa 1500 nell'ultimo giorno di conservazione. Al termine della prova il trattamento senza stress termico durante la catena del freddo è l'unico che mantiene una di gommosità superiore rispetto agli altri, con un valore misurato pari a 3444.05.

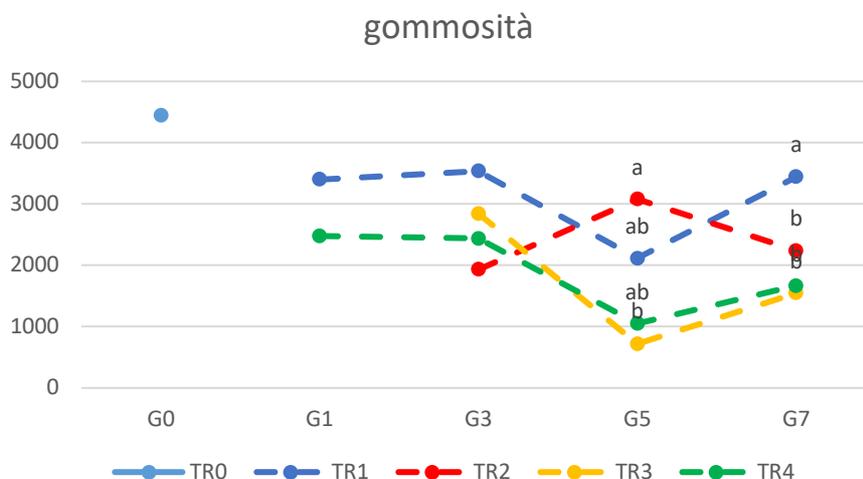


Figura 18: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sulla gommosità di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.4.4 Coesività

La figura 19 evidenzia come la coesività dal giorno 1 al giorno 3 sia stabile nei campioni sottoposti ai trattamenti 1 e 4. Dal terzo giorno si osserva invece un notevole incremento del valore del parametro considerato fino ad un valore superiore a 0,8 nei campioni esposti al trattamento 4 e di 0,76 nel caso di quelli invece conservati tramite il trattamento 1. Successivamente la coesività di tutti i campioni, ad eccezione di quelli conservati mediante TR2, decresce dal giorno 5 fino al giorno 7 ad un valore di 0,72.

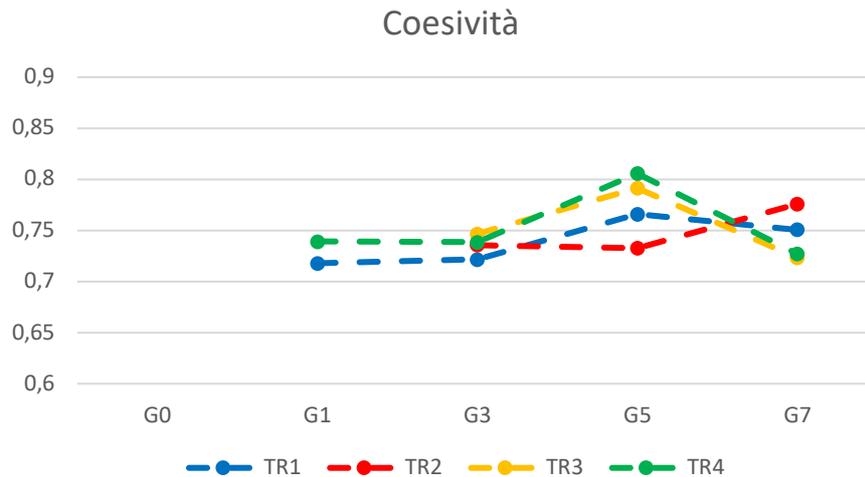


Figura 19: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sulla coesività di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie ($p\text{-value} < 0,05$) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.4.5 Masticabilità

La figura 20 evidenzia che nei giorni 1 e 3 non ci sono differenze statisticamente significative nella masticabilità dei campioni sottoposti all'esperimento. Nei giorni 5 e 7 invece la masticabilità tende a differire tra i vari trattamenti, con valori maggiori nei trattamenti 1 e 2 (1771,45 N e 1038,36 N), rispetto ai trattamenti 3 e 4 (545,4 e 624,17) a temperatura poco adeguata nella fase di distribuzione. Si deve considerare che valori maggiori di masticabilità indicano un prodotto più sodo e che quindi offre una maggiore resistenza alla masticazione.

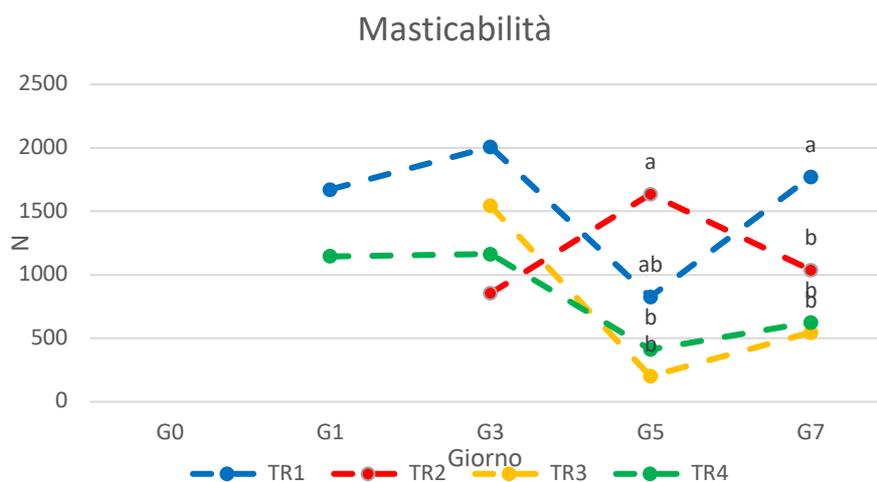


Figura 20: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sulla masticabilità di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie ($p\text{-value} < 0,05$) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.4.6 Resilienza

La figura 21 in merito alla resilienza dei campioni di *P.ostreatus* dimostra che i risultati riscontrati in tutti i trattamenti sono simili senza alcuna differenza significativa, con un valore medio compreso tra 0.45 e 0.4 nei giorni 1, 3 e 5.

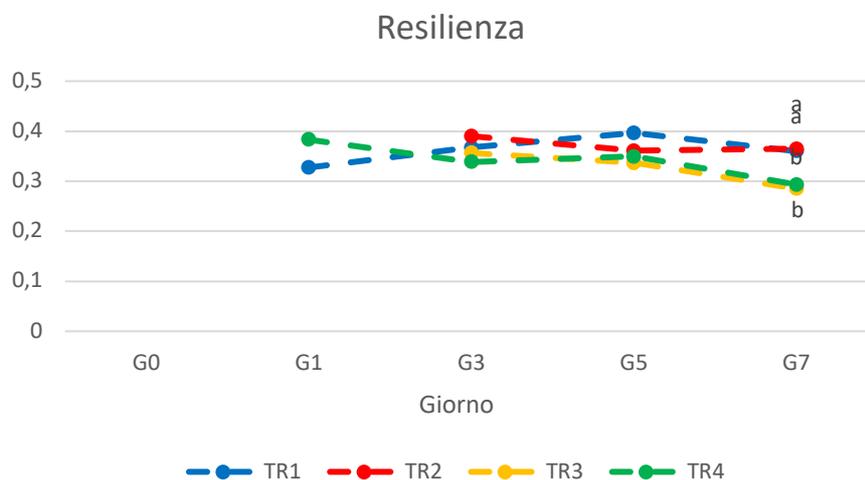


Figura 21: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sulla resilienza di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie ($p\text{-value} < 0,05$) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.5 Analisi qualitative

4.5.1 Solidi solubili

Il contenuto di solidi solubili visibile dalla figura 22, mostra come nei funghi conservati mediante i trattamenti 3 e 4 la solubilità tenda ad aumentare da un valore poco inferiore ai 2°Brix al giorno 3, ad un valore superiore a 6 nell'ultimo giorno di conservazione.

Invece la solubilità dei campioni conservati presso la grande distribuzione a 4°C attraverso il trattamento 1 e 2 tende a diminuire rispettivamente a partire dai giorni 3 e 5, da 6 a 4 °brix. Il contenuto di solidi solubili risulta differente in maniera significativa nel giorno 1 e 3 con valori più elevati rispettivamente nel trattamento 4 (3,9 ° Brix) e 1 (5,7 °Brix).

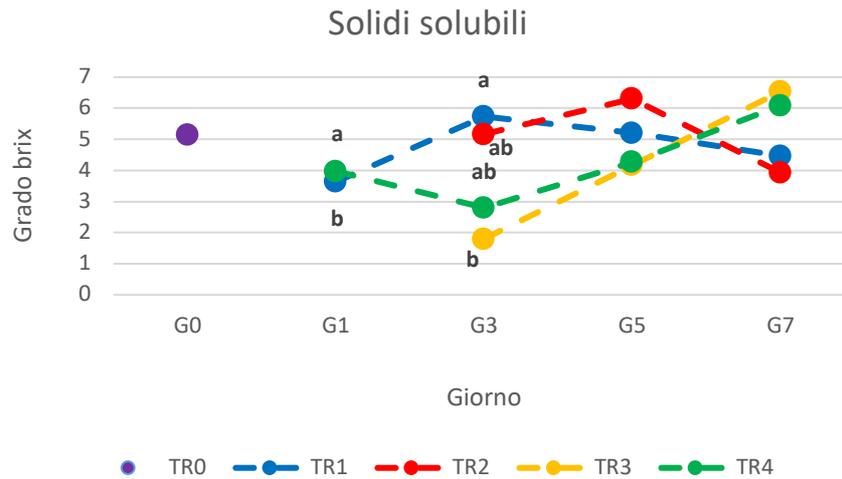


Figura 22: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sul contenuto di solidi solubili nei campioni di *P. ostreatus* sottoposti a vari trattamenti di conservazione durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie ($p\text{-value} < 0,05$) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.5.2 pH

In figura 23 è visibile che nel giorno del trasporto i funghi sottoposti ai trattamenti 1 e 4 hanno pH simile, rispettivamente circa 6,3 e 6,1. Tuttavia nei giorni successivi il pH dei campioni conservati a 18°C tende ad aumentare, mentre nel caso dei funghi conservati a 4°C rimane pressoché stabile. Il giorno 7 si notano differenze significative tra i trattamenti termici con i valori di pH più elevati nei campioni 2 e 3.

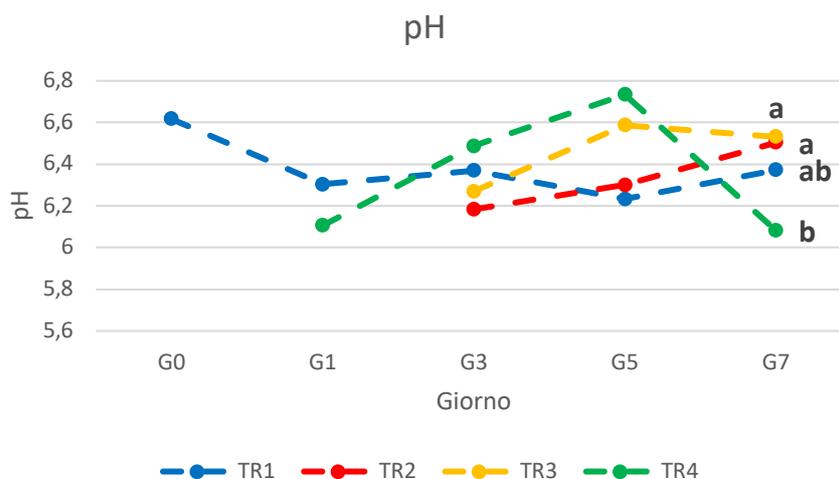


Figura 23: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento del pH nei campioni di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie ($p\text{-value} < 0,05$) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.5.3 Acidità titolabile

Il trattamento termico in post-raccolta è in grado di influire anche sull'acidità titolabile del prodotto (Fig. 24). Nello specifico nei trattamenti 1 e 2 dove la temperatura è stata idonea per tutto il periodo di conservazione presso la grande distribuzione, l'acidità titolabile decresce rispettivamente dal giorno 3 al giorno 7. Invece nei funghi conservati a 18°C, dal terzo giorno l'acidità titolabile aumenta da un valore di circa 0.03 g/L di acido citrico a 0.08 g/L di acido citrico per i campioni conservati tramite il trattamento 4. Al terzo giorno di conservazione i trattamenti termici si differenziano in maniera significativa con i campioni 1 e 2 (0,073 e 0,077 g/L di acido citrico) che si distinguono molto dai trattamenti 3 e 4 (0,026 e 0,033 g/L di acido citrico).

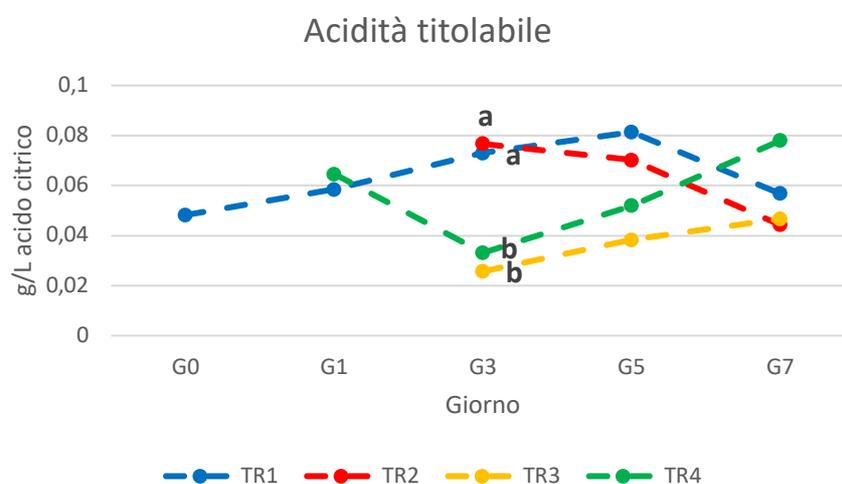


Figura 24: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'acidità titolabile nei campioni di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value<0,05) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.5.4 Conducibilità elettrica

In figura 25 è visibile che la conducibilità elettrica al giorno 1 differisce in maniera statisticamente significativa nei trattamenti 1 e 4, con un valore misurato rispettivamente di 3,95 e 4,07 mS/cm. Al giorno 3 non sono state osservate differenze significative nei trattamenti 2 e 4, i quali però tendono a differire dai campioni 1 e 3. Si può affermare infine che nei giorni 5 e 7 tra i vari trattamenti non ci sono differenze statisticamente significative tra i vari trattamenti.

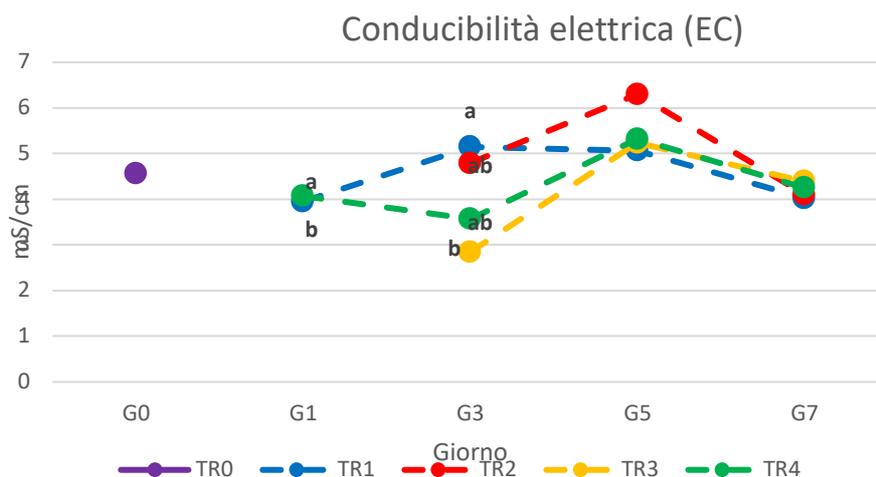


Figura 25: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento dell'EC nei campioni di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.6 Antiossidanti e polifenoli totali

L'attività antiossidante al giorno 1 è maggiore nei campioni che sono stati sottoposti al trattamento 4, in seguito tende a decrescere con il procedere della conservazione (Fig. 26). I funghi conservati a 4°C per tutta la durata della sperimentazione invece presentano un'attività antiossidante minore e più stabile nel tempo. Il contenuto di antiossidanti dei campioni sottoposti ai trattamenti 2 e 3 si colloca in posizione intermedia rispetto agli altri conservati attraverso TR1 e TR4. I risultati ottenuti non presentano però alcuna differenza significativa tra i vari trattamenti termici.

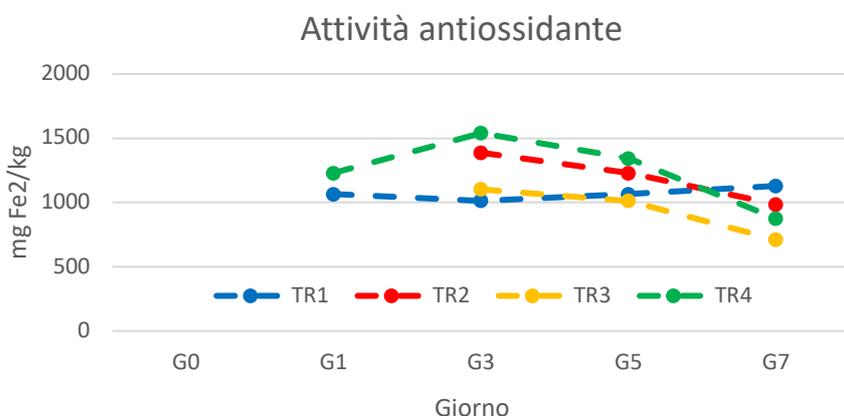


Figura 26: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento dell'attività antiossidante nei campioni di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

In figura 27 è visibile il maggiore quantitativo di polifenoli nel TR4 a partire dal terzo giorno di conservazione; i campioni sottoposti a trattamento 1 hanno invece presentato un contenuto di polifenoli inferiore, compreso tra 1200 mg GAE/kg ps al giorno del trasporto e 900 mg GAE/kg ps all'ultimo giorno di conservazione. L'andamento del contenuto polifenolico è simile nei campioni conservati mediante trattamenti 2 e 3 ed al giorno 5 si può affermare che i due si distinguono dai trattamenti termici 1 e 2.

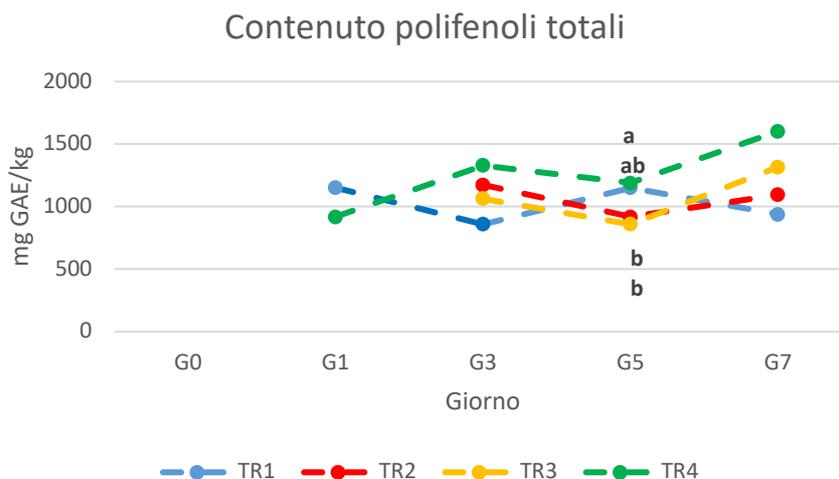


Figura 27: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sull'andamento dell'attività antiossidante nei campioni di *P. ostreatus* durante la sperimentazione: giorno 1 trasporto, giorni 3-7 GDO. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) secondo il test HSD di Tukey. Conservazione a 4°C per tutta la shelf-life (Tr1); conservazione a 18°C durante il trasporto e a 4°C durante la GDO (Tr2); conservazione a 4°C durante il trasporto e a 18°C durante la GDO (Tr3); conservazione a 18°C per tutta la shelf-life.

4.7 Composizione amminoacidica

I funghi appartenenti al genere *P. ostreatus* contengono una quantità di amminoacidi compresa tra i 15 e i 20 grammi su 100 g di sostanza secca, dei quali circa il 30% sono essenziali.

Dalla tabella 3, che descrive la concentrazione di amminoacidi non essenziali, si evince che i più presenti sono l'acido aspartico e l'acido glutammico, il cui contenuto è di circa 3-4 g su 100 g di massa secca. L'arginina, la serina, la glicina, la treonina, la prolina, la tirosina, la valina e la fenilalanina sono presenti in quantità comprese tra 0,5-1 g su 100g di ss. L'apporto in lisina, leucina e alanina è di circa 1-1,5 g su 100 g di ss. Infine in quantità inferiori di 0,5 g su 100 g di sostanza secca ci sono il triptofano, la cisteina e la metionina. Si può inoltre affermare che sulla base dell'analisi della varianza, non ci sono differenze significative nel contenuto amminoacidico a seconda della temperatura di conservazione alla quale i funghi sono stati sottoposti. In relazione gli amminoacidi essenziali si può notare che non ci sono differenze significative tra i campioni sottoposti ai vari trattamenti, il cui contenuto rimane sostanzialmente stabile tra il 32 ed il 29% (Tab. 5).

Tabella 3: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sul contenuto di amminoacidi essenziali in *P. ostreatus*: Tr1: temperatura costante a 4°C per tutta la catena del freddo, Tr1-Tr3: 4°C durante il trasporto, Tr2-Tr4: 18°C durante il trasporto, Tr2: 18°C durante il trasporto, 4°C durante la GDO, Tr3: 4°C durante il trasporto e 18°C durante la GDO, Tr4: 18°C per tutta la catena del freddo.

TRATTAMENTO	GIORNO	Treonina	Lisina	Metionina	Valina	Isoleucina	Leucina	Fenilalanina	Triptofano
		mg/100g							
TR0	G0	746	1133	190	536	445	1037	576	225
TR1-TR3	TRASPORTO	894	1421	233	639	510	1238	673	281
TR2-TR4	TRASPORTO	878	1340	208	659	551	1207	644	276
TR1	GDO	658	874	148	483	357	842	510	218
TR2	GDO	992	1392	235	758	580	1310	754	370
TR3	GDO	861	1087	169	635	481	1059	596	314
TR4	GDO	792	1070	161	610	490	1036	588	276

Tabella 4: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sul contenuto di amminoacidi non essenziali in *P. ostreatus*: Tr1: temperatura costante a 4°C per tutta la catena del freddo, Tr1-Tr3: 4°C durante il trasporto, Tr2-Tr4: 18°C durante il trasporto, Tr2: 18°C durante il trasporto, 4°C durante la GDO, Tr3: 4°C durante il trasporto e 18°C durante la GDO, Tr4: 18°C per tutta la catena del freddo.

TRATTAMENTO	GIORNO	Istidina	Arginina	Serina	Glicina	Aspartico	Glutammico	Alanina	Prolina	Tirosina	CYS
		mg/100g									
TR0	G0	445	839	869	737	2052	2823	1228	673	494	99,7
TR1-TR3	TRASPORTO	539	1015	1050	883	2467	3547	1461	826	585	116
TR2-TR4	TRASPORTO	508	955	1002	859	2093	3129	1661	794	547	110
TR1	GDO	471	655	730	612	1785	3333	1098	556	417	88,8
TR2	GDO	590	1041	1117	933	2400	4394	1807	872	661	131
TR3	GDO	505	787	924	818	2004	4314	1820	713	530	110
TR4	GDO	453	834	859	777	1932	3318	1722	672	513	108

Tabella 5: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sul contenuto di amminoacidi totali dei campioni di *P. ostreatus*: Tr1: temperatura costante a 4°C per tutta la catena del freddo, Tr1-Tr3: 4°C durante il trasporto, Tr2-Tr4: 18°C durante il trasporto, Tr2: 18°C durante il trasporto, 4°C durante la GDO, Tr3: 4°C durante il trasporto e 18°C durante la GDO, Tr4: 18°C per tutta la catena del freddo.

TRATTAMENTO	GIORNO	TOTALE AMINOACIDI	TOT AMINOACIDI ESSENZIALI	TOT AMINOACIDI NON ESSENZIALI	% AMINOACIDI ESSENZIALI
		mg/100g			
TR1	G0	15155	4892	10263	32,2
TR1-TR3	TRASPORTO	18388	5893	12495	32,0
TR2-TR4	TRASPORTO	17430	5767	11662	33,0
TR1	GDO	13842	4093	9749	29,5
TR2	GDO	20346	6395	13950	31,4
TR3	GDO	17736	5205	12530	29,3
TR4	GDO	16219	5026	11192	30,9

4.8 Contenuto di fibra totale

Dalla tabella 6 si può osservare che il contenuto di fibra totale dei campioni di *P.ostreatus* varia tra il 35% ed il 41% ma non in maniera significativa nei diversi giorni di rilievo.

Tabella 6: Effetto del trattamento termico in post-raccolta sul contenuto di fibra totale in campioni di P.ostreatus: Tr1: temperatura costante a 4°C per tutta la catena del freddo, Tr1-Tr3: 4°C durante il trasporto, Tr2-Tr4: 18°C durante il trasporto, Tr2: 18°C durante il trasporto, 4°C durante la GDO, Tr3: 4°C durante il trasporto e 18°C durante la GDO, Tr4: 18°C per tutta la catena del freddo.

TRATTAMENTO TERMICO	Fase della catena del freddo	TDF
		%
TR1	G0	41,6
TR1-TR3	TRASPORTO	38,0
TR2-TR4	TRASPORTO	40,7
TR1	GDO	43,4
TR2	GDO	35,3
TR3	GDO	38,9
TR4	GDO	41,3

5. Discussione

5.1 Peso

I funghi sono caratterizzati da un contenuto d'acqua che supera il 90% del loro peso totale. In assenza delle opportune condizioni di immagazzinamento, essi possono andare incontro a perdite di peso che superano il 5%. Questo evento è da ascrivere al fenomeno della traspirazione, causato dalla differenza di pressione di vapore tra l'interno del prodotto e l'atmosfera circostante. Nei funghi inoltre le perdite di traspirazione sono accentuate dall'assenza di una cuticola esterna che permetterebbe di contenere gli scambi di umidità con l'ambiente. Perdite di peso all'ordine del 4-6% provocano altre problematiche qualitative come l'avvizzimento, con effetti deleteri sull'aspetto estetico del prodotto, rendendo lo stesso inidoneo alla vendita (FreshPlaza, 2011).

Dai risultati della sperimentazione appare chiaro che i funghi conservati a temperatura di 18°C (TR3 e TR4) abbiano una shelf-life limitata, infatti al terzo giorno le perdite di umidità superano il 5%, comportando una graduale senescenza del prodotto il quale nel giro di poco tempo diventa invendibile.

Tale esito conferma i dati riportati da Choi et al. (2003) e Jitareerat et al. (2018), i quali hanno condotto la prova di shelf-life a 4°C, 10°C e 25°C. Alla temperatura di 4°C i risultati sono molto simili, con una perdita di peso di circa dell'1% al settimo giorno di conservazione. Alla temperatura di 25°C la perdita di peso al sesto giorno supera il 6%. Quest'ultimo risultato si avvicina a quello ottenuto in questa sperimentazione a 18°C, dove la perdita di peso raggiunge l'8% durante la conservazione.

Ad ulteriore conferma di quanto citato, Kyere et al. (2021) nel loro studio hanno affermato che i campioni di *P. ostreatus* conservati a 24°C sono soggetti ad una rapida perdita di umidità a causa dell'intensa attività metabolica a cui il fungo è soggetto a tale temperatura. Al contrario, dopo 24 ore, le perdite di peso sono sostanzialmente nulle se il prodotto è conservato a 3°C.

5.2 Colore

Il colore è il primo parametro che viene valutato dal consumatore; pertanto, svolge un ruolo cruciale nella decisione d'acquisto. L'imbrunimento enzimatico è un evento biochimico che avviene spontaneamente in seguito alla raccolta e che va ad impattare negativamente la qualità, l'aspetto estetico e le caratteristiche sensoriali del fungo. A tal discapito la prevenzione dell'ossidazione durante la produzione e lo stoccaggio è diventata una priorità delle aziende alimentari (Kyere et al., 2021).

L'imbrunimento enzimatico si verifica nel momento in cui l'enzima tirosinasi entra a contatto con il relativo substrato. I composti fenolici sono normalmente presenti nei vacuoli delle cellule e quindi sono separati dall'enzima, tuttavia lesioni meccaniche ai tessuti vegetali, comportano il contatto tra enzima e substrato. La tirosina catalizza l'ossidazione dei monofenoli a difenoli, i quali essendo composti instabili polimerizzano in melanoidine, composti dall'alto peso molecolare a cui è da imputare il colore scuro (Lei et al., 2018).



Figura 28: Variazioni di colore di *P. ostreatus* durante la conservazione.

Il browning index è un parametro che permette di quantificare la reazione di imbrunimento enzimatico. Nella presente sperimentazione, si evince che la temperatura sia il fattore che incide più fortemente sul cambiamento di colore nel post-raccolta. La conservazione a 4°C permette di contenere il fenomeno dell'imbrunimento in maniera molto più efficiente rispetto a 18°C.

Questo probabilmente è dovuto al fatto che a temperatura ambiente l'attività tirosinasi è molto più alta rispetto che alle condizioni di frigoconservazione. A sostegno di quanto appena affermato ci sono diversi articoli scientifici (Quevedo et al., 2016; Singh et al., 2010), nei quali si evince che il tasso di imbrunimento aumenta al crescere della temperatura di conservazione.

Quanto appena affermato è in accordo con l'articolo di Clement et al. (2021) che sostiene che il cambiamento di colore nei funghi è uno dei più importanti indicatori di qualità ed ha quindi un importante impatto sulla shelf-life. Inoltre si evince che la temperatura e la durata di conservazione influenzano la variazione di colore. In particolare da questo studio si può constatare che i *P. ostreatus* imbruniscono ed ingialliscono in maniera evidente dopo 4 giorni a temperatura ambiente, mentre l'effetto analogo si ha dopo 8-9 giorni di conservazione a 3°C.

5.3 Proprietà meccaniche

La texture è l'insieme di proprietà fisiche che derivano dalla struttura di un alimento ed è associata alle sue proprietà meccaniche e reologiche ed è un altro importante parametro qualitativo dei funghi edibili. Nel corso della shelf-life i funghi tendono a perdere progressivamente di consistenza a causa dell'indebolimento della struttura della parete cellulare e alla degradazione della pectina, polimero che costituisce in maniera predominante la lamella mediana, la quale ha la funzione di tenere unite le cellule vegetali (Gholami et al., 2018).

Nei funghi la durezza, la gommosità e l'elasticità sono le tre proprietà meccaniche più importanti per la valutazione della qualità, le quali tendono a variare nel corso della conservazione.

Nel seguente studio abbiamo osservato che a 4°C il declino è stato molto più lento rispetto a 18°C, dove i funghi apparivano senescenti già dopo solo un giorno di conservazione.

La texture dipende strettamente dal contenuto d'acqua del prodotto, pertanto è chiaro che una conservazione a temperatura non idonea determina maggiori perdite d'umidità a causa della traspirazione. Tale osservazione consente di affermare che i funghi saranno caratterizzati da un minor turgore cellulare e quindi risulteranno rammolliti e meno sodi rispetto a quelli conservati invece a bassa temperatura (Song et al., 2019).

I risultati ottenuti sono in accordo con quelli ricavati da Song et al., (2019), che hanno condotto la medesima valutazione su *Agaricus bisporus*. Si evince infatti che a 18°C il cambiamento nelle tre proprietà meccaniche considerate è analogo a quello avvenuto in *P. ostreatus*.

La perdita di consistenza è favorita dal calore prodotto dal vegetale durante la respirazione e dalla condensa formatasi all'interno della confezione dovuta alla perdita di umidità causata dalla traspirazione del fungo. Infatti come è già stato ribadito molteplici volte in questa tesi, la temperatura incrementa la velocità delle reazioni chimiche, pertanto il deterioramento relativo alla texture del prodotto è maggiore a 18°C.

Tale esito è confermato dai Villaescusa e Gil (2003) che nel loro studio evidenziano che la durata e la temperatura di conservazione incidono sui cambiamenti della texture di *P. ostreatus*. Lo stoccaggio a temperatura non adeguata, favorisce la migrazione d'acqua tra il prodotto e l'atmosfera circostante e la crescita microbica, fenomeni che agevolano il rammollimento e la perdita di consistenza del fungo. Ares et al. (2005) nella loro sperimentazione sostengono ulteriormente che il più grande scadimento qualitativo nei funghi è attribuibile alla perdita delle proprietà meccaniche originali. Essi affermano che la senescenza post raccolta è assimilabile ai cambiamenti della struttura della membrana cellulare, la quale non è più in grado di svolgere il proprio ruolo di barriera e mantenere quindi il turgore cellulare del prodotto.

5.4 Analisi qualitative

Per quanto riguarda la concentrazione di solidi solubili i valori riscontrati nei diversi trattamenti sono compresi tra i 3 ed i 6°Brix. Tali dati coincidono con il valore medio di 5° Brix riportato in diversi articoli scientifici (Villaescusa et al., 2003).

Sulla base dei risultati ottenuti in questo studio si può affermare che i quattro trattamenti esaminati non esplicano differenze sostanziali in termini di pH. Infatti tutti i campioni per l'intera durata della conservazione hanno un pH compreso tra circa 6.2 e 6.7, risultato in linea con quelli presenti in letteratura (Villaescusa et al., 2003).

L'acidità titolabile dei campioni sottoposti ai vari trattamenti sembra differire leggermente, nel dettaglio per quasi la totalità del periodo di conservazione è maggiore nei campioni conservati a bassa temperatura rispetto a quelli conservati a 18°C.

La conducibilità elettrica ha un valore di 3-5 mS/cm, risultato che coincide con i dati che si possono reperire in letteratura. Tale parametro sembrerebbe non essere influenzato dalla temperatura in quanto si sono riscontrati in tutti i trattamenti valori pressoché simili.

5.5 Attività antiossidante e contenuto polifenoli

Lo stress ossidativo è considerato uno dei maggiori promotori di diverse malattie degenerative come il cancro. Dalle informazioni riportate nella letteratura scientifica i funghi appartenenti al genere *Pleurotus* sono ricchi di antiossidanti, come i composti fenolici, i quali sono in grado di rallentare o inibire i processi ossidativi (Gasecka et al., 2020).

I polifenoli sono una famiglia di molecole di origine organica prodotte dal metabolismo delle piante. Si tratta di sostanze a cui sono imputate diverse funzioni, come per esempio l'odore, l'astringenza, la stabilità ossidativa ed il colore dei cibi. Infatti, come già descritto in questa tesi, la tipica reazione di imbrunimento che avviene in molti alimenti di origine vegetale è attribuita alla trasformazione dei composti fenolici in pigmenti scuri.

I funghi sono un'ottima fonte di polifenoli, i quali esplicano importanti funzioni a livello dell'organismo umano. Oltre a ridurre il rischio ossidativo e proteggere l'organismo dagli effetti dannosi dei radicali liberi. Aiutano a controllare la pressione sanguinea, sono degli antinfiammatori naturali e stimolano la produzione di insulina, riducendo in questo modo il rischio di insorgenza di diabete ed obesità (Chirinang et al., 2009).

Il contenuto fenolico dipende da molteplici fattori come, per esempio, dalla varietà dei funghi, dalla tipologia di substrato utilizzato, dalle condizioni ambientali durante la coltivazione e dai parametri impiegati durante l'estrazione, come per esempio la temperatura ed il solvente utilizzati.

La concentrazione fenolica dei campioni rilevata nel presente studio è in linea con quella ricavata dallo studio di Gonzalez-Palma et al., (2016), ma risulta minore rispetto ai dati presentati da Vieira et al., (2013). Considerando i risultati ottenuti in questo studio, il contenuto di polifenoli è maggiore nei campioni conservati a temperatura più alta. Questo è spiegabile dal fatto che i funghi conservati a temperatura ambiente sono più propensi ad andare in contro a modifiche strutturali, in primis il danneggiamento della membrana cellulare, determina una maggiore liberazione di sostanze fenoliche (Garcia et al., 2020).

5.6 Contenuto proteico e composizione amminoacidica

P. ostreatus presenta un contenuto di proteine compreso tra 17 e 42 g per 100 grammi di sostanza secca, che dipende dal tipo di substrato di coltivazione, dalle sue caratteristiche chimico-fisiche e dall'epoca di raccolta. Le proteine contenute nei funghi *Pleurotus* sono considerate di alta qualità perché presentano una distribuzione ottimale tra amminoacidi essenziali e non essenziali, rispettivamente il 40% ed il 60%.

Sulla base dei dati forniti dalla World Health Organization relativamente alla concentrazione di amminoacidi essenziali, si può affermare che 100 grammi di sostanza secca di *P. ostreatus* soddisfano pienamente il fabbisogno giornaliero di tutti gli EAA. Inoltre si evidenzia che sulla base dei risultati ottenuti in tabella 4, i campioni sottoposti a tutti i trattamenti presentano una concentrazione di amminoacidica che rientra ampiamente all'interno dei valori indicati dalla WHO.

Il profilo amminoacidico riportato nel capitolo 4.7 è stato confrontato con quello riportato dallo studio di Tagkouli et al., (2020). Sono stati riscontrati valori simili per quanto riguarda la concentrazione di leucina, alanina, serina e valina. Il contenuto di acido glutammico è molto più basso, infatti ha un valore compreso tra 481 e 784 mg/100g di sostanza di secca. Tale differenza è probabilmente da attribuire alla composizione del substrato utilizzato.

In riferimento alle considerazioni fatte finora, si potrebbe pensare che l'apporto in proteine dei funghi sia comparabile a quello della carne, del pesce e di altri alimenti di origine animale. Tuttavia è da precisare che tutte le analisi sono state condotte sul residuo secco e si ricorda che i funghi in genere sono costituiti da circa il 90% da acqua. Infatti il prodotto fresco è in grado di fornire circa 3 g di proteine per 100 g e considerando che il fabbisogno giornaliero, secondo le linee guida definite dall'EFSA è pari a 0,83 g per kg di peso corporeo negli adulti, una porzione di funghi è in grado di

ricoprire solo per il 4-7% il fabbisogno stesso. Sulla base di quanto appena constatato, dallo studio di Pornariya et al. (2009) si evince che il contenuto di EAA in 100 grammi di prodotto fresco è piuttosto limitato e pertanto si può ragionevolmente affermare che i funghi non sono un alimento valido per soddisfare il fabbisogno proteico ed amminoacidico giornaliero di un individuo adulto.

6. Conclusioni

La presente sperimentazione ha permesso di affrontare i potenziali problemi che potrebbero scaturire da una cattiva gestione nella conservazione post raccolta di *P. ostreatus* durante la catena del freddo. Si è evinto che il peso, il colore e la texture sono i parametri qualitativi più soggetti a cambiamenti in caso di conservazione a temperatura poco idonea. Eccessive perdite di peso, l'imbrunimento, l'ingiallimento e la perdita delle proprietà meccaniche originali comportano un iniziale deprezzamento fino ad arrivare all'impossibilità di commercializzare il prodotto qualora il prodotto sia eccessivamente deperito. Ci sono diversi trattamenti che possono essere eseguiti per cercare di limitare tali cambiamenti, ma la frigoconservazione è la strategia più efficiente. Il mantenimento della temperatura di 4°C lungo tutta la filiera del fungo permette di estendere la sua conservabilità a circa 7 giorni, al contrario a 18°C il prodotto va in contro ad una rapida senescenza che limitano la shelf-life a 2-3 giorni.

In riferimento alle caratteristiche qualitative si può affermare che i quattro trattamenti di conservazione esaminati non abbiano influito sui parametri analizzati. Per quanto riguarda il contenuto proteico ed amminoacidico anche in questo caso non ci sono differenze significative tra i vari trattamenti.

Esaminando i risultati di questo studio è stato possibile constatare che è sufficiente uno stress termico per un arco di tempo limitato, come per esempio durante il trasporto, affinché le caratteristiche qualitative del prodotto ne risentano in maniera negativa anche nei giorni di conservazione successivi. Il mantenimento della temperatura di frigoconservazione a 4°C lungo tutta la filiera (TR1), permette di contenere il decadimento della qualità dei funghi, pertanto è di fondamentale importanza assicurarsi che il prodotto sia stoccato in maniera idonea, soprattutto presso la grande distribuzione, luogo dove il prodotto resta per più tempo.

Bibliografia

1. Agarwal S., Kushwaha A., Verma V., Singh M.P. (2017). Nutritional attributes of *Pleurotus* mushroom. Nova Science Publishers, 2, pp 13-24.
2. Alam N., Khan A., Hossain M.S., Amin S.M.R., Khan L.A. (2007). Nutritional analysis of dietary. Bangladesh J. Mushrooms, 1(2), pp 1-7.
3. Bernás E., Jaworska G. (2016). Vitamins profile as an indicator of the quality of frozen *Agaricus bisporus* mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, pp 1-8.
4. Charles, F., Guillaume, C., Gontard N. (2008). Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality changes of fresh mushrooms. *Postharvest Biol. Technol.*, 48, pp 22–29
5. Chitra K., Venkatesh R., Dhanalakshmi K., Sharavanan P.T., Bali Sasikumar C., Karthikeyani Vijayakumari K. (2018). Production and economic analysis of oyster mushroom (*Pleurotus florida*). *Int J Curr Microbiol App Sci.* 7(09), pp 379–383.
6. Chirinang P. and Intarapichet O. (2009). Amino acids and antioxidant properties of the oyster mushrooms, *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju*. *Science Asia*, 35, pp 326-331.
7. De Mattos-Shipley KMJ, Ford KL, Alberti F, Banks AM, Bailey AB, Foster GD. (201)6. The good, the bad and the tasty: the many roles of mushrooms. *Stud Mycol.* 85, pp 125–157.
8. FreshPlaza (2019). Taking stock of European mushroom production
9. Gąsecka M., Siwulski M., Magdziak Z., Budzyńska S., Stuper-Szablewska K., Niedzielski P. (2020). The effect of drying temperature on bioactive compounds and antioxidant activity of *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray and *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers. *Journal of Food Science and Technology*, 57(2), pp 513-525.
10. Gholami R., Ahmadi E., Farris S. Shelf life extension of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) by low temperatures conditioning, modified atmosphere, and nanocomposite packaging material (2018). *Postharvest Biology and Technology*, 139, pp 99-105.
11. Grimm D. and Wösten H. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, pp 7795-7803.
12. Guillaume C., Schwab I., Gastaldi E., Gontard N. (2010). Biobased packaging for improving preservation of fresh common mushrooms (*Agaricus bisporus* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(4), pp 690-696.

13. Guillon G, Champ M (2000). Structural and physical properties of dietary fibers, and consequences of processing on human physiology. *Food Res Int.*, 33(3–4), pp 233–245.
14. González-Palma I., Escalona-Buendía H.B., Ponce-Alquicira E., Téllez M., Gupta V. K., Díaz-Godínez G., Soriano-Santos J. (2016). Evaluation of the antioxidant activity of aqueous and methanol extracts of *Pleurotus ostreatus* in different growth stages. *Frontiers in microbiology*, 7, pp 1099.
15. Huang Q., Qian X., Jiang T., Zheng X. (2019). Effect of chitosan and guar gum based composite edible coating on quality of mushroom (*Lentinus edodes*) during postharvest storage. *Scientia Horticulturae*, 253, pp 382-389.
16. Jaworska G., Bernaś E., Mickowska B. (2011). Effect of production process on the amino acid content of frozen and canned *Pleurotus ostreatus* mushrooms. *Food Chemistry*, 125 (3), pp 936-943.
17. Jitareerat, P., Uthairatanakij, A., Eamnu, C., Aimla-or, S., Boonyaritthongchai, P. and Jenjob, A. (2018). The optimal storage temperatures for harvested oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kummer). *Acta Hort.*, 1213, pp 251-256.
18. Kalac P. (2013). A review of chemical composition and nutritional value of wild- growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), pp 209–218.
19. Karppanen H., Karppanen P., Mervaala E. (2005). Why and how to implement sodium, potassium, calcium, and magnesium changes in food items and diets? *J Hum Hypertens*, 19(3), pp 10–19.
20. Kumar K. (2015). Role of edible mushroom as functional foods, a review. *South Asian Journal of Food Technology and Environment.*, 1(3–4), pp 211–218.
21. Lagnika C., Zhang M., Nsor-Atindana J., Bashari M (2014). Effects of ultrasound and chemical treatments on white mushroom (*Agaricus bisporus*) prior to modified atmosphere packaging in extending shelf-life. *Journal of Food Science & Technology*, 51(12), pp 3749-3757.
22. Lei J., Li B., Zhang N., Yan R., Guan W., Brennan C.S., Peng B. (2018). Effects of UV-C treatment on browning and the expression of polyphenol oxidase (PPO) genes in different tissues of *Agaricus bisporus* during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 139, pp 99-105.

23. Li P., Zhang X., Hu H., Sun Y., Wang Y., Zhao Y. (2013). High carbon dioxide and low oxygen storage effects on reactive oxygen species metabolism in *Pleurotus eryngii*. *Postharvest Biol. Technol.*, 85, pp 141–146.
24. Maffi G. (2011). L'Italia delle fungaie [Italy of the mushroom farms]. AIF Informa Ed. Italian.
25. Mami Y., Peyvast G., Ziaie Z., Ghasemnezhad M., Salmanpour V. (2014). Improvement of shelf life and postharvest quality of white button mushroom by electron beam irradiation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), pp 1673-1681.
26. Marcal S., Sousa A. S., Alcina F. A., Freitas C., Barros L., Ferreira I. Pintado M. (2021). Impact of postharvest preservation methods on nutritional value and bioactive properties of mushrooms. *Trends in Food Science & Technology*, 110, pp 418-431.
27. Marshall E., Nair N.G. (2009). Make money by growing mushrooms. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 92(5), pp 106-135.
28. Mbassi Josian E.G., Mobou Estelle Y., Ngome Francis A., Sado Kamdem S.L. (2018). Effect of substrates on nutritional composition and functional properties of *Pleurotus ostreatus*. 5(1), pp 15-22.
29. Miaschi J. (2017). The World's top producers of mushrooms and truffles.
30. Migliore L., Fiori M., Spadoni A., Galli E. (2012). Biodegradation of oxytetracycline by *Pleurotus ostreatus* mycelium: a mycoremediation technique. *J. Hazardous Material*, 215-216, pp 227-232.
31. Oyetayo V. O., Ariyo O.O. (2013). Micro and Macronutrient Properties of *Pleurotus ostreatus* Cultivated on Different Wood Substrates. *Jordan Journal of biological sciences*, 6(3), pp 223-226.
32. Patil S.S., Ahmed S.A., Telang S.M. (2010). The nutritional value of *Pleurotus ostreatus* (jacq.:fr.) Kumm cultivated on different lignocellulosic agrowastes. *Innov Rom Food Biotechnol.* 7, pp 66–76.
33. Pei F., Yang W., Ma N., Fang Y., Zhao L., An X. (2016). Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GC e MS and electronic nose. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology*, 72, pp 343-350.
34. Piskov S., Timchenko L., Grimm W.D., Rzhepakovsky I., Avanesyan S., Sizonenko M. (2020). Effects of various drying methods on some physico-chemical properties and the antioxidant profile and ACE inhibition activity of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Foods*, 9(2), pp 160.

35. Ragnathan R., Swaminathan K. (2003). Nutritional status of *Pleurotus* spp. grown on various agro-wastes. *Food Chemistry*, (80), pp 371-375.
36. Rahman, S., Khan I., Oh, D.H. (2016). Electrolyzed Water as a novel sanitizer in the food industry: current trends and future. Perspectives. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*,15, pp 471–490.
37. Rashad F.M., Kattan MHE, Fathy HM, ElFattah DAA, Tohamy ME, Farahat AA. (2019). Recycling of agro-wastes for *Ganoderma lucidum* mushroom production and *Ganoderma* post mushroom substrate as soil amendment. *Waste Manage*, 88, pp 147–159.
38. Rathore, H., Prasad, S., Sharma, S. (2017). Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review. *PharmaNutrition*, 5(2), pp 35–46.
39. Rickman JC, Barret D., Bruhn C., 2007. Nutritional comparison of fresh: frozen and canned fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.*, 87, pp 930-944.
40. Rodrigues da Luz J.M., Ribeiro K.V.G., Mendes I.R., Kasuya M., Megumi C. (2015). Degradation of Green Polyethylene by *Pleurotus ostreatus*”, *Plos one*, 10 (6).
41. Royse D. (2014). A global perspective on the high five: Agaricus, Pleurotus, Lentinula, Auricularia & Flammulina. *Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*, pp 1–6.
42. Royse DJ, Baars J, Tan Q. (2017). Current overview of mushroom production in the World. *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*, pp 5–14.
43. Saidee R., Kamrul H., Fakhur U.T., Sohanur R. (2020). Effect of Low Temperature on Postharvest Behaviors of Oyster Mushroom (*Pleurotus* spp.). *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 7 (3), pp 213-225.
44. Salgado P.R., Ortiz C.M., Musso Y.S., Di Giorgio L., Mauri A.N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, 5, pp 86-92.
45. Sardar H, Ali M.A., Anjum M.A. (2017). Agro-industrial residues influence mineral elements accumulation and nutritional composition of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). *Sci Hort.*, 225, pp 327–334.
46. Schneider I., Kressel G., Meyer A. (2011). Lipid lowering effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in humans. *J Funct Foods*, 3(1), pp 17–24.
47. Singh M.P., Singh V.K. (2011). Yield performance and nutritional analysis of *Pleurotus citrinopileatus* on different agro wastes and vegetable wastes. *Paper presented at: The 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*.

48. Szwedziak K., Polańczyk E. (2018). Statistical analysis of common mushroom yielding from cultivation integrated with preparations containing beneficial microorganisms. *Agric Eng.* 22(3), pp 69-74.
49. Victor O. O and. Olatomiwa O. A (2013). Micro and macronutrient properties of pleurotus ostreatus (Jacq: Fries) cultivated on different wood substrates. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 6, pp 223 – 226.
50. Vieira, P. A. F., Gontijo, D. C., Vieira, B. C., Fontes, E. A., de Assunção L. S., Leite, J. P. V., Kasuya, M. C. M. (2013). Antioxidant activities, total phenolics and metal contents in *Pleurotus ostreatus* mushrooms enriched with iron, zinc or lithium. *LWT-Food Science and Technology*, 54(2), pp 421-425.
51. Wu S.R., Zhao C.Y.; Hou B., Tai L.M., Gui, M.Y (2013). Analysis on chinese edible fungus production area layout of nearly five years. *Edible Fungi China*, 1, pp 51-53.
52. Xu Y., Tian Y., Ma R. (2016). Effect of plasma activated water on the postharvest quality of button mushrooms, *Agaricus bisporus* *Food Chemistry*, 197, pp 436-444.
53. Zhang K., Pu Y.Y., Sun D.W (2018). Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. *Trends in Food Science & Technology*, 78, pp 72-82.