



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti

Risorse naturali e Ambiente

Corso di laurea Magistrale Scienze e Tecnologie Alimentari LM-LS

**Applicazione di illuminazione LED a diverse lunghezze d'onda nella
coltivazione di *Pleurotus ostreatus*: effetti su produzione e qualità**

Relatore

Prof. Carlo Nicoletto

Correlatore

Dott.ssa Marina De Bonis

Laureanda

Chiara Brunello

Matricola n.

2097305

Indice

Riassunto.....	7
Abstract.....	9
1. Introduzione.....	11
1.1 I funghi eduli coltivati	11
1.2 Il mercato dei funghi.....	12
1.2.1 Il mercato mondiale	12
1.2.1.1 La produzione	12
1.2.1.2 Le varietà	13
1.2.1.3 Valore economico attuale e prospettive future	13
1.2.2 Il mercato italiano	14
1.2.2.1 La produzione	14
1.2.2.2 Le varietà	14
1.2.2.3 Valore economico attuale e prospettive future	14
1.3 Coltivazione dei funghi: <i>Pleurotus ostreatus</i>	15
1.3.1 Botanica e morfologia <i>Pleurotus ostreatus</i>	15
1.3.2 Esigenze climatiche	16
1.3.2.1 Luce	16
1.3.2.2 Temperatura.....	17
1.3.2.3 Anidride carbonica (CO ₂).....	17
1.3.2.4 Umidità	18
1.3.3 Substrato	18
1.3.3.1 Tipi di substrato	18
1.3.3.2 Preparazione del substrato	20
1.4 Composizione nutrizionale	20
1.4.1 Contenuto proteico e aminoacidi	21
1.5 Prospettive future: la biofortificazione	22
1.6 Biofortificazione dei funghi coltivati: <i>Pleurotus ostreatus</i>	23
1.6.1 Substrato	23
1.6.2 Luce	24
1.7 Vitamina D ₂ ed ergosterolo	25
2. Scopo del lavoro.....	27
3. Materiali e metodi.....	29
3.1 Coltivazione.....	29
3.1.1 Ambiente di coltivazione.....	29
3.1.2 Schema sperimentale	30

3.1.3	Rilievi illuminometrici	31
3.1.4	Fasi di coltivazione.....	32
3.1.4.1	Fase di incubazione	32
3.1.4.2	Fase di comparsa dei primordi.....	32
3.1.4.3	Fase di maturazione e comparsa dei corpi fruttiferi	33
3.2	Analisi morfoponderali.....	33
3.3	Analisi qualitative.....	34
3.3.1	Colore	34
3.3.2	Peso secco, EC, pH, Brix, acidità titolabile.....	35
3.3.3	Texture con TPA	36
3.3.4	Antiossidanti e polifenoli totali	38
3.4	Analisi statistica.....	39
4.	Risultati.....	41
4.1	<i>P80</i>	41
4.1.1	Primordi.....	41
4.1.2	Analisi morfoponderali.....	42
4.1.2.1	Resa	42
4.1.2.2	Numero famiglie totali per sacco.....	43
4.1.2.3	Numero corpi fruttiferi per famiglia.....	43
4.1.2.4	Diametro e spessore corpi fruttiferi	44
4.1.3	Analisi qualitative.....	46
4.1.3.1	Colore: valori L*, a*, b*.....	46
4.1.3.2	EC, pH, solidi solubili, acidità titolabile.....	46
4.1.3.3	Texture.....	47
4.1.3.4	Antiossidanti e polifenoli totali.....	48
4.2	<i>Spoppo</i>	48
4.2.1	Primordi.....	48
4.2.2	Analisi morfoponderali.....	49
4.2.2.1	Resa	49
4.2.2.2	Numero famiglie per sacchi.....	50
4.2.2.3	Numero corpi fruttiferi per famiglia.....	51
4.2.2.4	Diametro e spessore corpi fruttiferi	52
4.2.3	Analisi qualitative.....	54
4.2.3.1	Colore: valori L*, a*, b*.....	54
4.2.3.2	EC, pH, solidi solubili, acidità titolabile.....	55
4.2.3.3	Texture.....	56
4.2.3.4	Antiossidanti e polifenoli totali	57
5.	Discussione.....	59

5.1	Primordi.....	59
5.2	Analisi morfoponderali.....	60
5.2.1	Resa	60
5.2.2	Numero famiglie totali per sacco.....	61
5.2.3	Numero corpi fruttiferi per famiglia.....	61
5.2.4	Diametro e spessore corpi fruttiferi	62
5.3	Analisi qualitative.....	63
5.3.1	Colore: valori L*, a*, b*	63
5.3.2	EC, pH, solidi solubili, acidità titolabile.....	65
5.3.3	Texture.....	65
5.3.4	Antiossidanti e polifenoli totali	66
6.	Considerazioni finali.....	69
	Bibliografia.....	71
	Sitografia	79

Riassunto

Il mercato mondiale dei funghi è in crescita e negli ultimi 20 anni il tasso annuo di crescita composto è stato dell'8,26%. Ciò avviene per diverse motivazioni: in primo luogo i funghi non hanno elevate esigenze pedoclimatiche e tendono ad adattarsi facilmente all'ambiente circostante riuscendo a svilupparsi anche in substrati di scarto; perciò, sono coltivati in diverse aree; inoltre sono un alimento economico e hanno un contenuto nutrizionale molto ricco soprattutto di aminoacidi essenziali, antiossidanti e vitamine. Considerando, perciò, i sempre più concreti problemi inerenti al cambiamento climatico, l'impatto ambientale di alcune tecniche agricole, l'insicurezza alimentare e le carenze nutrizionali ad essa associate, nonché la crisi economica; i funghi possono rappresentare un'alternativa alimentare sempre più consistente e soddisfacente sotto diversi punti di vista.

In post-raccolta, di norma, nei prodotti agricoli vengono utilizzati trattamenti a LED per garantire la conservazione delle sostanze nutrizionali e migliorare la shelf-life degli alimenti; ad oggi però recenti studi hanno dimostrato come tali trattamenti luminosi se applicati in pre-raccolta possano incidere positivamente sulle caratteristiche quanti-qualitative del prodotto.

In questo studio sono stati applicati due diversi trattamenti d'illuminazione LED (a 450 nm e a 610 nm) durante la coltivazione su due varietà diverse di funghi afferenti alla specie *Pleurotus ostreatus* che rappresenta la seconda specie più coltivata al mondo con il 25% della produzione globale.

Le varietà coltivate sono state la *P80* e *Spoppo*, quest'ultima è una variante della prima e differisce dalla precedente solamente per l'incapacità produttiva di spore. Il confronto è stato effettuato poiché lo *Spoppo* può rappresentare un vantaggio per i coltivatori che non sarebbero quindi esposti alle spore che spesso causano infiammazioni delle vie aeree. Si è quindi valutato se ci fossero delle differenze produttive e qualitative anche tra queste varietà così simili, tali da far preferire ulteriormente la coltivazione di quest'ultima.

I parametri morfoponderali rilevati in funzione del diverso trattamento luminoso, sono stati: la comparsa dei primordi, la resa normalizzata, il numero di famiglie totali per sacco, il numero di corpi fruttiferi per famiglia, il diametro e lo spessore dei corpi fruttiferi. Per quanto riguarda i parametri qualitativi: colore, conducibilità elettrica, pH, solidi solubili, acidità titolabile, texture, contenuto di antiossidanti e polifenoli totali.

Dai risultati sono emerse delle differenze significative su più parametri, talvolta contrastanti, tra le due varietà e volate di produzione ad esse associate; nonostante questo si sono riscontrate delle promettenti prospettive future in termini di utilizzo delle tecniche di illuminazione LED in pre-raccolta in grado di migliorare produzione, morfologia e qualità del prodotto.

Essendo ancora relativamente limitati i risultati a riguardo, rimane la necessità di continuare.

Abstract

The global mushrooms market is growing with a Compounded Average Growth Rate of 8,26% over the past 20 years. This growth can be attributed to several factors: firstly, mushrooms have low pedoclimatic requirements and they adapt easily to the environment; also, they can develop in waste substrates, which allow them to be cultivated in different areas. Furthermore, they are a cheap food with a rich nutritional content, high in essential amino acids, antioxidants and vitamins.

Nowdays there are a lot of problems as the climate change, the environmental impact of some farming techniques, food insecurity and nutritional deficiencies, economic crisis; and mushrooms can offer an increasingly viable and satisfactory food alternative from multiple perspectives.

LED lighting treatments are typically used in post-harvest processes for agricultural products to preserve nutritional substances and improve foods shelf life; however, recent studies have shown how if these light treatments are applied during pre-harvest, they can positively impact the quantitative and qualitative characteristics of the product.

In this study, two different LED lighting treatments (at 450 nm and 610 nm) were applied in pre-harvest to two different varieties of mushrooms of the species *Pleurotus ostreatus*. This one with other species, makes the *Pleurotus* the second most variety cultivated worldwide, by 25% of global production.

The cultivated varieties were *P80* and *Spoppo* that is a variant of *P80* that do not produce spores.

The study wanted the comparison because *Spoppo* offers an advantage to farmers, as they are not exposed to spores, which often cause respiratory issues. We aimed to determine if there were significant differences between these closely varieties that make us prefer *Spoppo* to *P80*.

The morphoponderal parameters detect by different lighting treatments were: primordia emergence, normalized yield, total number of families per bag, number of fruiting bodies per family, and the diameter and thickness of fruiting bodies. Qualitative parameters were measured included: colour, electrical conductivity, pH, soluble solids, titratable acidity, texture, antioxidants and total polyphenols content, ergosterol and vitamin D.

Results revealed significant differences across multiple factors between the two varieties and their respective production cycles and the future perspectives is that LED lighting techniques will be more use during the pre-harvest.

Despite that the results are still few and other studies are needed.

1. Introduzione

1.1 I funghi eduli coltivati

I funghi sono un gruppo di organismi eucarioti vasto e diversificato, costituito da muffe, lieviti e funghi propriamente detti. All'interno di quest'ultima categoria sono compresi i funghi eduli coltivati che fanno parte dei cosiddetti macromiceti, ovvero funghi dalle dimensioni tali da poter essere visti ad occhio nudo (Ferraro et al., 2022).

I funghi, grazie alle loro caratteristiche, sono molto versatili e la cultura del loro utilizzo risale all'antichità; si presume, infatti, che le prime forme di coltivazione siano avvenute in Cina attorno al 600-800 d.C. Ad oggi i funghi eduli selvatici o coltivati allo scopo culinario sono stati nettamente distinti da quelli usati a scopo farmaceutico (Riaz et al., 2022), infatti nell'industria mondiale dei funghi si può valutare come la parte preponderante (54%) sia dedicata alla coltivazione delle specie commestibili, seguita da quelle medicinali (38%) ed infine dalle specie selvatiche (8%) (Figura 1) (Ferraro et al., 2022).

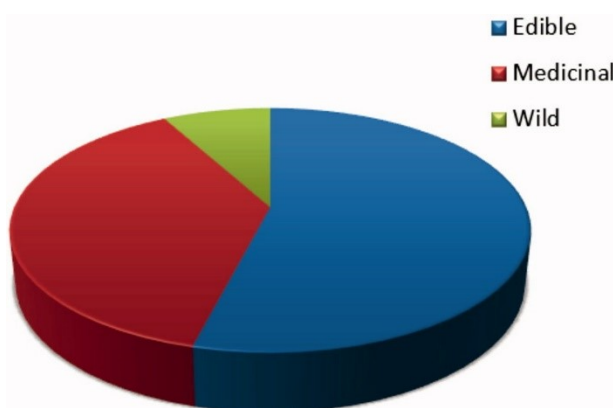


Figura 1. Componenti dell'industria mondiale dei funghi (Ferraro et al., 2022).

In natura esistono più di 2.000 specie di funghi ma solo 25 circa sono effettivamente accettate come alimento edibile e ancor meno sono coltivate a livello commerciale (Valverde et al., 2015). In generale i funghi più coltivati al mondo sono: *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus* spp, *Auricularia auricula-judae*, *Volvariella volvacea*, *Flammulina velutipes*; mentre i funghi selvatici più conosciuti sono *Boletus edulis*, *Cantharellus* spp., *Craterellus cornucopioides*, *Morchella* spp. e *Marasmius oreades* (Dimopoulou et al., 2022).

1.2 Il mercato dei funghi

1.2.1 Il mercato mondiale

1.2.1.1 La produzione

Dai dati FAOSTAT del 2019 è emerso che il maggior produttore di funghi a livello mondiale è l'Asia seguita dall'Unione Europea e dalle Americhe (Figura 2). Nello specifico la produzione mondiale di quell'anno fu di 11.898.399 tonnellate di cui circa il 97%, per un valore equivalente di 9.854.391 tonnellate, riconducibile al solo continente, i cui stati maggiori produttori sono: Cina, Giappone e India (Figura 3).

L'Unione Europea si attesta come secondo maggior produttore mondiale; la Polonia e i Paesi Bassi nel loro insieme sono responsabili di quasi il 50% della produzione all'interno dei confini europei. Tali paesi sono anche esportatori netti, tant'è che esportano il 75% della loro produzione; il prodotto viene venduto e consumato sia fresco che trasformato (Singh et al., 2020) (Figura 4).

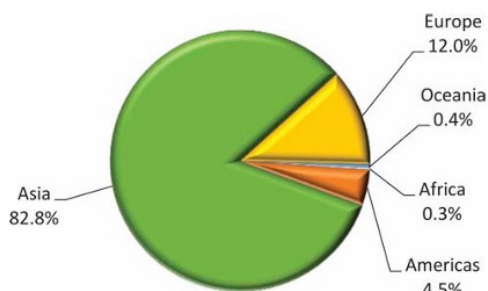


Figura 2. Produzione mondiale di funghi, continenti (Singh et al., 2020).

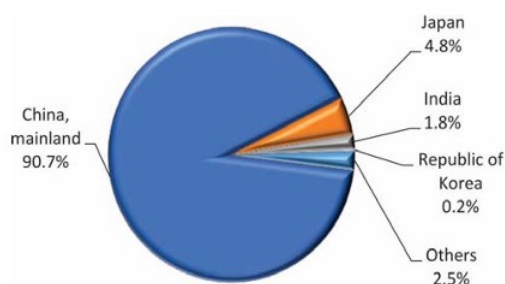


Figura 3. Produzione mondiale di funghi, stati del continente asiatico (Singh et al., 2020).

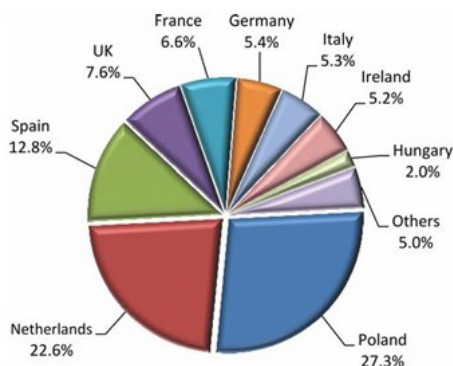


Figura 4. Produzione UE di funghi (Singh et al., 2020).

1.2.1.2 Le varietà

Le specie maggiormente coltivate e che nel loro insieme rappresentano l'85% dell'offerta mondiale, sono cinque:

- *Agaricus bisporus*: si tratta della specie più coltivata in assoluto, ma è prevalente nei soli paesi occidentali tant'è che da sola fornisce il 38% della produzione globale di funghi coltivati;
- *Pleurotus* spp: è la seconda varietà più coltivata e comprende più specie che vengono allevate tra cui *P. ostreatus*, *P. cornucopiae*, *P. eryngii* e alcune minori che nel loro insieme contribuiscono a definire il 25% della produzione globale; inoltre è il tipo di fungo maggiormente prodotto dalla Cina;
- *Lentinula edodes*: rappresentante circa il 10% della produzione globale;
- *Auricularia bull*;
- *Flammulina P.* Karst (Ferraro et al., 2022).

1.2.1.3 Valore economico attuale e prospettive future

Negli ultimi 20 anni il tasso annuale di crescita (CAGR) del mercato mondiale dei funghi è stato dell'8,26% e nel solo continente asiatico è stato addirittura più alto raggiungendo il valore di 8,97% (Bijla, 2023).

Nel 2021 le dimensioni del mercato mondiale dei funghi sono state stimate attorno ai 50,3 miliardi di dollari statunitensi e la domanda è in aumento, basti pensare che negli Stati Uniti c'è stato un aumento dei prezzi del 6% nel periodo 2017/2018 e di un ulteriore 3% nel periodo 2018/2019 (Https¹).

Il canale distributivo principale è quello della grande distribuzione organizzata (GDO) che sulla base della quota di fatturato del 2021 ha rappresentato il 38,3%, inoltre si prevede che la crescita di tale compartimento sarà avvantaggiata dall'incremento della penetrazione della vendita al dettaglio online (Https¹).

Si stima inoltre che il CAGR di tale comparto tra il 2022 e il 2030 possa ulteriormente aumentare raggiungendo valori pari al 9,7% (Https¹), prevedendo un trend in crescita sia per la produzione che per il consumo (De Cianni et al., 2023).

Https¹ <https://www.grandviewresearch.com/>

1.2.2 Il mercato italiano

1.2.2.1 La produzione

In Italia il quantitativo di aziende agricole che producono funghi è di difficile quantificazione a causa dell'assenza di dati ufficiali. Inoltre, non tutte le aziende producono funghi tal quali, alcune sono esclusivamente specializzate nella produzione e vendita del micelio altre ancora, invece, producono solo i substrati. Nonostante ciò, da rilevazioni eseguite, sono state identificate nel complesso 43 aziende di medio/grandi dimensioni e la produzione è concentrata nel Nord Italia. In particolar modo oltre il 50% della produzione proviene dalla regione Veneto e le province più produttive sono in ordine Treviso, Belluno, Vicenza e Padova (Ferraro et al., 2022).

Il prodotto viene consumato sia fresco (87% della produzione) che trasformato (13% della produzione) (Ferraro et al., 2022) e nel 2020 la produzione italiana si è attestata attorno alle 69.210 tonnellate (De Cianni et al., 2023).

1.2.2.2 Le varietà

Secondo quanto riportato dall'Associazione Italiana Funghicoltori (AIF) (Figura 5), i funghi maggiormente coltivati in Italia sono: *Agaricus bisporus*, *Pleurotus spp*, *Cyclocybe aegerita*, *Lentinula edodes* (Ferraro et al., 2022).

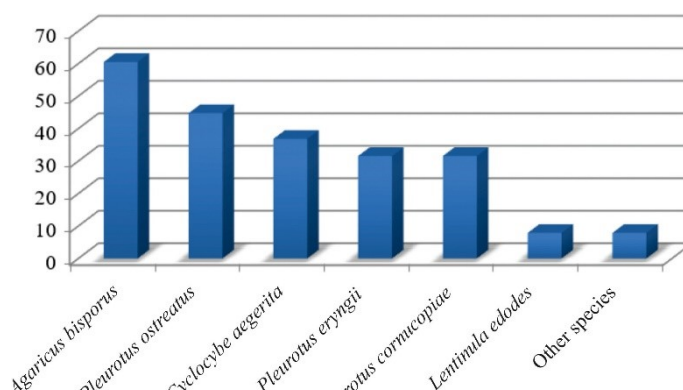


Figura 5. Principali specie di funghi coltivati in Italia (Ferraro et al., 2022)

1.2.2.3 Valore economico attuale e prospettive future

Il consumo annuo pro capite di funghi è di circa 2,5 kg e sebbene siano dei valori ridotti sono sopra la media europea, e la produzione nazionale non riesce a soddisfare la domanda. Ciò comporta che l'Italia sia un paese importatore netto di funghi nonostante la fungicoltura italiana stia avendo una fase di crescita che si presume continuerà nei prossimi anni (Ferraro et al., 2022).

Considerando gli importanti aspetti nutrizionali dei funghi ed il prezzo per il prodotto fresco che varia dai 5 ai 10 €/kg, emerge che il rapporto benefici/costi è positivo dimostrando che si tratta di un alimento economico e salutare (De Cianni et al., 2023).

1.3 Coltivazione dei funghi: *Pleurotus ostreatus*

1.3.1 Botanica e morfologia *Pleurotus ostreatus*

In questo studio è stata presa in esame la specie di fungo *Pleurotus ostreatus* con e senza spore che in quest'ultimo caso assume il nome di *Spoppo*.

Il nome *Pleurotus* deriva dal greco “pleuròn” che significa “fianco” e che è un riferimento al gambo del fungo; e “oùs, otòs” è tradotto come orecchio e che in tale caso è un’accezione alla forma del suo cappello. I funghi del genere *Pleurotus* afferiscono alla classe dei basidiomiceti, ovvero sono caratterizzati da un micelio settato dove le spore deputate alla riproduzione del fungo sono localizzate all’esterno dei basidi (cellule fertili). Appartengono, inoltre, alla famiglia delle *Pleurotaceae* e all’ordine *Agaricales* (Https²).

A livello morfologico sono costituiti da un cappello con un diametro variabile tra i 5 e i 20 cm. A seguito degli stadi fisiologici tende ad assumere dapprima una forma simile ad una conchiglia o un orecchio e successivamente a ventaglio. Il margine è sottile e lobato e il cappello tende a deprimersi all’inserzione del gambo. Il colore varia da grigio a brunastro, all’inizio è più brillante e poi tende a sbiadire, la consistenza è carnosa. Il gambo è lungo dai 2 ai 5 cm, spesso 1-2 cm, è pertanto corto e assume una posizione laterale. È pieno, sodo, dal colore biancastro, costituito da lamelle decorrenti dapprima fitte e successivamente più larghe.

Le spore si presentano oblunge e cilindracee, talvolta elissoidali; sono lisce e di colore bianco, di dimensione dell’ordine dei micrometri (μm) (Https³). La varietà che non produce spore (Figura 7) viene chiamata “sporeless *Pleurotus*” ed è conosciuta col nome *Spoppo*. La sua diffusione in termini di coltivazione deriva dalla necessità di ovviare al problema di produzione eccessiva di spore da parte di *P. ostreatus* (Figura 6) che ammonta a centinaia di milioni di spore per grammo di tessuto del corpo fruttifero al giorno. Infatti, molti operatori del settore manifestano un’allergia alle stesse, con sintomi debilitanti allo svolgimento del lavoro simili all’alveolite allergica estensiva; quindi, la selezione di questa varietà asporigena rappresenta un vantaggio non indifferente (Baars et al., 2000). L’unica differenza a morfologica tra le due tipologie di fungo è l’ordine dei corpi fruttiferi: in *P. ostreatus*

Https² <https://enciclopedia.funghiitaliani.it/>

Https³ <https://www.gruppomicologicocastellano.it/>

standard questi ultimi hanno una maggiore organizzazione mentre la varietà priva di spore assume un aspetto meno organizzato (Https⁴).



Figura 6. *Pleurotus ostreatus*



Figura 7. *Sporeless Pleurotus*

1.3.2 Esigenze climatiche

1.3.2.1 Luce

La luce non è un fattore essenziale nel periodo di crescita del micelio, nonostante ciò, è un parametro di estrema importanza per tale specie perché questi funghi richiedono una specifica intensità di luce affinché i corpi fruttiferi si sviluppino correttamente (Zawadzka et al., 2022).

Il ruolo della luce è di duplice importanza: è stato valutato, infatti, che la luce influenza la lunghezza del gambo e la dimensione del cappello. Più specificamente, un aumento d'intensità di luce favorisce soprattutto l'aumento della dimensione del cappello stesso, che è ciò che è più desiderabile essendo questa la parte del fungo che viene commercializzata e consumata. Parallelamente è condizionata anche la crescita del gambo e dei corpi fruttiferi. Quest'ultima non dipende esclusivamente dal fattore intensità, ma anche dalla lunghezza del periodo di luce durante il ritmo diurno. Inoltre, il tasso di crescita del fungo incide a sua volta sulla concentrazione dei composti bioattivi la cui localizzazione maggiore è presente nella parte del fungo che si sviluppa di più (Zawadzka et al., 2022).

Di norma la luce artificiale è un fattore che viene preso in considerazione soprattutto nel post-harvest perché induce delle reazioni fotochimiche in grado di far mantenere ai funghi le loro caratteristiche *qualitative* estendendone la shelf-life; ad oggi però, per le caratteristiche citate precedentemente, si è visto che anche le applicazioni di illuminazione artificiale in pre-harvest possono condizionare e implementare a loro volta le caratteristiche finali del prodotto (Feng et al., 2023).

Https⁴ <https://www.wur.nl/>

In media, la quantità ottimale di luce per stimolare la formazione del corpo fruttifero è compresa tra 4,6 e 17,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con un fotoperiodo di 8-12 h giorno⁻¹ (De Bonis et al., 2024). In ogni caso si può agire su tale fattore o aumentando la durata dell'illuminazione riducendo l'intensità luminosa, oppure aumentando quest'ultima a sfavore della durata (Zawadzka et al., 2022).

1.3.2.2 Temperatura

P. ostreatus può crescere a range molto variabili di temperatura, tant'è che si adatta facilmente a molti ambienti, tra cui addirittura quelli dal clima tropicale (De Bonis et al., 2024).

Nonostante ciò, da studi eseguiti, è emerso che i valori termici ottimali si aggirano attorno ai:

- 22°C durante la fase di crescita. È stato infatti dimostrato che *P. ostreatus* in tali condizioni ha manifestato un tasso di crescita relativamente maggiore, così come un vigore di crescita più forte, nonché un tempo di formazione primordiale più breve e un'efficienza biologica successiva più elevata (Hu et al., 2023);
- 10-20°C durante la fase di induzione della fruttificazione che viene stimolata da uno shock termico a temperatura inferiore (Maffi, 2011);
- 17-20°C durante la fase produttiva di formazione del corpo fruttifero effettivo (Bellettini et al., 2019).

1.3.2.3 Anidride carbonica (CO₂)

La CO₂ è un fattore di fondamentale interesse per lo sviluppo del fungo perché la sua concentrazione influenza la forma del corpo fruttifero e altera il ciclo di crescita: elevate concentrazioni (maggiore o uguali all'1%), infatti, determinano uno sviluppo eccessivo del gambo a sfavore del cappello influenzando negativamente anche la resa. Tutto ciò accade perché la CO₂ ostacola lo scambio di gas nelle cellule, riducendo l'accesso di O₂ e provocando ipossia tissutale, la quale comporta una diminuzione della respirazione aerobica e del metabolismo e la funzione dei tessuti vengono conseguentemente alterati (Zhang et al., 2023). La concentrazione ottimale di CO₂ durante la produzione risulta attorno allo 0,3% (Jang et al., 2003) e per mantenere questi livelli sono suggeriti dai 4 agli 8 ricambi d'aria all'ora (Maffi, 2011). Nel corso del processo di incubazione, invece, una maggiore concentrazione di CO₂ è generalmente richiesta per favorire lo sviluppo e la colonizzazione del micelio fino all'emissione dei primordi dei corpi fruttiferi.

1.3.2.4 Umidità

Durante lo sviluppo dei primordi è necessario che l'umidità nell'ambiente di coltivazione venga mantenuta elevata, tant'è che il valore minimo per la corretta induzione degli stessi è del 90% (Tesfaw et al., 2015).

Ancor più importante, però, è il grado di umidità del substrato di crescita che deve essere mantenuto tra il 50 e l'80% per permettere lo sviluppo del fungo (Aghajani et al., 2018). È stato valutato che concentrazioni di circa il 75% di acqua nel substrato, favoriscono l'aumento delle attività enzimatiche da parte degli enzimi extracellulari idrolitici e lignitici. Questi, infatti, svolgono un ruolo di fondamentale interesse perché permettono la degradazione dei costituenti del substrato favorendo la liberazione di nutrienti utili al fungo, che altrimenti non sarebbero prontamente assimilabili dallo stesso. Ad esempio, l'attività di enzimi come 1,4- β -glucosidasi e cellobioidrolasi, permettono la degradazione della cellulosa tipicamente presente nella composizione del substrato a base paglia. Ancora, è importante che fin dall'inizio della coltivazione ci sia una concentrazione ottimale di umidità poiché l'enzima di degradazione della lignina, la laccasi, agisce soprattutto in tale fase. In ogni caso valori al di sotto delle soglie citate non sarebbero adatti allo sviluppo del micelio e conseguentemente andrebbero a condizionare negativamente la resa produttiva (Wiesnerová et al., 2023).

1.3.3 Substrato

1.3.3.1 Tipi di substrato

I substrati di coltivazione che possono essere usati sono di diverso genere e di norma sono scarti del settore agro-industriale, il cui smaltimento è difficile e comporta inquinamento ambientale e conseguenti rischi per la salute. La coltivazione dei funghi viene definita come l'unico processo biotecnologico economicamente sostenibile per convertire in maniera quanto più efficiente i residui vegetali di scarto (Girmay et al., 2016). Il substrato di coltivazione dei funghi è un ottimo esempio di economia circolare (Figura 8), infatti il substrato esausto dopo la raccolta del prodotto può essere recuperato e riutilizzato come ammendante per le piante o ancora come mangime per gli animali (Fufa et al., 2021). Nel primo caso si riconoscono al substrato esausto caratteristiche come la bassa densità apparente, la consistenza sciolta, la buona permeabilità all'aria, l'elevata ritenzione dell'acqua e la ricchezza in nutrienti. Tali caratteristiche fisiche lo rendono un materiale ideale come fertilizzante e ammendante andando a migliorare la struttura fisica e fertilità del suolo. Nel caso, invece, della produzione di mangimi, il rilascio di enzimi extracellulari da parte dei funghi migliorano la

digeribilità della sostanza secca oltre ad aumentare significativamente i componenti nutritivi come la proteina grezza (Leong et al., 2022).

In ogni caso i substrati già usati dal fungo durante una prima volata di produzione possono essere usati ancora dallo stesso per seguenti volate, qualora l'apporto nutrizionale ancora presente lo permetta; o ancora essere usati previo reintegro di nutrienti, come nuovo substrato modificato, per la coltivazione di altri funghi (Grimm e Wösten, 2018).

In particolar modo *P. ostreatus* essendo un decompositore primario produce un elevato quantitativo di enzimi extracellulari che gli permettono di poter degradare anche biomassa di natura ligno-cellulosica estremamente complessa per ottenere nutrienti (Lesa et al., 2022). Grazie a questa caratteristica, il substrato esausto si è dimostrato un ottimo agente di biorisanamento adatto a contaminanti, metalli pesanti, idrocarburi come i policiclici aromatici e anche coloranti. Oltre a tali sostanze, i substrati dei funghi sono ricchi di sostanze biologicamente attive che hanno proprietà antibatteriche e possono perciò essere potenzialmente usati contro i patogeni e come agenti di controllo biologico per malattie delle piante, nonché come agenti di biorisanamento di terreni contaminati (Leong et al., 2022). Inoltre, gli stessi enzimi possono essere successivamente estratti per la produzione di biocarburanti e biogas (Grimm e Wösten, 2018).

I materiali più comuni per la creazione del substrato di coltivazione sono:

- paglia di colture cerealicole (riso, frumento, mais);
- paglia di colture leguminose (soia);
- paglia di pseudocereali (teff, miglio);
- scarti di frutta, canna da zucchero, foglie di tè/ bambù etc (Fufa et al., 2021).

I substrati che vengono usati più spesso sono una miscela tra le opzioni precedentemente elencate. In generale ciò che si desidera garantire è una maggiore capacità di ritenzione idrica (Sánchez, 2010) e un corretto rapporto C/N (Osunde, 2019). Quando il C/N è troppo alto, talvolta, viene eseguita un'additivazione di azoto da fonte minerale o tramite matrici ricche di azoto come colture leguminose per permettere una nascita più precoce dei primordi e uno sviluppo più veloce del micelio riducendo così i tempi di allevamento. Si evince così che, anche diverse unità di substrati costituiti dal medesimo materiale e che si distinguono esclusivamente da diverse integrazioni industriali, rivelano delle differenze in termini di produzione, non tanto in termini di resa quanto più per quanto riguarda la morfologia del corpo fruttifero del fungo; al contrario, invece, è stato notato che diversi tipi di substrati tendono a influenzare il colore (De Bonis et al., 2024).

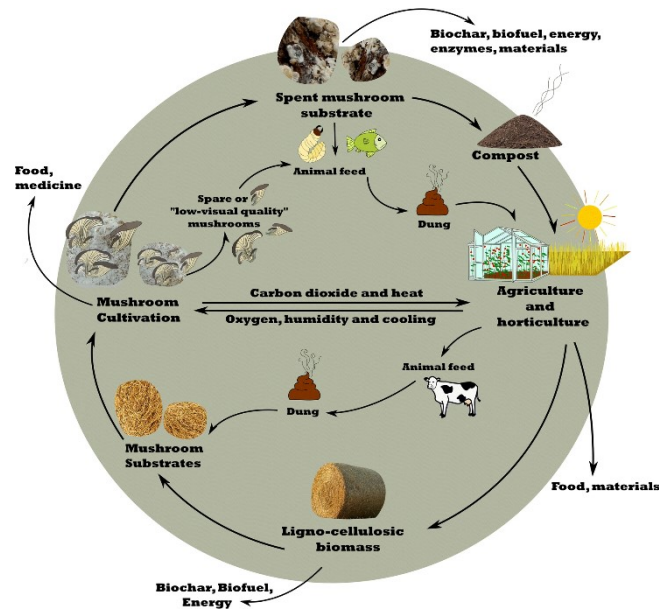


Figura 8. Economia circolare del substrato esausto di coltivazione dei funghi (Grimm e Wösten, 2018).

1.3.3.2 Preparazione del substrato

Una volta scelto il materiale di costituzione del substrato, quest'ultimo viene macinato ad una lunghezza variabile tra i 2 e i 6 cm e successivamente viene eseguito il processo di pastorizzazione a 60°C per circa 1-2 ore (Sánchez, 2010). Questo processo viene eseguito per eliminare i microrganismi competitori eventualmente presenti nel substrato che andrebbero ad ostacolare il regolare sviluppo del fungo (Xiong et al., 2021). La tecnica di pastorizzazione usata prevede l'introduzione del materiale in miscelatori rotanti, successivamente, il tutto viene portato a livello aggiungendo acqua e infine mentre il pastorizzatore è in funzione avviene l'iniezione di vapore.

Solo a seguito del termine del processo ed il relativo raffreddamento del substrato viene eseguito l'inoculo del ceppo desiderato. Il composto viene poi introdotto all'interno di sacchi che vengono lasciati incubare per circa 12-14 giorni alla temperatura di 25°C, infine avviene il trasferimento nella sala di produzione vera e propria (Sánchez, 2010).

1.4 Composizione nutrizionale

I funghi sono considerati un alimento di notevole qualità dato il loro valore nutrizionale e i relativi benefici per la salute che sono in grado di fornire, ed è per questo che ad oggi possono essere considerati come alimenti funzionali (Lesa et al., 2022).

La composizione nutrizionale di *P. ostreatus* è molto varia (Tabella 1) e, di particolare importanza, risulta essere il profilo proteico, questo perché è stato riscontrato il contenuto di alcuni aminoacidi

essenziali che normalmente si trovano nelle proteine animali e di cui risultano essere carenti i soggetti che seguono diete vegetariane o vegane (Lesa et al., 2022). Inoltre, sempre per i soggetti che aderiscono a questi regimi alimentari, i funghi rappresentano l'unica fonte di vitamina D (Feng et al., 2023).

Essendo la fibra grezza il secondo costituente più rappresentativo, un'ulteriore attività particolarmente esplicita dall'assunzione dei funghi è quella di favorire una corretta attività intestinale e prevenzione contro patologie come l'obesità (Ferraro et al., 2022). *P. ostreatus* è ricco di minerali quali ferro, magnesio, fosforo, rame, zinco (Lesa et al., 2022), e la bassa concentrazione di sodio a favore di una più elevata concentrazione di potassio sfavorisce fenomeni di ipertensione (Agarwal et al., 2017). I grassi sono i costituenti presenti in concentrazione minore e perciò è un alimento che può essere destinato a soggetti che devono prestare particolare attenzione al livello di colesterolo (Agarwal et al., 2017). Tra le diverse proprietà nutraceutiche dei funghi si riscontra inoltre la riduzione del tasso di malattie come cancro, morbo di Parkinson e ictus (Irshad et al., 2023). Inoltre, *P. ostreatus* si distingue per la presenza di diversi composti bioattivi come i componenti fenolici che forniscono un'attività antiossidante e chelante nei confronti dei metalli; e altrettanti composti prebiotici come la chitina, i mannani e gli α e β glucani (Feng et al., 2023). Inoltre, questi costituenti influenzano positivamente anche le caratteristiche organolettiche-sensoriali rendendo l'umami il gusto peculiare di tale prodotto (Ferraro et al., 2022).

Tabella 1. Composizione nutrizionale *P. ostreatus* (Effiong et al., 2024).

Componente	Contenuto espresso in % su peso secco
Carboidrati	43,42 \pm 0,01
Fibra grezza	23,63 \pm 0,01
Proteine	17,06 \pm 0,17
Ceneri (minerali, vitamine etc)	8,22 \pm 0,04
Acqua	6,46 \pm 0,04
Lipidi	1,2 \pm 0,02

1.4.1 Contenuto proteico e aminoacidi

Il contenuto proteico e aminoacidico è di fondamentale importanza perché è stato riscontrato come *P. ostreatus* si distingua dalle altre specie in termini di contenuto di proteine grezze che è più elevato (Pellegrino et al., 2022).

Da recenti studi svolti è emerso come *P. ostreatus* nella propria composizione risulta essere costituito da 13 diversi aminoacidi di cui 5 essenziali (lisina, leucina, fenilalanina, metionina, treonina). Nello specifico, su 100 g di prodotto è emersa una concentrazione di 564,17 mg di aminoacidi non essenziali e 67,83 mg di aminoacidi essenziali, di cui in quest'ultima categoria l'aminoacido più rappresentativo era la lisina con 23,18 mg. Questi studi dimostrano che tale prodotto è una buona fonte di proteine e che potrebbe avere la potenzialità di sostituire alcune fonti proteiche di origine animale come la carne rossa e lavorata (Effiong et al., 2024).

Gli aminoacidi essenziali sono di fondamentale interesse perché svolgono diverse funzioni nel metabolismo umano, tra cui agire nel ruolo di formazione delle proteine, nella regolazione dell'appetito, nella funzione immunitaria e stimolazione del processo di guarigione delle ferite, nella produzione di energia e regolazione dei livelli di zuccheri nel sangue, ma ancora produzione di ormoni della crescita (Effiong et al., 2024). Inoltre, i peptidi e gli aminoacidi liberi sono composti di notevole interesse nella determinazione delle caratteristiche organolettiche rendendo il prodotto notevolmente appetibile (Pellegrino et al., 2022).

1.5 Prospettive future: la biofortificazione

Uno dei più grandi problemi al mondo è l'insicurezza alimentare soprattutto nei paesi in via di sviluppo dove i redditi sono medio/bassi, si soffre di malnutrizione e questo è talvolta dovuto dai sistemi produttivi alimentari inadeguati (Fufa et al., 2021).

I funghi possono essere un'alternativa a questi limiti data la loro importanza in termini di composizione nutrizionale e facilità di coltivazione. Infatti, per quest'ultimo aspetto, soprattutto per quanto riguarda il genere *Pleurotus*, il suo allevamento non prevede necessariamente l'utilizzo della terra e questo permetterebbe una sua coltivazione anche nelle aree urbane che di norma non sono deputate allo svolgimento dell'attività agricola (Fufa et al., 2021).

Oltre al problema della sicurezza alimentare un altro aspetto che ad oggi preoccupa è la sicurezza nutrizionale, ovvero la valutazione che nelle diete alimentari e nei cibi ci sia la presenza di determinati nutrienti importanti per la salute dell'uomo. Ci sono, infatti, alcuni nutrienti come minerali e vitamine che sono essenziali per l'essere umano che non vengono assunti in un quantitativo sufficiente rispetto a quanto necessario. Le vitamine, ad esempio, intervengono nelle reazioni di ossidoriduzione nel metabolismo, agiscono anche come cofattori in alcune reazioni biochimiche nella cellula e possono svolgere azione antiossidante limitando il danno cellulare causato dai radicali liberi (Lal et al., 2020). Da questo limite nasce il concetto della "biofortificazione" ovvero l'utilizzo di determinate tecniche nei prodotti agroalimentari con lo scopo di aumentare la concentrazione e la biodisponibilità di

specifiche sostanze durante la crescita e lo sviluppo delle colture. Essa prevede lo sviluppo di alimenti arricchiti attraverso selezione vegetale, biotecnologie moderne o approcci agronomici. Perché questa attività sia rilevante è necessario che la resa produttiva della coltura rispetto a quella standard aumenti o perlomeno rimanga invariata. È inoltre necessario che la concentrazione dei micronutrienti raggiunga un livello significativo affinché abbia un impatto sulla salute umana e che essa non venga alterata con eventuali trattamenti termici. I prodotti biofortificati devono avere un sapore accettato dal consumatore e infine deve esserci stabilità genetica (Lal et al., 2020).

Si presume che entro il 2050 la popolazione supererà la soglia dei 9 miliardi e che l'agricoltura subirà un'enorme pressione; quindi, si vede necessario aumentare l'apporto nutrizionale dei prodotti, pur avendo meno cibo pro-capite a disposizione (Lal et al., 2020).

1.6 Biofortificazione dei funghi coltivati: *Pleurotus ostreatus*

Ci sono due principali tecniche di biofortificazione che possono essere applicate durante la coltivazione dei funghi: tramite substrato di coltivazione e tramite l'impiego di luce a specifiche lunghezze d'onda.

1.6.1 Substrato

Spesso i substrati vengono arricchiti per aumentare la concentrazione di oligoelementi nella composizione dei funghi. I due elementi che sono maggiormente addizionati al substrato sono selenio e zinco (Rzymiski et al., 2017).

Il selenio è un elemento di fondamentale importanza da assumere nelle diete alimentari perché permette di ridurre la probabilità di insorgenza di malattie cardiovascolari, cancro intestinale e diabete mellito. Di norma i funghi ne hanno in concentrazioni ridotte ma sono degli ottimi bioaccumulatori in grado di assorbire e convertire forme inorganiche di tale minerale in forme organiche come selenocisteina e selenometionina, più prontamente disponibili all'organismo umano. A riprova di ciò, recenti studi hanno esaminato come in *P. ostreatus* coltivato su bucce di caffè arricchite con 12,7 mg kg⁻¹ di selenio, ci sia stato un aumento del 20% nell'efficienza biologica, rispetto ai funghi coltivati in substrato non arricchito. Per queste motivazioni, i funghi, sono stati definiti prodotti interessanti come riserva di selenio (De Souza et al., 2023).

Per quanto riguarda lo zinco, invece, si stima che circa il 17% della popolazione umana sia a rischio di carenza (Rzymiski et al., 2017). Questa condizione può provocare disturbi come l'insorgenza di eczemi, acne, ulcere orali, disturbi respiratori, gastrointestinali e immunodepressione; può

compromettere la capacità di apprendimento e in casi più gravi può addirittura causare anomalie fetali (Oyetayo et al., 2021). Perciò, anche per tale elemento, è stata riscontrata l'importanza di biofortificare il substrato di coltivazione dei funghi (Rzymiski et al., 2017).

Per entrambi questi oligoelementi, sono state svolte ricerche che hanno confermato che l'integrazione dei substrati con un minimo di $0,6 \text{ mmol L}^{-1}$ di selenio e zinco definisce già un aumento significativo della concentrazione degli stessi all'interno dei corpi fruttiferi dei funghi (Rzymiski et al., 2017).

Inoltre, in termini economici e pratici, l'arricchimento del substrato risulta una tecnica vantaggiosa dato che la coltivazione è poco costosa e non sono richiesti metodi sofisticati (Rzymiski et al., 2017).

1.6.2 Luce

La luce può essere un fattore di fondamentale interesse per la biofortificazione di funghi come *P. ostreatus*. Più specificamente l'impiego di luci LED a diverse lunghezze d'onda viene usato notevolmente in post-raccolta per migliorare lo stato di conservazione dei prodotti e prorogarne il mantenimento degli aspetti qualitativi. L'applicazione delle luci LED è possibile anche in pre-raccolta per valutare ulteriori cambiamenti del prodotto sia in termini morfologici che nutrizionali (Figura 9) (Cetin et al., 2024).

Tra le fonti di luce artificiale più usate nei sistemi agricoli le lampade LED risultano il metodo più efficiente sia in termini energetici che di qualità del prodotto ottenuto perché possono essere controllate accuratamente sia la lunghezza d'onda che l'intensità (Yue et al., 2022). La luce emessa da tali lampade, di solito fa parte dello spettro di luce visibile e le lunghezze d'onda più usate in ambito alimentare sono: la luce rossa (610-760 nm), la luce verde (500-570 nm) e la luce blu (450-500 nm) (Feng et al., 2023).

Nello specifico nei funghi sono presenti dei fotorecettori che convertono l'energia elettromagnetica captata in un segnale chimico che permette la regolazione delle risposte fungine attraverso quella che è l'espressione genica differenziale che condiziona l'aggregazione del micelio, la formazione dei primordi e la differenziazione dei corpi fruttiferi. Gli aspetti riconducibili ai processi fisiologici e metabolici generalmente sono condizionati dalla luce blu (Feng et al., 2023).

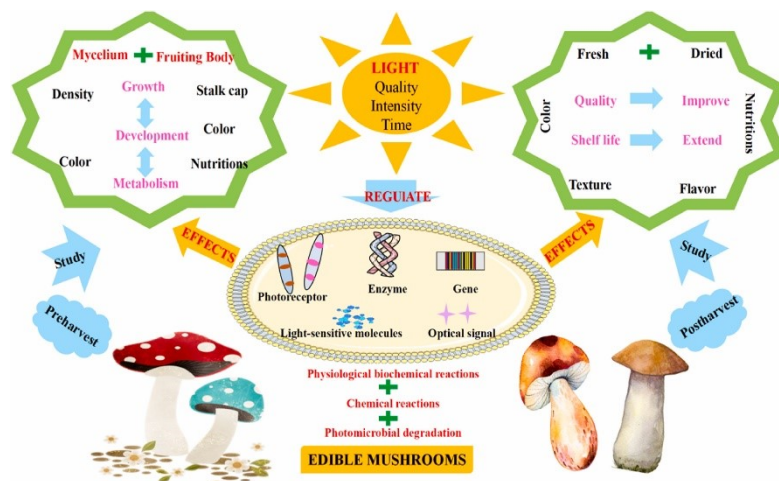


Figura 9. Panoramica degli effetti dei trattamenti luminosi in pre e post-raccolta (Feng et al., 2023).

1.7 Vitamina D₂ ed ergosterolo

Le vitamine sono essenziali per la salute umana, però non possono essere sintetizzate dagli esseri umani stessi ed è quindi necessario che vengano assunte tramite la dieta alimentare (Lal et al., 2020).

La vitamina D viene anche chiamata “vitamina del sole” poiché è ottenuta previa esposizione ai raggi UV. Essa svolge un ruolo fondamentale in diversi processi metabolici, tra cui l’omeostasi neuromuscolare e scheletrica, e agisce nel metabolismo di fosforo e calcio. I sintomi della carenza possono essere diversi: una scarsa mineralizzazione può essere manifestata attraverso osteomalacia o rachitismo, oppure in casi più gravi vi è l’insorgenza di malattie come artrite reumatoide, degenerazione muscolare, sclerosi multipla, o ancora malattie infiammatorie intestinali o del fegato, malattia paradontale o cardiovascolare, ipertensione e talvolta diabete, ictus, malattie mentali e cancro (Taofiq et al., 2017).

La dose giornaliera raccomandata dall’EFSA (Europea food safety authority), risalente all’anno 2016, per gli adulti è di 15 µg/giorno (EFSA, 2016)

Poche fonti alimentari contengono vitamina D, tra cui alcuni pesci come acciughe e anguille, olio di fegato di merluzzo, prodotti lattiero caseari, alcune carni come il maiale e polli e tacchini e i funghi; inoltre la sua concentrazione varia notevolmente a seconda della matrice. L’olio di fegato di merluzzo è il prodotto che ne contiene di più in assoluto, 250 µg/100 g, mentre si possono raggiungere soglie molto limitate (3–9 µg/100 g) nei pesci magri (Taofiq et al., 2017).

I funghi sono considerati un potenziale integratore vitaminico proprio perché sono ricchi di vitamine (Feng et al., 2023). La vitamina D₂ e D₃ sono le tipologie di vitamina D più diffuse nei funghi ed

essendo cresciute negli ultimi anni le segnalazioni di carenza di vitamina D si è resa necessaria una sempre più ampia assunzione di integratori alimentari o alimenti fortificati. Ad oggi, infatti, si stima che circa un miliardo di soggetti in tutto il mondo, di tutte le età ed etnie abbia una carenza di vitamina D (Tiwari et al., 2022).

In realtà, per la valutazione del contenuto di vitamina D nei funghi, è interessante partire dalla quantificazione del suo precursore che può essere presente principalmente in due forme: ergosterolo (provitamina-D₂) e 7-deidrocolesterolo (7-DHC o provitamina-D₃). Nello specifico l'ergosterolo è un importante componente strutturale nella parete cellulare dei funghi e mediante esposizione degli stessi a irradiazione UV avviene l'idrolisi del legame dienico dell'anello B dell'ergosterolo con conseguente formazione di un composto intermedio denominato provitamina D₂; la successiva riorganizzazione termica di tali composti intermedi permette l'ottenimento della vitamina D₂ (Figura 10) (Tiwari et al., 2022).

I funghi arricchiti in vitamina D sono già disponibili nel commercio internazionale e di recente anche l'EFSA ha approvato nell'Unione Europea la commercializzazione di polvere di funghi fortificata di vitamina D grazie all'utilizzo di radiazioni UV (Tiwari et al., 2022).

L'aspetto di maggior interesse nell'applicazione della biofortificazione di vitamina D nei funghi è quello di garantire che l'aumento rilevato dall'applicazione dei trattamenti di illuminazione in pre-raccolta venga conservato anche in post-raccolta, ed è stata valutata una discreta stabilità sia durante la conservazione che la cottura. Pertanto, è possibile definire che il consumo di funghi arricchiti di vitamina D potrebbe contribuire in modo pressochè sostanziale a ridurre il problema di carenza nella popolazione (Cardwell et al., 2018).

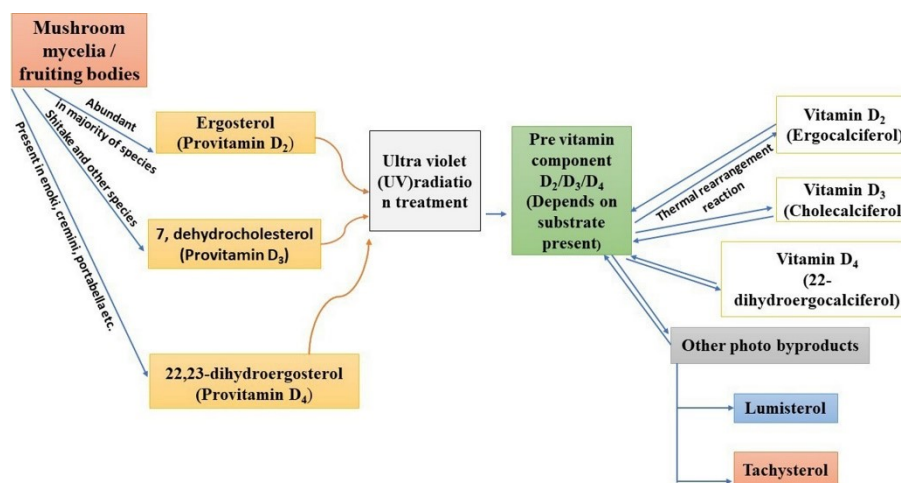


Figura 10. Reazione di conversione dell'ergosterolo in Vitamina D (Tiwari et al., 2022).

2. Scopo del lavoro

Lo scopo del seguente lavoro è stato quello di valutare l'eventuale modificazione dei caratteri morfologici, produttivi e nutrizionali di 2 varietà afferenti alla specie *Pleurotus ostreatus*: *P80* e *Spoppo*; sottoposti a trattamenti di illuminazione artificiale con luci LED a diverse lunghezze d'onda durante la coltivazione.

L'obiettivo principale dello studio era quello di valutare l'effetto delle diverse lunghezze d'onda sulle principali caratteristiche morfoponderali, la texture del prodotto al momento della raccolta e le sue caratteristiche nutrizionali (antiossidanti e polifenoli).

3. Materiali e metodi

3.1 Coltivazione

3.1.1 Ambiente di coltivazione

La prova è stata svolta nella fungaia sperimentale situata presso l'Azienda Agraria "Lucio Toniolo" dell'Università degli studi di Padova a Legnaro (PD). La struttura ha dimensioni equivalenti a 25 metri di lunghezza e 8 metri di larghezza ed ha tutte le caratteristiche in termini di tecnologie idonee alla replicazione di sistemi di produzione industriali di funghi.

Nello specifico è dotata di:

- un sistema di umidificazione, costituito da un impianto di irrigazione di tipo fog system, mediante l'erogazione con micro-sprinkler, il tutto localizzato nell'area superiore della struttura;
- un sistema di riscaldamento, costituito da un generatore di aria calda alimentato a gasolio. L'erogazione avviene mediante il passaggio dell'aria attraverso un condotto direttamente collegato ad un ventilatore che permette così la dissipazione del calore;
- un sistema di ventilazione caratterizzato dalla presenza di due elettroventilatori posizionati nel versante nord della fungaia ai lati dell'accesso. Ciò ha un duplice azione, ovvero quella di favorire il ricambio d'aria in contemporanea all'allontanamento dell'anidride carbonica formata;
- una centralina elettronica che garantisce il collegamento di tutti i sistemi precedentemente citati permettendo il monitoraggio e la regolazione dei parametri climatici dipendentemente dalle necessità dei funghi.

In particolare, l'ambiente è stato diviso a metà adibendo un'area alla coltivazione della varietà *P80* e l'altra alla coltivazione della varietà *Spoppo*. Ciascuna area è stata suddivisa a sua volta in tre sezioni: una destinata alla coltivazione dei controlli esposti alla luce naturale, e due dove sono state posizionate delle lampade LED di diverse lunghezze d'onda.

I quattro moduli di coltivazione in cui sono state collocate le lampade erano di forma rettangolare con dimensioni tali da contenere 12 sacchi, disposti a terra. Le sezioni sono state isolate avvolgendo il perimetro con un tessuto antialga nero, per evitare interazioni indesiderate tra le due luci artificiali poste vicino. Le lampade LED, fornite dall'azienda C-LED S.R.L, sono state posizionate nella parte superiore (1,60 m dal suolo) di ogni cubo, parallele al terreno. Per ogni cubo è stata posizionata

un'unica lampada LED tarata alla lunghezza d'onda prescelta, ovvero 450 nm per il trattamento d'illuminazione LED blu e 610 nm per quello rosso. Infine, sono state introdotte all'interno della struttura delle trappole cromotropiche per arginare e monitorare la presenza di ditteri.

3.1.2 Schema sperimentale

In totale sono stati coltivati 72 sacchi di funghi, di cui 36 di *P80* e altri 36 di *Spoppo*. Per entrambe le varietà 12 sacchi sono stati considerati di controllo e coltivati in ambiente di coltivazione convenzionale, 12 sono stati posizionati sotto luce a LED blu (450 nm) gli altri 12 sotto luce a LED rossa (610 nm) (Figura 11).

La suddivisione dei sacchi è riportata di seguito in Tabella 2.

Tabella 2. Schema sperimentale di divisione dei sacchi dipendentemente dalla varietà e dal trattamento luminoso

Varietà	Trattamento luminoso			Totale
	Controllo: luce naturale	Luce a LED blu (450 nm)	Luce a LED rossa (610 nm)	
	N° sacchi			
<i>P. ostreatus P80</i>	12	12	12	36
<i>P. ostreatus Spoppo</i>	12	12	12	36
Totale	24	24	24	72

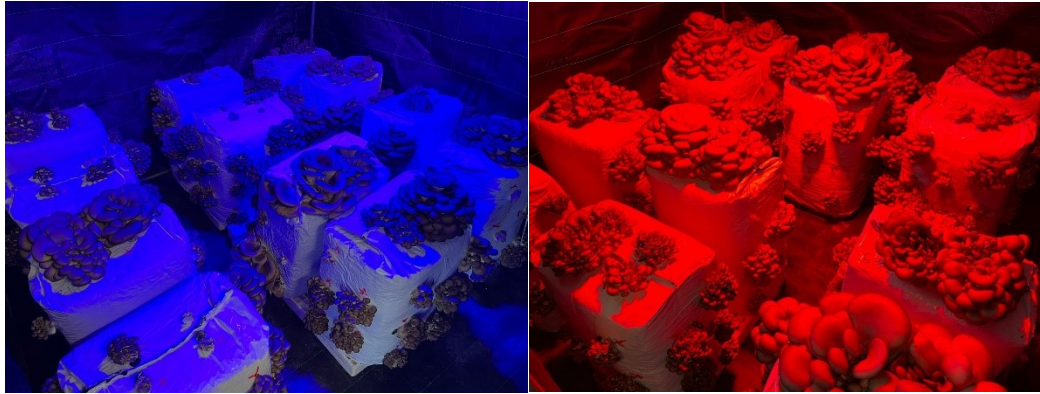


Figura 11: *Pleurotus ostreatus* illuminato con luci LED blu (450 nm) e rossa (610 nm).

3.1.3 Rilievi illuminometrici

Per ogni sacco sono stati eseguiti dei rilievi illuminometrici attraverso l'utilizzo di un radiometro. Lo scopo era quello di valutare come l'intensità luminosa si distribuisse in tutta l'area sperimentale. Le misurazioni sono state eseguite nella zona superiore del sacco definita "top" perché è stato approssimato che, dipendentemente dal raggio di incidenza della luce delle lampade o della luce naturale, essendo la parte più alta del sacco fosse l'area con maggiore ricezione; tale da poter comportare delle differenze in termini di assorbimento da parte dei funghi. Nella Figura 12 riportata qui sotto è stato rappresentato uno schema illustrativo dei rilievi effettuati nei sacchi sottoposti ai trattamenti d'illuminazione LED.

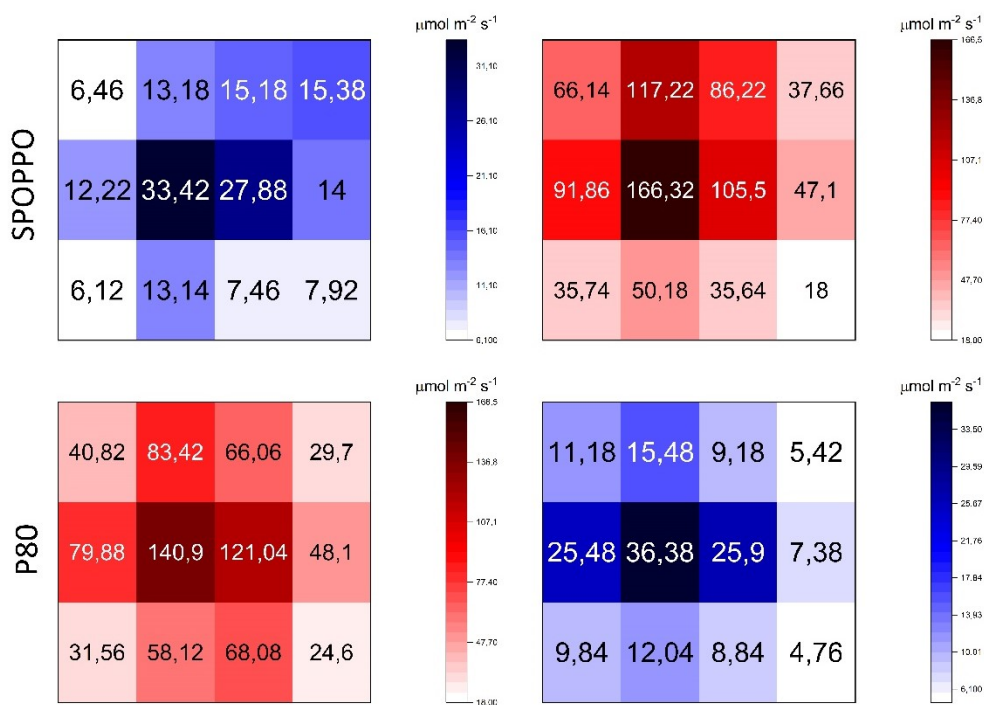


Figura 12. Rilievi illuminometrici dei sacchi sottoposti a trattamento d'illuminazione LED.

3.1.4 Fasi di coltivazione

La prova è iniziata il 1° dicembre 2023 con l'arrivo dei sacchi, forniti dall'azienda agricola "Funghi Grotte di Costozza", contenenti il substrato pre-inoculato. Per prima cosa i sacchi sono stati pesati e successivamente sono stati prelevati dei campioni di substrato. Il substrato contenuto nei sacchi era a base paglia pastorizzata addizionata di fertilizzanti tali da garantire il rapporto C/N di 45. Infine, i sacchi sono stati opportunamente posizionati secondo lo schema sperimentale definito precedentemente.

3.1.4.1 Fase di incubazione

Una volta posizionati i sacchi nelle aree prestabilite con il trattamento luminoso associato è iniziata la fase di incubazione. Nello specifico il parametro più importante in questa fase è la temperatura che è stata mantenuta a $22^{\circ}\text{C} \pm 2$.

3.1.4.2 Fase di comparsa dei primordi

La fase di comparsa dei primordi è stata indotta grazie ad un brusco abbassamento delle temperature che sono state mantenute a circa $13 \pm 2^{\circ}\text{C}$. I primordi sono il primo stadio di sviluppo del fungo (Figura 13) e per favorire la loro emissione sono stati forati i sacchi. Nei fori, che in questo esperimento erano 22 per ogni sacco, si concentrano aria e luce che sono le condizioni che favoriscono l'induzione dei primordi stessi.

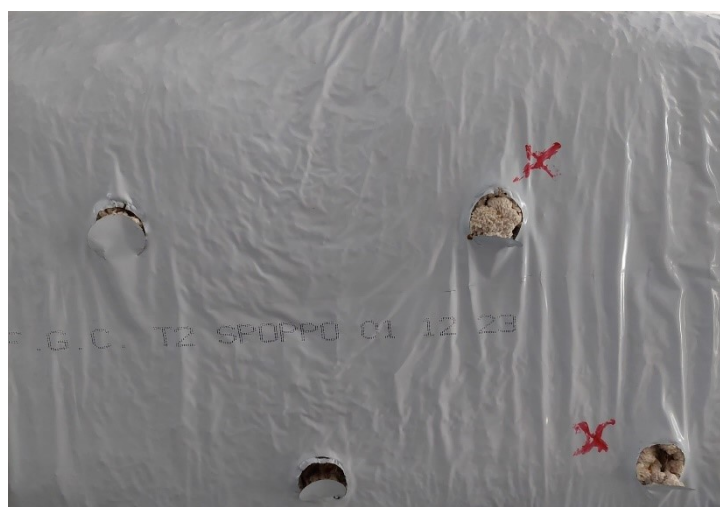


Figura 13. Primordi Spoppo 21 dicembre 2023

3.1.4.3 Fase di maturazione e comparsa dei corpi fruttiferi

In termini di maturità commerciale, i funghi sono risultati idonei alla raccolta quando i bordi del cappello sono apparsi paralleli al terreno e quando il pileo ha raggiunto un'ampia estensione. Dato che la fase di accrescimento è caratterizzata da un aumento di dimensioni e volume che avviene in tempi molto rapidi con evidenti cambiamenti da un giorno all'altro; la fase di raccolta è avvenuta a giorni alterni. La raccolta è stata eseguita manualmente staccando il corpo fruttifero dal sacco, prendendolo dalla parte basale ed esercitando una pressione verso l'esterno. Le famiglie raccolte sono state separate in cassette in base al sacco di appartenenza per poter ricondurre al sacco stesso i risultati delle analisi successive.

3.2 Analisi morfoponderali

Dopo la fase di raccolta sono state contate e pesate le famiglie prelevate da ogni sacco.

Le analisi morfoponderali eseguite, sono state:

- peso della produzione di ogni sacco. Lo scopo è stato quello di eseguire una differenza di peso tra l'inizio e la fine del ciclo produttivo, per valutare il quantitativo di substrato utilizzato dai funghi per sviluppare i propri corpi fruttiferi. Ciò è stato ottenuto attraverso il calcolo dell'efficienza biologica (BE) e la rilevazione è avvenuta mediante utilizzo di una bilancia di precisione a due cifre decimali:

$$BE = \frac{\sum \text{Produzione volata 1 e 2}}{\text{Peso secco substrato}} \times 100$$

- numero di famiglie raccolte per ogni sacco;

Inoltre, per tre famiglie rappresentative di ogni sacco per ogni giorno di raccolta sono state effettuate altre rilevazioni quali:

- numero di corpi fruttiferi delle 3 famiglie rappresentative (Figura 14);
- misura del diametro di un corpo fruttifero rappresentativo tra le 3 famiglie scelte, mediante l'ausilio di un righello graduato in cm (Figura 15);

- misura dello spessore di un corpo fruttifero rappresentativo tra le 3 famiglie scelte, mediante l'ausilio di un calibro digitale, unità di misura espressa i mm.



Figura 14. Conta del numero di corpi fruttiferi delle famiglie rappresentative



Figura 15. Misura del diametro di un corpo fruttifero rappresentativo tra le famiglie scelte

3.3 Analisi qualitative

3.3.1 Colore

Al termine delle analisi morfologiche, per ciascuna famiglia rappresentativa, è stata eseguita l'analisi colorimetrica mediante l'utilizzo di un colorimetro Minolta CR-200 che misura 3 diverse coordinate (Figura 16):

- L* identifica la luminosità con una scala da 0 (nero) a 100 (bianco);
- a* misura la gamma di colore che va dal rosso al verde; presenta valori compresi tra -60 e +60;
- b* misura la gamma di colore che va dal giallo al blu; presenta valori compresi tra -60 e +60.

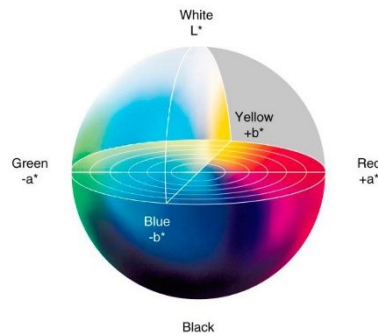


Figura 16. Scala di valutazione utilizzata per le analisi colorimetriche

3.3.2 Peso secco, EC, pH, Brix, acidità titolabile

A seguito delle analisi morfoponderali e colorimetriche i campioni rappresentativi sono stati sottoposti ad un'altra serie di analisi qualitative al fine di caratterizzare il prodotto secondo alcuni parametri tra cui: sostanza secca, conducibilità elettrica, pH, contenuto di solidi solubili e acidità titolabile.

Per determinare la sostanza secca dei corpi fruttiferi, i campioni sono stati tagliati, pesati, posti 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 evaporata e quindi per differenza la quantità di sostanza secca di *P. ostreatus*.

Per quanto riguarda lo svolgimento delle altre analisi è stato necessario congelare i campioni ad una temperatura di -20°C. In seguito, i campioni sono stati scongelati e spremuti manualmente per favorire la fuoriuscita del succo intracellulare su cui poi sono state eseguite le analisi successive.

Le analisi per la conducibilità elettrica e la determinazione del pH sono state eseguite mediante l'utilizzo di un pHmetro-conduttivimetro portatile, modello H19811; mentre per la determinazione del contenuto di solidi solubili (Brix°) è stato utilizzato un rifrattometro portatile digitale, modello HI 96801 Hanna Instruments che utilizza la misura dell'indice di rifrazione per determinare il contenuto zuccherino. Infine, 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:

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

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 acido citrico)
- Y = volume in mL di campione

3.3.3 Texture con TPA

Oltre alle analisi morfoponderali e qualitative, alcuni campioni rappresentativi dei vari giorni di raccolta sono stati sottoposti all'analisi di valutazione della texture mediante la Texture Profile Analysis (TPA).

La determinazione delle proprietà meccaniche è stata effettuata utilizzando un Texture Analyser TA.XT.plus (Figura 17), 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.



Figura 17. Strumento utilizzato per l'analisi: Texture Analyser TA.XT.plus

Lo strumento ha registrato i dati su uno specifico software, il quale sulla base dei risultati ottenuti ha generato due curve (una per ogni compressione) su un grafico (Figura 18) (Rahman, 2005) riportante sull'asse delle ascisse il tempo e su quello delle ordinate la forza.

L'analisi dei grafici 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 corrisponde al picco massimo della prima curva. Può essere espressa in grammi (g), chili (kg) o Newton (N);
- **Coesività:** è il grado di deformazione che può essere raggiunto prima della rottura. Graficamente equivale al rapporto tra le due aree delle curve generate. Nell'esempio di grafico riportato sarebbe il rapporto tra l'area 2 e l'area 1 (A_2/A_1). È un parametro adimensionale;
- **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. Graficamente corrisponde alla porzione di area sottesa all'asse delle ascisse e rappresenta la forza negativa; nell'esempio di grafico riportato equivale all'area 3 (A_3);
- **Elasticità:** rappresenta l'altezza che il prodotto recupera durante il tempo che trascorre tra la fine del primo ciclo di compressione ed il secondo. Graficamente, perciò, è la distanza tra il picco della curva e il punto iniziale da cui si è sviluppata la gaussiana. Nell'esempio di grafico riportato equivale al tratto Y_1 e Y_2 . È un parametro adimensionale;
- **Gommosità:** energia richiesta per disintegrare un cibo semisolido fino a quando è pronto per la deglutizione. La formula per l'ottenimento di tale parametro è:

$$\text{Gommosità} = \text{Durezza} \times \text{Coesività}$$

- **Masticabilità:** esprime l'energia richiesta per masticare un cibo solido fino a quando è pronto per la deglutizione; è espressa in Joule (J). La formula per l'ottenimento di tale parametro è:

$$\text{Masticabilità} = \text{Durezza} \times \text{Coesività} \times \text{Elasticità}$$

$$\text{Masticabilità} = \text{Gommosità} \times \text{Elasticità}$$

- **Resilienza:** esprime l'ampiezza del recupero da parte del campione dopo il primo ciclo di deformazione; pertanto, è anche chiamata come elasticità istantanea. È ottenibile attraverso il rapporto tra le due aree sottese al di sotto della prima curva separate dal picco. Nell'esempio di grafico riportato equivale al rapporto tra l'area compresa tra Z_1 e il tempo a cui si annulla la forza, e tra l'origine del grafico e Z_1 . È un parametro adimensionale.

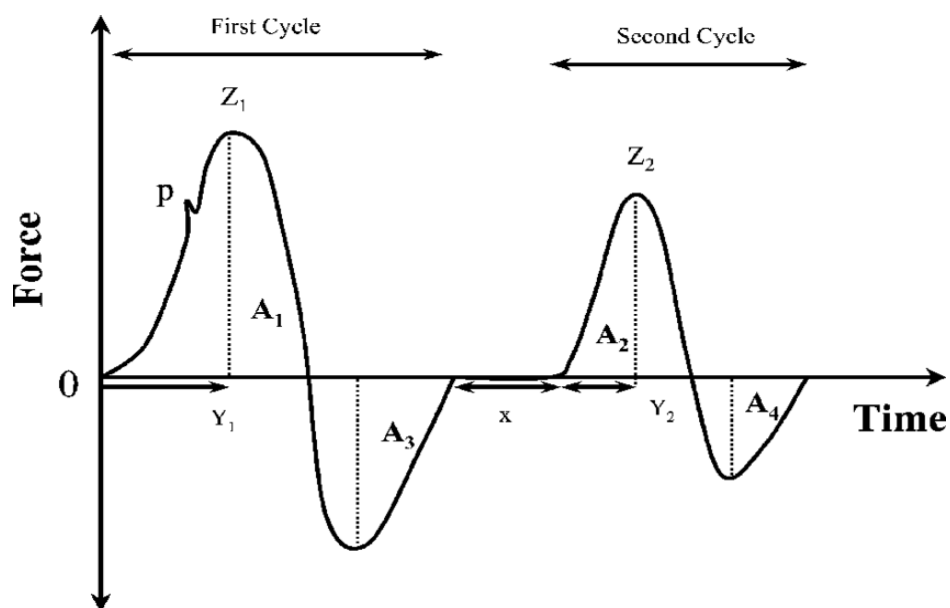


Figura 18. Esempio di grafico ottenibile con Texture Profile Analysis (TPA) (Rahman, 2005).

3.3.4 Antiossidanti e polifenoli totali

La determinazione dell'attività antiossidante e dei polifenoli totali ha previsto la liofilizzazione di uno dei due campioni precedentemente congelati ed è stato poi finemente macinato così da ottenere una polvere da cui sono stati prelevati 0,5 g e aggiunti a 20 mL di metanolo per realizzare l'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 minuti a 20 °C è stata letta l'assorbanza a 593 nm (Shimadzu UV-1800) confrontandola con una curva di calibrazione costituita da soluzioni di solfato di ammonio ferroso con concentrazione da 0 a 1200 $\mu\text{g mL}^{-1}$ di ione ferroso. L'attività antiossidante è stata quindi successivamente espressa come mg di Fe^{2+} equivalenti (Fe^{2+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 secondi di agitazione e successivo riposo per 30 minuti 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 acido gallico equivalenti (GAE) per kg di campione fresco o secco.

3.4 Analisi statistica

I dati ricavati dai rilievi quantitativi e qualitativi sono stati elaborati statisticamente attraverso l'analisi della varianza ANOVA a una e a due vie, e le medie sono state separate attraverso il test HSD di Tukey con $p \leq 0.05$. Per l'elaborazione statistica è stato utilizzato il software Statgraphics 19 centurion (Statgraphics Technologies, Inc.).

4. Risultati

4.1 P80

4.1.1 Primordi

Per quanto riguarda la varietà P80 (Figura 19), in prima volata, i primordi sottoposti al trattamento di controllo hanno cominciato a svilupparsi intorno al ventottesimo giorno dopo l'incubazione (GDI), mentre quelli dei funghi sottoposti agli altri due trattamenti hanno cominciato a svilupparsi nei giorni seguenti. Durante tutta la volata sono emerse delle differenze statisticamente significative tra tutti e tre i trattamenti applicati e al termine della volata, al trentaduesimo GDI, le percentuali di comparsa dei primordi sono state: 71,6% per i funghi sottoposti a trattamento con lampade LED a luce blu, 45% per quanto riguarda quelli sottoposti al trattamento in rosso ed infine quasi il 2% per i funghi di controllo. La seconda volata, invece, è iniziata con la comparsa dei primordi 65 giorni dopo l'incubazione e la percentuale di comparsa dei primordi è stata: 70% per i sacchi del trattamento in blu, 66,3% per i funghi del controllo e poco meno del 60% per il trattamento rosso.

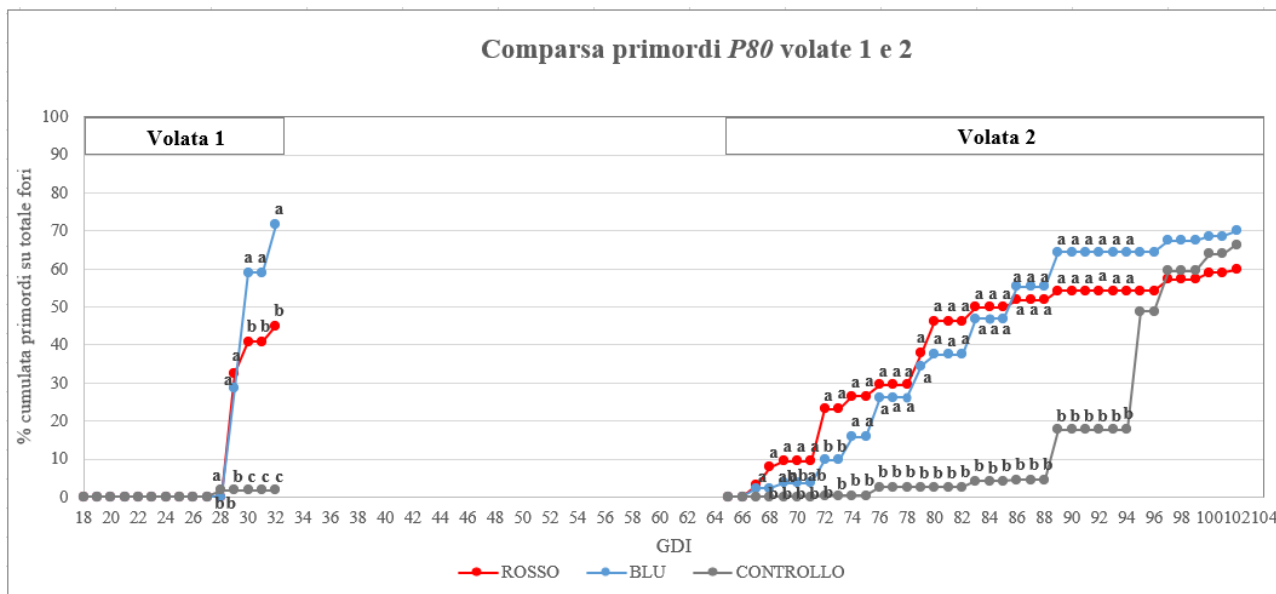


Figura 19. Effetto di diversi trattamenti luminosi sulla comparsa di primordi in *P. ostreatus* P80, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.1.2 Analisi morfoponderali

4.1.2.1 Resa

In figura 20 è possibile osservare le rese produttive della varietà *P80*, sia in prima volata che in seconda volata, in funzione del trattamento luminoso a cui i campioni sono stati sottoposti. In particolare, sono emerse, in entrambe le volate, delle differenze statisticamente significative tra la produzione rilevata sia dal trattamento con luce LED blu che quello con luce LED rossa rispetto al controllo. Nello specifico, durante la prima volata, la resa produttiva del controllo è stata del 41,38% più bassa rispetto alla resa ottenuta dai sacchi trattati con luce LED; in seconda volata, invece, tale differenza si è alzata al 70,4%.

Durante la prima volata la resa media del trattamento con luce LED blu è stata di 246,24 g/kg di substrato, il trattamento con luce LED rossa ha permesso una produzione media leggermente più bassa, pari a 230,57 g/kg di substrato. In seconda volata, invece, la resa media è stata complessivamente inferiore: 87,20 g/kg di substrato per il trattamento in rosso, 76 g/kg di substrato per il trattamento blu e infine il controllo con soli 24,16 g/kg di substrato.

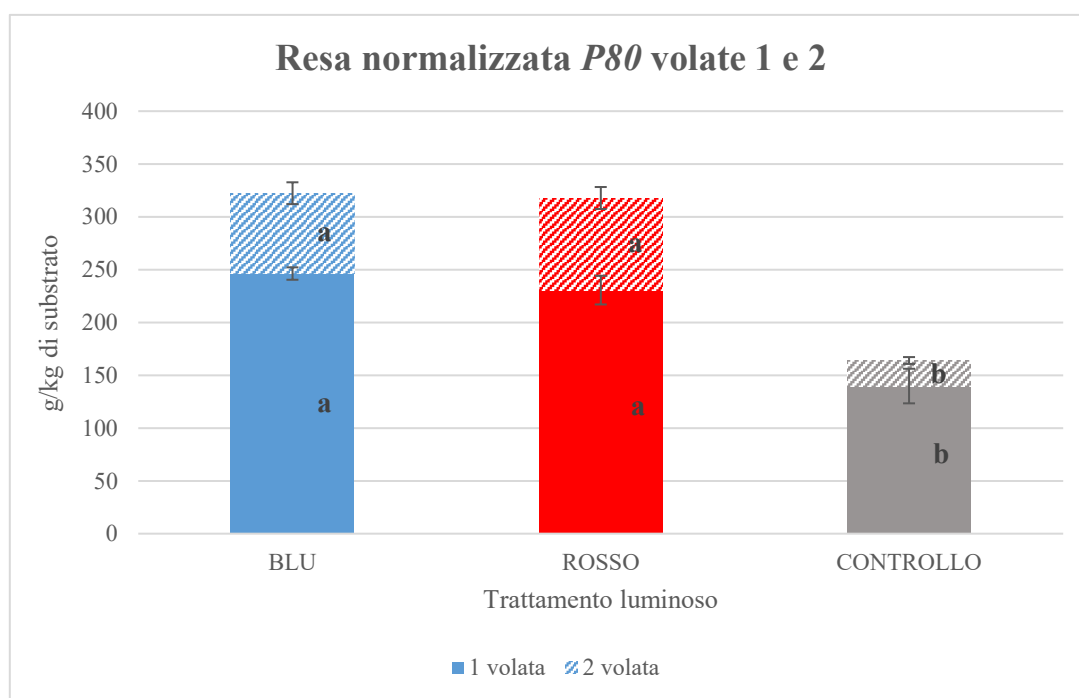


Figura 20. Effetto di diversi trattamenti luminosi sulla resa normalizzata nella varietà *P. ostreatus P80*, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.1.2.2 Numero famiglie totali per sacco

Tra le analisi morfoponderali è stata eseguita la valutazione del numero di famiglie totali per sacco. Come si può notare dalla figura 21 in *P80* per entrambe le volate e per ciascuna combinazione di trattamento luminoso, non c'è stata alcuna differenza significativa circa la numerosità delle famiglie ottenute per sacco. Tenendo conto nell'insieme di tutti e tre i trattamenti luminosi la media di famiglie totali ottenute per sacco è stata di quasi 17 in prima volata e 9,78 in seconda volata.

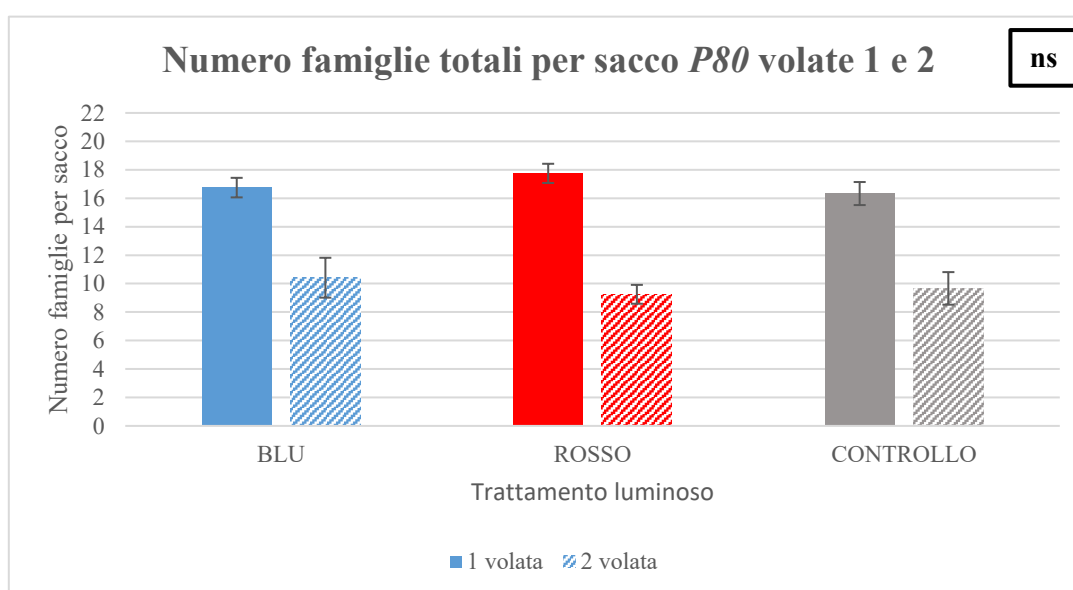


Figura 21. Effetto di diversi trattamenti luminosi sullo sviluppo del numero di famiglie per sacco in varietà *P. ostreatus P80*, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.1.2.3 Numero corpi fruttiferi per famiglia

In figura 22 sono riportati i risultati per quanto riguarda il numero di corpi fruttiferi rilevati in prima e in seconda volata. In prima volata, la media dei corpi fruttiferi quantificati per ogni famiglia rappresentativa, unendo tutti e tre i trattamenti, è di 28. In seconda volata, invece, ci sono state delle differenze significative: nello specifico la media del numero dei corpi fruttiferi per famiglia dei funghi trattati con la luce LED rossa è stata di 10, mentre per gli altri due trattamenti la media era di 6,33. Tra la prima e la seconda volata c'è stata una diminuzione del numero di corpi fruttiferi per famiglia del 73,11%.

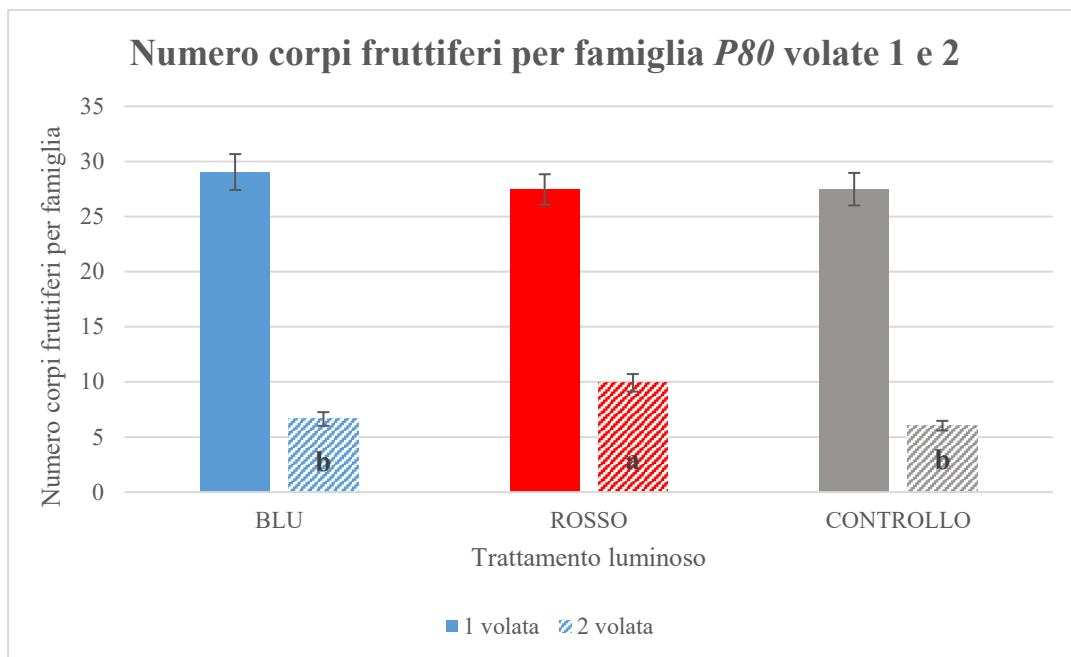


Figura 22. Effetto di diversi trattamenti luminosi sullo sviluppo del numero di corpi fruttiferi per famiglia in varietà *P. ostreatus* P80, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.1.2.4 Diametro e spessore corpi fruttiferi

Nel grafico seguente (Figura 23) sono riportate le misure medie dei diametri dei corpi fruttiferi misurati in prima e seconda volata rispetto ai diversi trattamenti luminosi.

In entrambe le volate i risultati mostrano delle differenze significative. Come si può vedere, mentre in prima volata la media del controllo è di 8,47 cm, e del blu 7,69 cm e del rosso 7,47 cm; in seconda volata il controllo si attesta a 9,91 cm, il rosso 9,08 cm mentre il blu ha il valore intermedio di 9,54 cm.

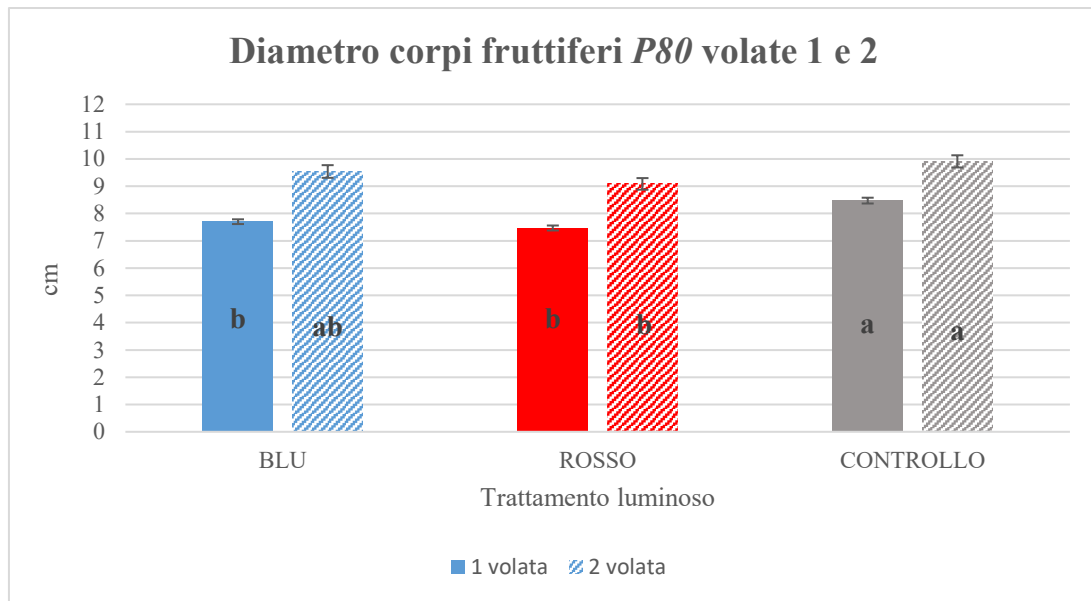


Figura 23. Effetto di diversi trattamenti luminosi sul diametro dei corpi fruttiferi in varietà *P. ostreatus* P80, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

Anche per quanto riguarda lo spessore dei corpi fruttiferi, la varietà P80 ha manifestato un'ampia variabilità tra i trattamenti (Figura 24). Infatti, in prima volata, il valore medio dello spessore è stato di 8,22 mm per quanto riguarda i funghi trattati con luce LED blu, 8,48 mm per quelli trattati con luce LED rossa e 7,45 mm per il controllo. In seconda volata, invece, i valori medi dello spessore sono pari a 8,19 mm per i funghi trattati col blu, 7,71 mm per quelli trattati col rosso e 8,32 per quelli del controllo.

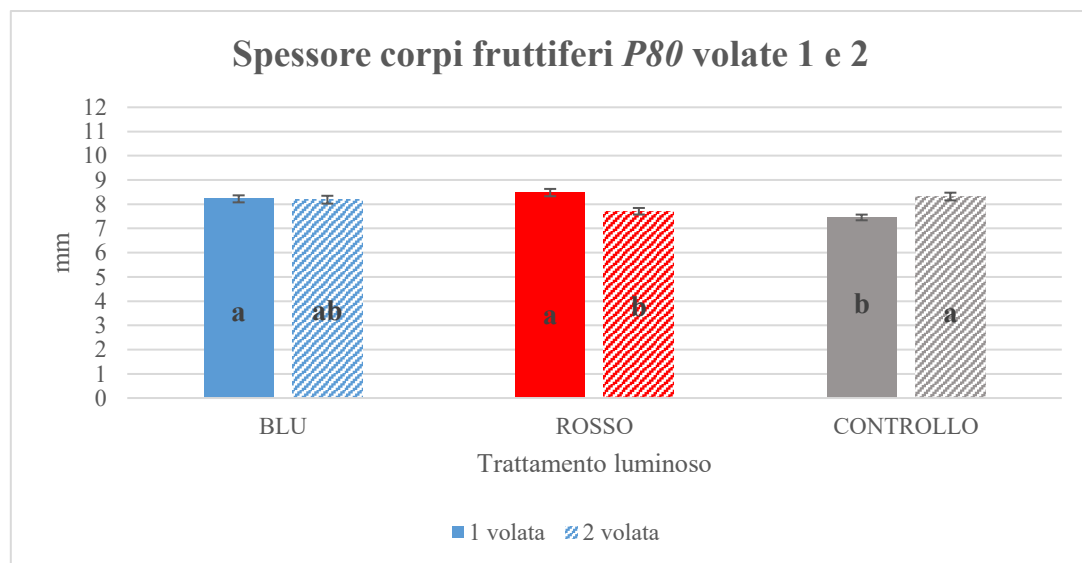


Figura 24. Effetto di diversi trattamenti luminosi sullo spessore dei corpi fruttiferi in varietà *P. ostreatus* P80, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.1.3 Analisi qualitative

4.1.3.1 Colore: valori L^* , a^* , b^*

In tabella 3 sono riportati i risultati delle analisi colorimetriche eseguite nella varietà *P80* per entrambe le volate di produzione. Nello specifico sono stati misurati i parametri L^* , a^* , b^* in funzione dei diversi trattamenti luminosi adottati per la coltivazione dei funghi. Tali parametri sono stati, inoltre, espressi in formato RGB per poter visualizzare chiaramente il colore associato alle misurazioni rilevate e facilitare la comprensione di eventuali differenze rilevate.

Sono emerse delle differenze significative in entrambe le volate, soprattutto per quanto riguarda il parametro L^* . Il controllo ha sempre avuto valori maggiori, prima pari a 58,4 e poi 61,0 seguito dal rosso con 55,1 in prima volata e 58,3 in seconda volata, ed infine il blu con 47,3 e 50,7.

Tabella 3. Effetto dei diversi trattamenti luminosi sui valori L^* , a^* , b^* in varietà *P. ostreatus P80*, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05). Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

<i>P80</i>	VOLATA 1				VOLATA 2			
Trattamento	L^*	a^*	b^*	RGB	L^*	a^*	b^*	RGB
Blu	47,3±0,47 c	5,3±0,07	9,0±0,16 c		50,7±0,55 c	3,8±0,11 a	10,1±0,17 b	
Rosso	55,1±0,27 b	4,2±0,04	10,4±0,11 b		58,3±0,49 b	2,6±0,07 b	11,4±0,18 a	
Controllo	58,4±0,31 a	5,9±1,44	12,4±0,11 a		61,0±0,41 a	1,6±0,05 c	10,0±0,14 b	

4.1.3.2 EC, pH, solidi solubili, acidità titolabile

In tabella 4 sono riportati i risultati delle analisi qualitative in funzione del trattamento luminoso applicato e della volata di produzione. Considerando le medie ottenute unendo tutti i risultati dei trattamenti applicati, la conducibilità elettrica media in prima volata è stata di 4,3 mS/cm, mentre in seconda volata attorno al valore di 5 mS/cm; il pH medio è stato 6,5 per entrambe le volate, i solidi solubili sono passati da un valore medio di 3,8° Brix a 4,1° Brix ed infine l'acidità titolabile media è rimasta pressoché invariata passando da 1,3 mg acido citrico/100 mL utilizzati in prima volata, a 1,5 mg acido citrico/100 mL per la seconda volata.

Tabella 4. Effetto dei diversi trattamenti luminosi sui valori di EC, pH, solidi solubili e acidità titolabile in varietà *P. ostreatus* P80, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05). Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

P80						ns
Volata	Trattamento	Conducibilità elettrica [mS/cm]	pH	Solidi solubili [°Brix]	Acidità titolabile [mg acido citrico /100 ml]	
1	Blu	4,42±0,26	6,76±0,18	3,59±0,16	1,30±0,33	
	Rosso	4,00±0,32	6,69±0,08	4,04±0,37	1,25±0,12	
	Controllo	4,51±0,21	6,40±,11	4,04±0,22	1,46±0,13	
2	Blu	6,65±0,05	6,65±0,05	4,85±1,05	1,66±0,06	
	Rosso	4,32±0,39	6,54±0,09	3,83±0,32	1,57±0,22	
	Controllo	4,72±0,32	6,36±0,07	3,70±0,20	1,37±0,14	

4.1.3.3 Texture

La valutazione della texture è stata eseguita solo sui funghi trattati con luce LED. Tra i diversi parametri misurati confrontandoli con il trattamento e la volata di produzione, si sono distinti la durezza, la gommosità e la masticabilità (Tabella 5). In prima volata la durezza dei funghi sottoposti a trattamento in blu è stata di 2,43 g mentre in quelli sottoposti a luce LED rossa è risultata 1,54 g. In seconda volata i valori sono stati rispettivamente di 2,30 g e 1,20 g. Sempre in prima volata la gommosità dei funghi trattati in blu è stata di 1,66 rispetto a 1,08 dei funghi trattati in rosso e la masticabilità è risultata 1,27 J per i primi e 0,76 J per i secondi.

Tabella 5. Effetto dei diversi trattamenti luminosi sui valori di texture in varietà *P. ostreatus* P80, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05). Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

P80							
Volata	Trattamento	Durezza [g]	Elasticità	Coesività	Gommosità	Masticabilità [J]	Resilienza
1	Blu	2,43±0,38 a	0,68±0,03	0,70±0,03	1,66±0,28 a	1,27±0,23 a	0,40±0,01
	Rosso	1,54±0,09 b	0,65±0,03	0,68±0,03	1,08±0,08 b	0,76±0,06 b	0,43±0,01
2	Blu	2,30±0,50 a	0,49±0,06	0,62±0,07	1,43±0,33	0,92±0,24	0,40±0,02
	Rosso	1,22±0,20 b	0,51±0,04	0,69±0,05	0,87±0,13	0,51±0,08	0,37±0,03

4.1.3.4 Antiossidanti e polifenoli totali

In tabella 6 sono riportati i risultati relativi agli antiossidanti ed ai polifenoli totali riscontrati nei campioni di P80. Come è possibile notare, i risultati relativi agli antiossidanti, hanno permesso l'individuazione di differenze significative tra i campioni derivanti dai trattamenti d'illuminazione LED ed il controllo. Tenendo conto dei trattamenti LED nel loro insieme, il valore medio di antiossidanti è stato 2.289,81 mg Fe²⁺eq*kg⁻¹ ps e tale frazione rilevata è stata superiore del 54% rispetto alla frazione media del controllo pari a 1.051,60 mg Fe²⁺eq*kg⁻¹ ps.

Per quanto riguarda i polifenoli, invece, non sono state rilevate delle differenze statisticamente significative in relazione alle diverse tipologie di trattamento luminoso applicato e i valori medi raccolti si sono aggirati tra un minimo di 197,55 mg GAE kg⁻¹ ps di polifenoli identificati nei campioni del controllo e un massimo di 459,69 mg GAE kg⁻¹ ps di polifenoli identificati nei campioni raccolti dal trattamento in blu.

Tabella 6. Effetto dei diversi trattamenti luminosi sui valori di antiossidanti e polifenoli totali in varietà P. ostreatus P80, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p-value < 0,05). Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

P80		
Trattamento	Antiossidanti [mg Fe²⁺eq*kg⁻¹ ps]	Polifenoli [mg GAE kg⁻¹ ps]
Blu	2.216,48±223,50 a	459,69±166,17
Rosso	2.363,14±243,10 a	219,20±30,11
Controllo	1.051,60±78,52 b	197,55±24,24

4.2 Spoppo

4.2.1 Primordi

In figura 25 è riportata la percentuale di comparsa dei primordi della varietà Spoppo in funzione dei giorni di incubazione, della prima e della seconda volata.

In prima volata la comparsa dei primordi è avvenuta 20 GDI a partire dal controllo, mentre 29 GDI hanno cominciato a svilupparsi anche i primordi dei funghi sottoposti al trattamento di luce LED. La prima volata è terminata 32 GDI e la percentuale media di sviluppo dei primordi in tale giorno è stata

del 77,6% per quanto riguarda il controllo, 26,13% per i funghi sottoposti al trattamento luminoso in rosso e quasi del 19% per quelli sottoposti al trattamento in blu.

La seconda volata, invece, è stata caratterizzata dalla nascita dei primi primordi del controllo al sessantacinquesimo GDI e al sessantasettesimo per quanto riguarda i sacchi trattati con i LED. Al termine di questa volata la percentuale media di sviluppo dei primordi è stata del 31,44% per il controllo, 21,6% per il trattamento in blu e 20,83% per il trattamento in rosso.

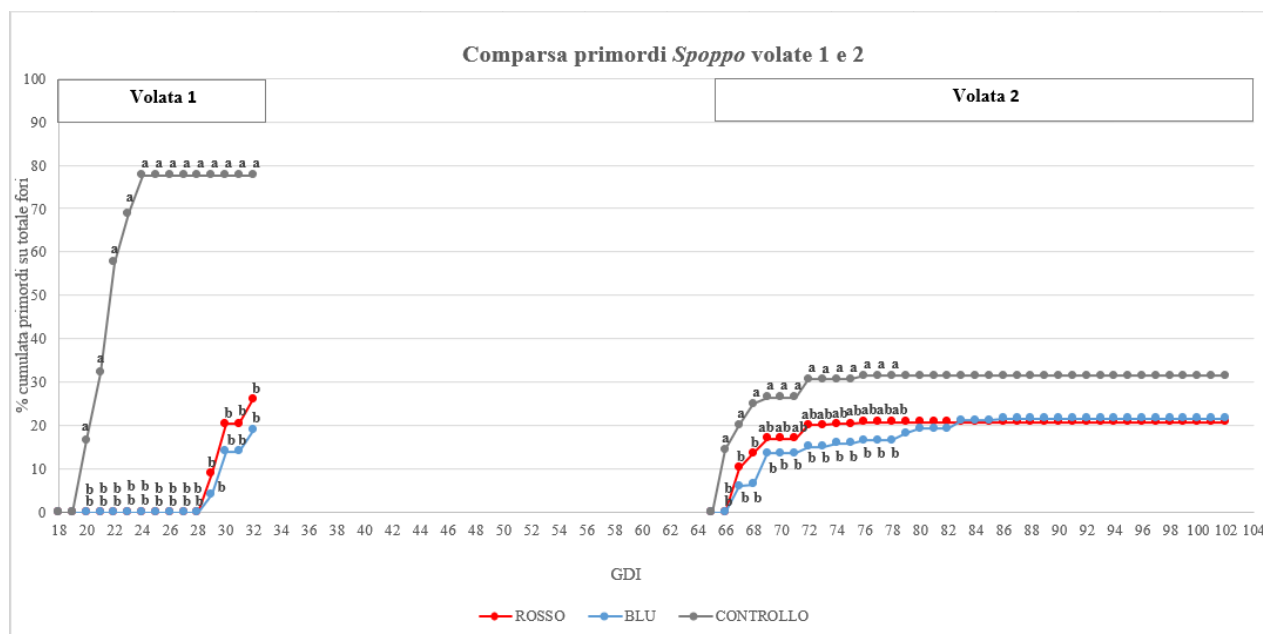


Figura 25. Effetto di diversi trattamenti luminosi sulla comparsa di primordi in varietà *P. ostreatus* Spoppo, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.2.2 Analisi morfoponderali

4.2.2.1 Resa

Anche in *Soppo* i valori della resa normalizzata sono risultati statisticamente significativi (Figura 26). In prima volata, i sacchi trattati con i LED hanno prodotto in media il 66,82% in più rispetto al controllo, infatti, la resa media derivata dal trattamento in blu è stata di 238,26 g/kg di substrato e quella del trattamento in rosso di 228,26 g/kg di substrato, contro i 77,4 g/kg di substrato del controllo.

In seconda volata la resa normalizzata complessiva è stata inferiore rispetto alla prima e il controllo ha prodotto il 56,79% in meno rispetto alla media della resa degli altri due trattamenti luminosi. In particolare, mentre il controllo ha avuto una resa normalizzata media di 44,86 g/kg di substrato il

trattamento in rosso ha avuto una resa normalizzata media di 102,18 g/kg di substrato e quello in blu di circa 105 g/kg di substrato.

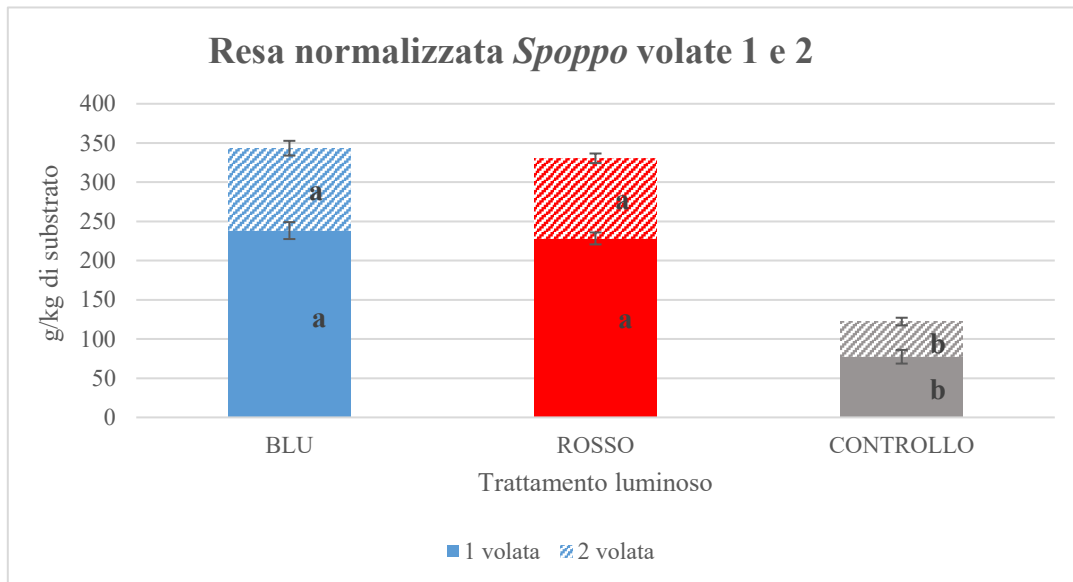


Figura 26. Effetto di diversi trattamenti luminosi sulla resa normalizzata in varietà *P. ostreatus* Spoppo, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.2.2.2 Numero famiglie per sacchi

Per quanto riguarda il numero di famiglie per sacco, non sono emerse delle differenze statisticamente significative in funzione dei diversi trattamenti luminosi applicati (Figura 27). In prima volata la media del numero di famiglie per sacco, unendo i risultati ottenuti da tutti e tre i trattamenti, è stata di 16 mentre in seconda volata si è abbassata a 10.

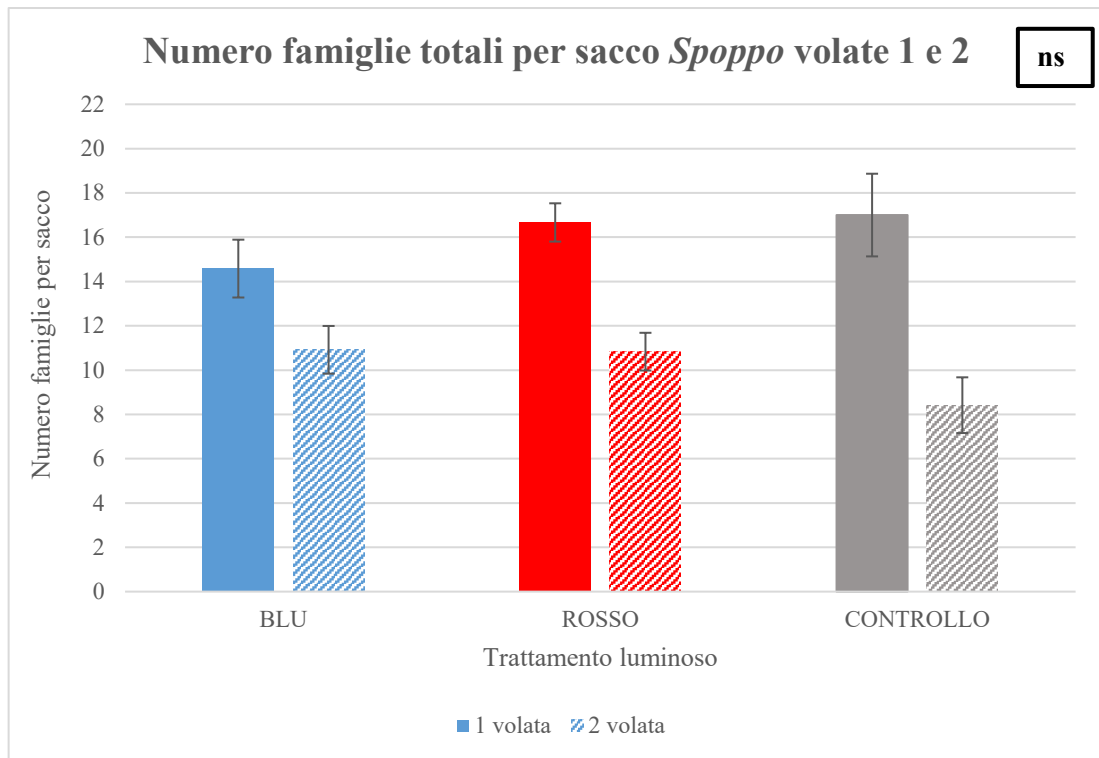


Figura 27. Effetto di diversi trattamenti luminosi sullo sviluppo del numero di famiglie per sacco in varietà *P. ostreatus Spoppo*, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.2.2.3 Numero corpi fruttiferi per famiglia

In figura 28 è riportato il numero di corpi fruttiferi per famiglia in relazione al tipo di trattamento luminoso applicato e alla volata di produzione. In prima volata non sono state rilevate differenze statisticamente significative e, considerata la media di 30,85 corpi fruttiferi per famiglia, derivata dall'unione dei dati di tutti i trattamenti luminosi, è stata del 69% superiore rispetto a quella in seconda volata pari a 9,6 corpi fruttiferi per famiglia. In seconda volata, invece, sono emerse delle differenze significative e le singole medie per trattamento sono state: 11 corpi fruttiferi per famiglia per il controllo, 10,5 per il trattamento in rosso e 7 per quello in blu.

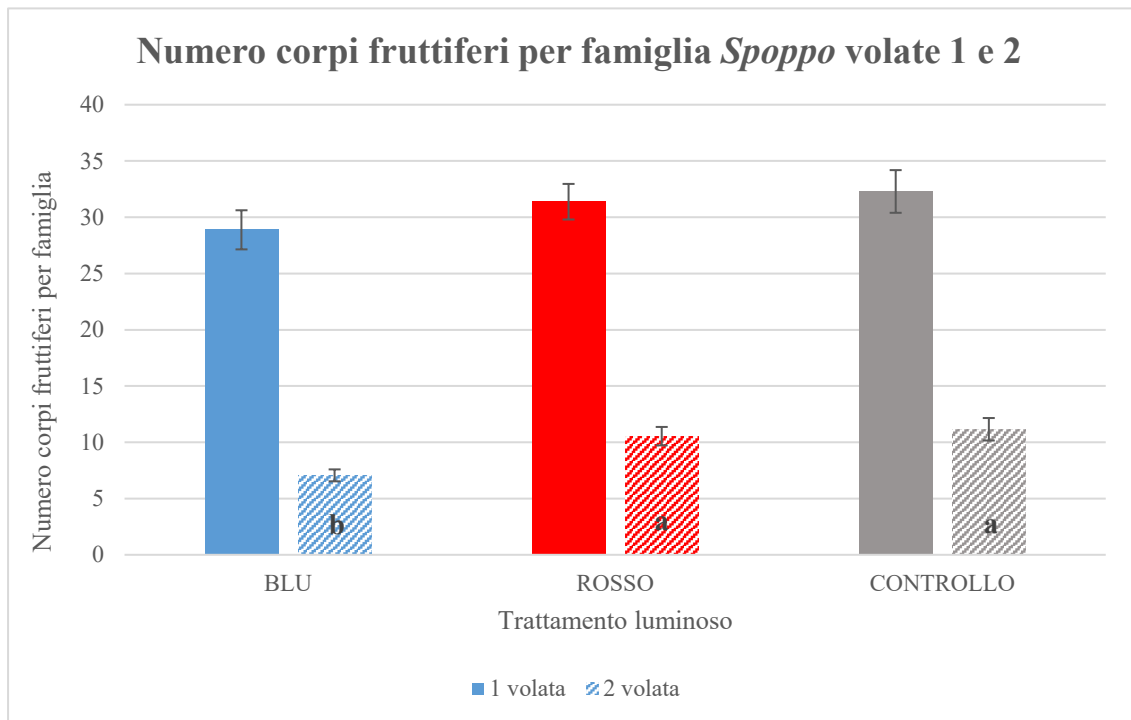


Figura 28. Effetto di diversi trattamenti luminosi sullo sviluppo del numero di corpi fruttiferi per famiglia in varietà *P. ostreatus* Spoppo, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.2.2.4 Diametro e spessore corpi fruttiferi

Per quanto riguarda il diametro dei corpi fruttiferi ci sono state delle differenze significative per tutti e tre i trattamenti luminosi sia in prima che in seconda volata (Figura 29). In prima volata il diametro medio dei corpi fruttiferi dei funghi sottoposti al trattamento LED blu è stato di 6,15 cm, nel caso del rosso 5,58 cm e per il controllo 5,34 cm. In seconda volata, invece, le dimensioni medie sono aumentate raggiungendo rispettivamente per ogni trattamento citato i 8,07 cm, 7,18 cm e 5,85 cm.

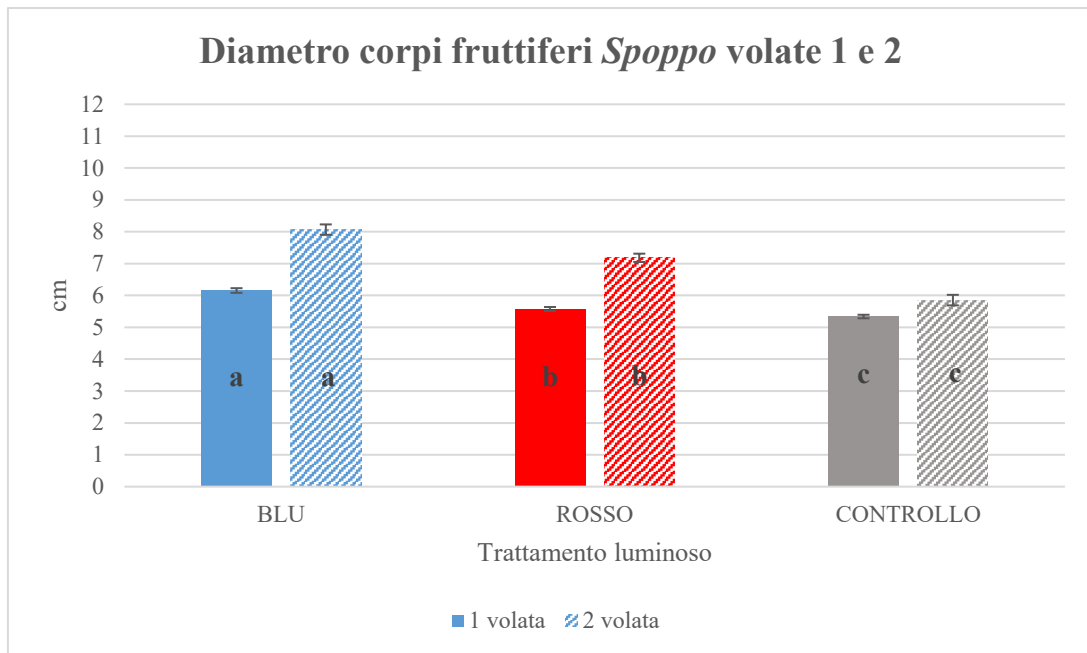


Figura 29. Effetto di diversi trattamenti luminosi sul diametro dei corpi fruttiferi in varietà *P. ostreatus* Spoppo, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

Lo spessore medio dei corpi fruttiferi in relazione al trattamento luminoso applicato e alla volata è riportato in figura 30. Sia in prima che in seconda volata sono emerse delle differenze significative: in prima volata la media complessiva tra lo spessore dei due trattamenti a LED è stata di 9,84 mm mentre i funghi del controllo avevano uno spessore medio di 9,05 mm. In seconda volata, invece, il trattamento col blu ha dato luogo a funghi dallo spessore medio di 9,29 mm, il trattamento in rosso di 8,66 mm ed infine il controllo di 8,80 mm.

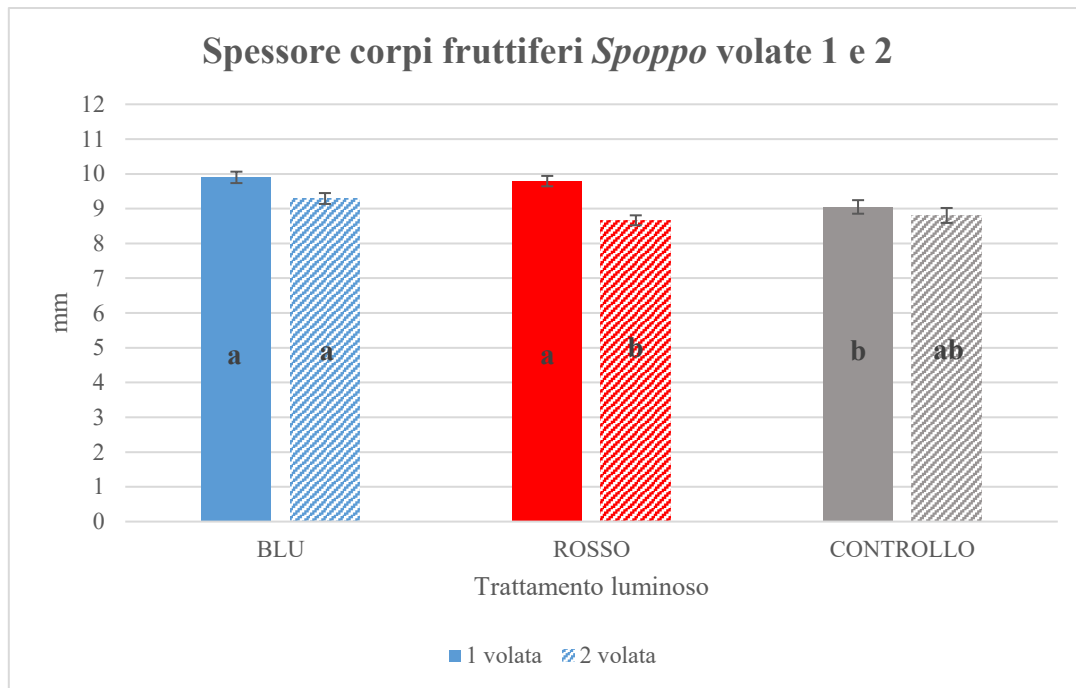


Figura 30. Effetto di diversi trattamenti luminosi sullo spessore dei corpi fruttiferi in varietà *P. ostreatus* Spoppo, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05) e le barre di errore rappresentano gli errori standard. Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

4.2.3 Analisi qualitative

4.2.3.1 Colore: valori L^* , a^* , b^*

In tabella 7 sono riportati i risultati delle analisi colorimetriche eseguite nella varietà *Spoppo* per entrambe le volate di produzione. Nello specifico sono stati misurati i parametri L^* , a^* , b^* in funzione dei diversi trattamenti luminosi adottati per la coltivazione dei funghi. Tali parametri sono stati, inoltre, espressi in formato RGB per poter visualizzare chiaramente il colore associato alle misurazioni rilevate e facilitare la comprensione di eventuali differenze identificate.

Sono emerse delle differenze significative in entrambe le volate, soprattutto per quanto riguarda il parametro L^* . Il controllo ha sempre avuto valori maggiori, in entrambi i casi pari al valore medio di 55,4; nel trattamento LED rosso in prima volata il valore è stato di 51,6 mentre in seconda volata è stato di 53,7, infine nel trattamento in blu si è passati da un valore pari a 44,3 in prima volata ad uno di 47,3 nella seconda.

Tabella 7. Effetto dei diversi trattamenti luminosi sui valori L^* , a^* , b^* in varietà *P. ostreatus* Spoppo, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05). Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

<i>Spoppo</i>	VOLATA 1				VOLATA 2			
	Trattamento	L^*	a^*	b^*	RGB	L^*	a^*	b^*
Blu	44,3±0,42 c	6,7±1,54	10,8±0,17 c		47,3±0,41 c	5,1±0,08 a	11,2±0,16	
Rosso	51,6±0,30 b	4,5±1,54	12,5±0,17 b		53,7±0,38 b	4,0±0,06 b	17,2±4,38	
Controllo	55,4±0,30 a	4,0±0,04	14,0±0,07 a		55,4±0,28 a	4,1±0,04 b	14,1±0,06	

4.2.3.2 EC, pH, solidi solubili, acidità titolabile

Nella rilevazione della conducibilità elettrica e del pH, nella varietà *Spoppo* sono emerse delle differenze significative in prima volata (Tabella 8). Per quanto riguarda la conducibilità elettrica nei funghi derivati dal trattamento LED, sono stati rilevati valori medi compresi tra 4,09-4,10 mS/cm, mentre per il controllo il valore medio è risultato 3,20 mS/cm. Per quanto riguarda il pH medio, invece, i valori sono stati rispettivamente di: 6,74 per i funghi trattati con luce blu, 6,57 per i funghi trattati con luce rossa e 6,31 per i funghi di controllo. Queste differenze non sono state confermate in seconda volata per cui il valore complessivo medio di conducibilità elettrica tra i tre trattamenti è stato di 3,82 mS/cm e 6,54 per il pH.

I valori medi dei solidi solubili, complessivi dei tre trattamenti, sono stati 3,95° Brix in prima volata e 4,64° Brix in seconda volata; per l'acidità titolabile invece 1,33 mg di acido citrico/100 ml in prima volata e 1,44 mg di acido citrico/100 ml in seconda volata.

Tabella 8. Effetto dei diversi trattamenti luminosi sui valori di EC, pH, solidi solubili e acidità titolabile in varietà *P. ostreatus* Spoppo, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05). Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

<i>Spoppo</i>					
Volata	Trattamento	Conducibilità elettrica [mS/cm]	pH	Solidi solubili [°Brix]	Acidità titolabile [mg acido citrico /100 ml]
1	Blu	4,09±0,18 a	6,74±0,04 a	3,80±0,15	1,28±0,06
	Rosso	4,10±0,14 a	6,57±0,04 b	4,27±0,15	1,44±0,07
	Controllo	3,10±0,24 b	6,31±0,11 c	3,78±0,38	1,29±0,21
2	Blu	3,34	6,5	4,20	1,40
	Rosso	3,71±0,25	6,55±0,13	4,35±0,28	1,36±0,22
	Controllo	4,43±0,15	6,57±0,05	5,83±0,26	1,56±0,08

4.2.3.3 Texture

La valutazione della texture è stata eseguita solo sui funghi trattati con luce LED. In prima volata non ci sono stati risultati statisticamente significativi tra alcun parametro misurato rispetto al trattamento luminoso, mentre in seconda volata sono state rilevate delle differenze rispetto ai parametri di gommosità e masticabilità (Tabella 9). Per la gommosità è stato riscontrato un valore di 1,69 nei funghi sottoposti a trattamento con luce blu rispetto al valore di 1,32 rilevato nei funghi trattati con luce rossa. Per quanto riguarda la masticabilità, per il trattamento in blu il risultato è pari a 1,14 J mentre per quello in rosso 0,88 J.

Tabella 9. Effetto dei diversi trattamenti luminosi sui valori di texture in varietà *P. ostreatus* Spoppo, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05). Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

<i>Spoppo</i>							
Volata	Trattamento	Durezza [g]	Elasticità	Coesività	Gommosità	Masticabilità [J]	Resilienza
1	Blu	2,84±0,14	0,61±0,02	0,59±0,02	1,67±0,10	1,08±0,07	0,33±0,01
	Rosso	2,58±0,17	0,60±0,02	0,60±0,02	1,45±0,09	0,96±0,08	0,33±0,01
2	Blu	2,88±0,16	0,62±0,02	0,59±0,02	1,69±0,11 a	1,14±0,08 a	0,33±0,02
	Rosso	2,56±0,15	0,57±0,03	0,55±0,03	1,32±0,09 b	0,88±0,07 b	0,33±0,01

4.2.3.4 Antiossidanti e polifenoli totali

Dai risultati emersi dalle analisi relative alla quantificazione di antiossidanti e polifenoli totali in *Spoppo*, sono emerse delle differenze statisticamente significative per entrambi i parametri (Tabella 10).

Per quanto riguarda gli antiossidanti, il valore medio della frazione rilevata da ambedue i trattamenti d'illuminazione LED nel loro insieme, è stato statisticamente differente rispetto al valore medio del controllo. Nello specifico il controllo, con un valore medio di 791,49 mg Fe²⁺eq*kg⁻¹ ps di antiossidanti, è stato del 61,6% inferiore rispetto alla media di entrambi i risultati ottenuti dai campioni trattati con illuminazione LED.

Anche per quanto concerne i polifenoli si è identificato un aumento della frazione riscontrata nei funghi sottoposti a trattamento d'illuminazione LED in blu; infatti, il valore rilevato pari a 751,15 mg GAE kg⁻¹ ps, è stato superiore del 54,8% rispetto alla media dei polifenoli medi rilevati negli altri due trattamenti.

Tabella 10. Effetto dei diversi trattamenti luminosi sui valori di antiossidanti e polifenoli totali in varietà *P. ostreatus* P80, volate 1 e 2. Lettere diverse indicano differenze significative tra le medie (p -value < 0,05). Dove presente, l'acronimo "ns" indica l'assenza di differenze significative.

<i>Spoppo</i>		
Trattamento	Antiossidanti [mg Fe ²⁺ eq*kg ⁻¹ ps]	Polifenoli [mg GAE kg ⁻¹ ps]
Blu	2.290,97±240,13 a	751,15±157,25 a
Rosso	1.829,74±106,33 a	396,20±74,80 b
Controllo	791,49±354,44 b	282,43±136,38 b

5. Discussione

5.1 Primordi

Generalmente il tempo medio di sviluppo dei primordi dalla fase di incubazione è compreso tra i 16 e i 27 giorni (Raman et al., 2021), in questo caso i primi emersi risalgono al 21 dicembre 2023, 20 giorni dopo l'inizio dell'incubazione, e sono quelli della varietà *Spoppo* esposta alla luce naturale. Anche nella varietà *P80* i primordi che si sono sviluppati per primi sono stati quelli dei funghi di controllo, 28 GDI, il 29 dicembre 2023. È utile considerare che i sacchi utilizzati in questo studio sperimentale erano di colore opaco e perciò la luce potrebbe non aver influenzato significativamente lo sviluppo del micelio fungino.

Nella varietà *Spoppo* oltre alla precocità di sviluppo del controllo si è verificata anche la maggior occupazione percentuale cumulata dei fori dei sacchi rispetto agli altri due trattamenti. Facendo la media dell'occupazione percentuale cumulata dei fori dei sacchi sottoposti ai trattamenti d'illuminazione LED e confrontandola con quella del controllo, è emerso che quest'ultima sia stata il 71% più elevata in prima volata e del 32,5% in seconda volata.

Tra i due trattamenti LED, invece, questa distinzione non è stata possibile perché mentre al termine della prima volata, la percentuale cumulata media di occupazione dei fori da parte dei primordi è stata maggiore nel trattamento in rosso (26,14% rispetto al trattamento in blu con 18,94%), in seconda volata è stata maggiore col trattamento in blu (21,60% rispetto al trattamento in rosso con 20,83%).

Infine, mentre durante la prima volata, a partire dai risultati ottenuti dal 20 GDI fino al termine della volata produttiva, è stato possibile definire una differenza significativa tra i risultati ottenuti dal controllo rispetto ad entrambi i trattamenti LED; in seconda volata questa differenza significativa è emersa solo tra il 65 GDI e il 68 GDI. In seguito, è stato possibile definire una differenza statisticamente significativa solamente tra il controllo e il trattamento in blu, mentre i risultati del trattamento in rosso sono stati intermedi tra i due precedenti. Alla luce di ciò è possibile affermare che i trattamenti d'illuminazione LED, nella varietà *Spoppo*, non hanno influenzato in maniera assoluta lo sviluppo dei primordi contrariamente a quanto riscontrato in altri studi come da De Bonis et al., (2024). Nonostante ciò, nella varietà *P80* i risultati sono stati diversi, confermando l'ipotesi che le luci LED influenzerebbero la precocità di sviluppo dei primordi (De Bonis et al., 2024).

In prima volata, nonostante inizialmente si siano cominciati a sviluppare i primordi del controllo, già dal giorno dopo è emersa una differenza statisticamente significativa a favore dei sacchi sottoposti ai trattamenti LED. In particolar modo si è distinto il trattamento in blu con il 71,6% di media cumulata di fori occupati da primordi. In seconda volata, sempre per il trattamento blu, a 86 GDI c'è stato un

incremento di sviluppo dei primordi che, come in prima volata, gli ha concesso al termine della produzione l'ottenimento della maggior media cumulata di fori occupati da primordi, pari al 70%.

Per quanto riguarda la prima volata, si può ipotizzare che ci siano state delle anomalie data la scarsa induzione dei primordi nel controllo; mentre in seconda volata i risultati sono apparsi più affidabili e, nonostante non si possa affermare che il trattamento in blu abbia comportato una differenza complessivamente significativa (come avvenuto invece in prima volata). In entrambe le volate il trattamento blu ha concesso una percentuale cumulata media maggiore di occupazione dei fori da parte dei primordi.

Infine, c'è da considerare che solitamente l'80% dei primordi si sviluppa entro 23 giorni dalla loro formazione (Qi et al., 2021), e in questo studio per lo *Spoppo* la prima volata si è conclusa totalmente in appena 14 giorni. Nonostante ciò, questo non può essere imputabile ai trattamenti d'illuminazione LED poiché ciò si è manifestato anche nel controllo. Le seconde volate di entrambe le varietà, invece, sono state più equiparabili alle previsioni terminando in 35 e 37 giorni.

5.2 Analisi morfoponderali

5.2.1 Resa

Con il susseguirsi delle volate la qualità dei costituenti del substrato diminuisce a causa del depauperamento delle sostanze nutritive presenti, come cellulosa e saccarosio, ciò influenza inevitabilmente la resa produttiva, che tende a diminuire anch'essa (Sharma et al., 2013); infatti, anche in questo studio è stato osservato che per entrambe le varietà c'è stata una diminuzione di produzione tra la prima e la seconda volata. Nello specifico la resa media totale per quanto riguarda la varietà *P80*, tenendo conto di tutti e tre i trattamenti, è stata di 616,6 g/kg di substrato in prima volata rispetto ai 187,4 g/kg di substrato in seconda volata; con una diminuzione della produzione del 69,6%. In *Spoppo*, secondo gli stessi criteri, si sono ottenuti quasi 544 g/kg di substrato in prima volata e poco più di 252 g/kg di substrato nella seguente, con una diminuzione della produzione di circa il 53,7%. Valutando invece ogni singolo trattamento, è stato visto come, di norma, la resa media di *P. ostreatus* tenendo conto delle volate di produzione nel loro insieme e considerando il tipo di substrato a base paglia usato in questo caso, sia attorno ai 152 g/kg di substrato, peso fresco a luce naturale (Obodai et al., 2003). Compatibilmente a quanto definito, in questo studio la resa del controllo di *P80* è stata di 164 g/kg di substrato, peso fresco e di *Spoppo* 122,25 g/kg di substrato. Considerando invece i trattamenti d'illuminazione a LED, è risaputo che in pre-raccolta aumentino la resa produttiva (Feng et al., 2023) e questo è ciò che stato riscontrato anche in tale studio sperimentale.

Per entrambe le varietà e volate è emersa una differenza statisticamente significativa nella resa a favore dei trattamenti LED rispetto al controllo. Nello specifico nella varietà *P80* i trattamenti LED hanno permesso una resa più elevata del 41,38% del controllo in prima volata e del 70,4% in seconda volata. In *Spoppo* questi stessi risultati sono stati del 66,82% in prima volata e del 56,79% in seconda volata.

Date queste rilevazioni, è quindi possibile confermare che i trattamenti in pre-raccolta di luce LED rossa e blu permettono una maggiore resa produttiva rispetto ai trattamenti con luce naturale. La differenza dell'incidenza di questo parametro tra i due trattamenti a LED, invece, è minima, tale da non poter definire delle differenze significative tra questi ultimi. Tutto ciò è coerente con numerosi studi eseguiti come quelli di Abdullah et al., (2023) e Yue et al., (2022).

5.2.2 Numero famiglie totali per sacco

Anche l'andamento dei risultati inerenti al numero di famiglie totali per sacco è stato coerente tra entrambe le varietà, infatti, in ambedue le casistiche non sono state rilevate delle differenze statisticamente significative tra alcun trattamento né per la prima né per la seconda volata.

In relazione al concetto del consumo delle sostanze nutritive contenute nel substrato, per tutte e due le varietà c'è stata una diminuzione del numero di famiglie totali per sacco tra la prima e la seconda volata analogamente a quanto riscontrato da altri studi come quello di Shah et al., (2004).

In particolar modo, per la varietà *P80* si è passati da un numero medio di famiglie totali per sacco (complessivo di tutti e tre i trattamenti) di 17 in prima volata a 9,78 in seconda volata, con una diminuzione pari al 42,17%. In *Spoppo*, invece, la diminuzione è stata del 37,48%, passando da un numero medio di famiglie totali per sacco di 16 in prima volata a 10 in seconda volata.

Purtroppo, in letteratura scientifica non sono presenti articoli di approfondimento circa il rapporto del numero di famiglie in funzione del trattamento luminoso LED applicato.

5.2.3 Numero corpi fruttiferi per famiglia

Per quanto riguarda il numero di corpi fruttiferi di entrambe le varietà, non sono emerse differenze significative in prima volata in funzione dei trattamenti applicati. Tra la prima e la seconda volata sia di *P80* che *Spoppo* c'è stata una prevedibile diminuzione del numero dei corpi fruttiferi per famiglia, imputabile al cambiamento nel tempo della composizione del substrato (Shah et al., 2004). Tenendo conto della media complessiva tra i tre trattamenti luminosi, la riduzione del numero di corpi fruttiferi per famiglia tra una volata e l'altra è stata di circa il 73% nella varietà *P80* e quasi del 70% in *Spoppo*. In seconda volata però, per entrambe le varietà, con risultati diversi, sono emerse delle differenze significative tra i trattamenti applicati. Sia in *P80* che *Spoppo* il trattamento in rosso è risultato più

efficace, ma mentre nella prima varietà si è distinto da entrambi gli altri trattamenti, in *Spoppo* è stato equiparabile al controllo, distinguendosi esclusivamente dal trattamento in blu. Ciò è coerente con quanto riportato in letteratura scientifica, infatti, è stato appurato che la luce rossa e talvolta il controllo abbiano un'influenza maggiore nello sviluppo dei corpi fruttiferi a differenza della luce blu che tende ad agire come repressore (De Bonis, 2024).

L'aumento del numero di corpi fruttiferi assume un'importanza in funzione al mercato di vendita del prodotto. Infatti, ad esempio, gli Stati Uniti d'America e l'Europa hanno dei comportamenti diversi. I primi prediligono tecniche colturali che favoriscono l'aumento della quantità e quindi il mercato associato ai funghi preferisce famiglie aventi una numerosità più rilevante di corpi fruttiferi. L'Europa al contrario si focalizza maggiormente sulla qualità e perciò i consumatori apprezzano funghi con meno corpi fruttiferi (Https⁵). Alla luce di ciò, i risultati di questo studio sono relativi; perché, se ad esempio, nel nostro mercato non viene ricercato un aumento dei corpi fruttiferi e quindi il fatto che rimangano invariati è un fattore positivo, qualora la vendita sia tarata negli USA non valgono le stesse conclusioni. Perciò, l'ipotesi che i trattamenti d'illuminazione LED con luce rossa possa aumentare il numero di corpi fruttiferi per famiglia, risulta positivo in prodotti per cui si prevede la commercializzazione in USA.

5.2.4 Diametro e spessore corpi fruttiferi

Il tipo di luce e la durata dell'esposizione influenzano lo sviluppo, il diametro e lo spessore del corpo fruttifero dei funghi (Siwulski et al., 2012) (Yue et al., 2022); nonostante ciò non è ancora chiaro quali trattamenti luminosi siano più efficienti. Infatti, in questo studio, pur avendo preso in esame due varietà molto simili che si distinguono sulla capacità di produrre spore o meno (Https⁶) i risultati sono stati molto diversi.

Per quanto riguarda il diametro dei corpi fruttiferi, in *P80* ci sono stati dei risultati quasi del tutto equivalenti tra la prima e la seconda volata riguardo alla differenza significativa dei risultati in relazione al trattamento luminoso applicato. Il controllo ha contribuito a cappelli di maggiore dimensione e in seconda volata il trattamento d'illuminazione LED in blu ha determinato un risultato intermedio tra l'attività del controllo e del trattamento in rosso. Alla luce di ciò quindi, da queste rilevazioni, non è possibile definire che il trattamento in blu abbia comportato un aumento del diametro, a differenza di quanto rilevato in altri studi come quello di Wang et al., (2020) che afferma come tale luce sia responsabile di un aumento della crescita del pileo. A favore di quanto riportato dallo stesso studio, invece, è possibile confermare come la luce rossa tenda ad inibire lo sviluppo del

Https⁵ <https://www.newfoodmagazine.com/>

Https⁶ <https://www.wur.nl/>

cappello. Nella varietà *Spoppo*, invece, è possibile affermare che la luce blu abbia influenzato positivamente l'aumento del diametro dei cappelli poiché sono state rilevate delle differenze significative in entrambe le volate di produzione. Considerando che l'importanza di queste caratteristiche dipende dal mercato di vendita associato e considerando che in Europa si prediligono famiglie con meno corpi fruttiferi dalle dimensioni maggiori ([Https⁷](https://www.newfoodmagazine.com/)) si può pensare che la luce blu possa essere importante per i prodotti destinati a questo mercato.

Anche lo spessore dei funghi, dipendentemente dal trattamento luminoso applicato, ha dato dei risultati contrastanti tra varietà e volata di produzione.

In *P80* non è possibile affermare che i trattamenti d'illuminazione LED abbiano comportato un aumento dello spessore dei cappelli rispetto a quelli del controllo, perché, benchè questo sia avvenuto in prima volata, in seconda volata il trend è risultato invertito.

Anche per la varietà *Spoppo*, in prima volata, ci sono stati dei risultati a favore della rilevazione di un aumento dello spessore dei corpi fruttiferi nei campioni sottoposti a trattamento d'illuminazione a LED. Purtroppo, anche in questo caso il trend del trattamento in rosso si è invertito in seconda volata; il blu è rimasto inalterato, ma i risultati del controllo possono essere parzialmente equiparabili allo stesso. I risultati ottenuti si discostano ulteriormente dallo studio di De Bonis et al., (2024), che non ha rilevato differenze significative tra alcun trattamento d'illuminazione; nonostante ciò, questi risultati contrastanti permettono comunque di mantenere il dubbio in merito all'ipotesi che i trattamenti d'illuminazione LED possano davvero influenzare lo spessore.

5.3 Analisi qualitative

5.3.1 Colore: valori L^* , a^* , b^*

Il parametro di maggiore interesse riguardante il colore è stato L^* , ovvero la luminosità.

I trattamenti a luce LED, dipendentemente dalla lunghezza d'onda della lampada, tendono a contribuire all'ottenimento di valori di L^* più bassi rispetto alla luce naturale (Im et al., 2024).

Come si può vedere dai risultati sono emerse delle differenze significative in associazione a tutti e tre i trattamenti luminosi applicati. In particolar modo, in entrambe le volate di entrambe le varietà, i valori più alti sono stati riscontrati nel controllo e quelli più bassi nel trattamento a luci blu. La pigmentazione più scura ottenuta dal trattamento d'illuminazione LED blu è dovuta ad un aumento dell'attività enzimatica della tirosinasi che comporta per l'appunto la liberazione di composti dal colore più scuro (Cetin et al., 2024). Questi valori si traducono visivamente nel colore che può essere confrontato nella colonna RGB dei risultati: avendo dei valori più alti di luminosità, i funghi del

[Https⁷ https://www.newfoodmagazine.com/](https://www.newfoodmagazine.com/)

controllo, hanno una colorazione più chiara rispetto ai funghi ottenuti dagli altri trattamenti luminosi. In figura 31 è possibile notare le differenze di colore sul pigmento dei funghi effettivi. Quello a sinistra deriva dal trattamento a luci LED blu che hanno comportato valori di L^* più bassi e infatti essendo la luminosità rilevata più bassa rispetto agli altri trattamenti la colorazione è più scura; a destra il fungo trattato con luci LED rosse, con valori di L^* intermedi tra il trattamento in blu ed il controllo ed una colorazione più chiara rispetto all'altro fungo, dovuta ad una rilevazione della luminosità maggiore. In questo caso, quindi, è possibile affermare che i trattamenti d'illuminazione LED comportano un aumento della pigmentazione dei funghi, soprattutto per quanto riguarda il trattamento in blu. Ad identificare l'importanza di questa dimostrazione è uno studio eseguito da Oh et al., (2024), dove è stato svolto un consumer test con 100 individui della popolazione della Corea del Sud. In tale test venivano poste a confronto diverse specie di *Pleurotus*, ed era richiesto di esprimere il proprio parere su più caratteristiche qualitative. *Pleurotus ostreatus* ha ottenuto il punteggio più alto tra tutti i parametri, tra cui il colore. Dato che le altre specie presentavano delle tonalità di colore più chiare e sui toni del giallo è possibile ipotizzare che la sua tipica pigmentazione bruno-grigiastra sia preferita e che più intensa sia più venga apprezzato il prodotto.



Figura 31. Effetto di diversi trattamenti luminosi sul colore dei corpi fruttiferi in varietà *P. ostreatus* Spoppo. A sx il prodotto derivante dal trattamento a luci LED blu, a dx il prodotto derivante dal trattamento a luci LED rosse.

Per quanto riguarda gli altri parametri relativi al colore, nella varietà *P80*, i valori associati ad a^* hanno presentato delle differenze statisticamente significative in seconda volata tra tutti e tre i trattamenti luminosi applicati e anche nella varietà *Spoppo* sono emerse delle differenze in seconda volata ma solo tra il trattamento in blu in funzione degli altri due trattamenti. Questo evidenzerebbe la presenza di toni di colore più rossi nella pigmentazione dei corpi fruttiferi nel trattamento d'illuminazione blu rispetto agli altri. Ciò è stato riscontrato anche in altri studi come quello di Cetin et al., (2024).

Per il parametro b^* in *P80*, in prima volata, sono state rilevate delle differenze significative tra tutti e tre i gruppi in analisi, mentre in seconda volata non è stato possibile rilevarle nuovamente tra il controllo e il blu, ma solo in funzione del rosso. Infine, in *Spoppo*, solo in prima volata sono state rilevate differenze statisticamente significative tra tutti i trattamenti. I valori maggiori sono stati riscontrati nel controllo e quindi non è possibile affermare che i trattamenti LED abbiano incrementato le sfumature di colore giallo che di norma tendono ad incrementare nei trattamenti post-raccolta (Cetin et al., 2024).

5.3.2 EC, pH, solidi solubili, acidità titolabile

Per quanto riguarda la varietà *P80* per i valori di EC, pH, solidi solubili e acidità titolabile non sono risultate differenze statisticamente significative tra nessun trattamento luminoso applicato e in nessuna volata di produzione. Inoltre, in particolare, i risultati di pH e solidi solubili sono equiparabili a quelli riconosciuti dall'Associazione Italiana Fungicoltori, ottenuti attraverso la collaborazione del dipartimento DAFNAE dell'Università di Padova, Veneto Agricoltura e la Regione Veneto (Https⁸). Per quanto riguarda la varietà *Spoppo*, invece, solo in prima volata ci sono state delle differenze significative tra la conducibilità elettrica rilevata nei funghi ottenuti mediante trattamento LED rispetto a quelli del controllo; inoltre, anche per quanto riguarda i valori del pH ci sono state delle differenze significative tra tutti e tre i trattamenti. Non essendo più state rilevate queste differenze in seconda volata, non si può ipotizzare che i trattamenti LED abbiano influenzato effettivamente i risultati ottenuti. Anche in questo caso per quanto riguarda i valori di pH e conducibilità elettrica, possono essere confrontati con quelli riscontrati da Hoa et al., (2015).

5.3.3 Texture

Per valutare la texture dei funghi sono stati presi in considerazione solo quelli ottenuti dai trattamenti a LED. Per quanto riguarda la varietà *P80* i parametri che hanno mostrato delle differenze significative sono stati la gommosità, la masticabilità e la durezza. I primi due parametri si sono differenziati rispetto al trattamento luminoso applicato solo in prima volata e perciò non è possibile definire alcuna ipotesi soddisfacente. Per quanto concerne la durezza, invece, la differenza significativa tra il trattamento in blu e quello in rosso si è resa evidente anche in seconda volata. Da ciò è possibile ipotizzare che, essendo i valori di tale parametro maggiori nel trattamento in blu, sia necessaria un'ulteriore maggiore forza per provocare la rottura dei tessuti dei funghi derivati da tale trattamento, e che quindi quello in rosso favorisca l'ottenimento di prodotti dalla texture più morbida e più soddisfacente al palato dei consumatori. Tali rilevazioni sono state fatte su peso fresco del

Https⁸ <http://www.lafavoritass.it/>

prodotto, perciò, è necessario eseguire un confronto con dati di funghi sottoposti a trattamento termico prima dell'assunzione. Con la cottura i funghi tendono a perdere una quota considerevole di acqua acquisendo perciò una consistenza più dura; dai dati confrontati con lo studio di Kortei et al., (2020) dove è stato preso in considerazione il fungo cotto a vapore, emerge che questi ultimi hanno dei valori relativi alla durezza di circa il doppio rispetto a quelli misurati nel nostro esperimento. Dato che in cottura la perdita di acqua può arrivare al 50%, i risultati sono coerenti con quanto definito dalla letteratura scientifica per funghi coltivati a luce naturale. Si può quindi ipotizzare che il trattamento d'illuminazione LED in rosso possa influenzare la morbidezza del prodotto al di là del solo confronto con il trattamento in blu.

Nella varietà *Spoppo*, contrariamente a quanto avvenuto per il *P80*, ci sono state delle differenze significative solo per i parametri di gommosità e masticabilità ma solamente in seconda volata. Anche in questo caso, come nel precedente, non è possibile ipotizzare nulla nello specifico; ma unendo i due studi è possibile valutare come, coerentemente a quanto si poteva prevedere, i valori del trattamento in blu sono maggiori rispetto a quelli in rosso e i risultati concordano con l'ipotesi della maggiore durezza dei prodotti derivanti dal trattamento in blu. Infatti, come risaputo, la gommosità indica l'energia necessaria alla completa rottura del cibo semisolido mentre la masticabilità l'energia necessaria al masticamento sufficiente a consentire la deglutizione dello stesso; e questi valori risultano maggiori nel trattamento in blu.

5.3.4 Antiossidanti e polifenoli totali

In merito al contenuto nutrizionale sono stati misurati i valori di antiossidanti e polifenoli totali. Gli antiossidanti sono delle molecole di fondamentale importanza perché svolgono un ruolo essenziale nella salute umana riducendo il danno dello stress ossidativo generato dalla formazione di radicali liberi; che può comportare l'ossidazione di biomolecole, l'invecchiamento cellulare, mutazioni del DNA e cancerogenità (Gąsecka et al., 2016). I polifenoli sono una categoria di antiossidanti e rappresentano la frazione più preponderante riscontrata nella composizione del genere *Pleurotus* (El-Enshasy et al., 2018).

In base ai dati ottenuti da questo studio sono emerse delle differenze significative in relazione al trattamento luminoso applicato, per entrambi i parametri e in entrambe le varietà. Sia nella varietà *P80* che *Spoppo* è stato valutato come i trattamenti d'illuminazione LED abbiano incrementato la concentrazione di antiossidanti presenti, ciò permette di avanzare l'ipotesi per cui tali trattamenti svolti in pre-raccolta aumenterebbero questo aspetto qualitativo del prodotto rispetto a quello ottenuto mediante coltivazione con luce naturale. Questo tipo di coltivazione, perciò, permetterebbe di ottenere

dei prodotti con una concentrazione maggiore di antiossidanti e quindi contribuire, a parità di razione assunta, ad un'assunzione più elevata di tali sostanze.

Per quanto concerne il contenuto di polifenoli totali sono state riscontrate delle differenze significative solo nella varietà *Spoppo* e non *P80*. Nello specifico sarebbe stato rilevato un aumento della concentrazione di polifenoli totali dai funghi derivati dal trattamento d'illuminazione LED in blu. Questo è un risultato promettente, perché compatibilmente con quanto riscontrato in precedenza con la rilevazione degli antiossidanti, avvalorerebbe la tesi mediante la quale il trattamento LED siano in grado di incrementare la concentrazione di tali costituenti. Oltretutto, permetterebbe la valutazione della preferenza circa il trattamento in blu che favorirebbe l'incremento della concentrazione della frazione di antiossidanti più rappresentativa di *Pleurotus ostreatus*. C'è da considerare, però, che i valori emersi da questo studio si distanziano da quelli di altri studi come quello di Rahimah et al., (2019) i cui risultati medi di polifenoli totali rilevati in condizioni normali sono stati 6.670 mg GAE kg⁻¹ ps rispetto ai valori medi del nostro studio che raggiungevano al massimo il valore di 751,15 mg GAE kg⁻¹ ps. Questa differenza in realtà non è anomala perché può essere imputata al fatto che talvolta ci siano altri fattori che ostacolano la corretta determinazione dei polifenoli come, ad esempio, la loro complessità strutturale o ancora dall'interferenza generata da alcune sostanze (come acido ascorbico, acidi organici, sostanze organiche non fenoliche, ammine aromatiche, zuccheri) che possono reagire con il reattivo utilizzato nel metodo (Pistocchi et al., 2014).

6. Considerazioni finali

In questa prova sperimentale sono stati valutati gli effetti di due diversi trattamenti d'illuminazione LED (a 450 nm e a 610 nm) in pre-raccolta, sulle caratteristiche morfoponderali e qualitative di due diverse varietà di fungo *Pleurotus ostreatus*: *P80* e *Spoppo*.

In entrambe le varietà in termini morfoponderali è stato riscontrato, per ciascuna volata di produzione, un aumento della resa normalizzata nei sacchi sottoposti ad entrambi i trattamenti d'illuminazione LED. Facendo una media delle due volate di produzione, in *P80* la produzione è stata circa il 56% maggiore rispetto al controllo mentre per *Spoppo*, circa del 62%. A livello qualitativo, invece, sempre per entrambe le varietà ed entrambe le volate di produzione sono emerse delle differenze significative circa il colore dei funghi: la luce naturale ha influito su una pigmentazione più chiara del prodotto, il trattamento con luce rossa ha donato una colorazione più scura ed il trattamento a luce blu si è dimostrato quello più efficace per una colorazione molto più intensa. Inoltre, anche il livello di antiossidanti è incrementato con l'utilizzo dei trattamenti d'illuminazione LED.

Le singole varietà, invece, hanno dato risultati diversi in termini di numero di corpi fruttiferi per famiglia, diametro e spessore degli stessi, contenuto di polifenoli totali e texture. La varietà *Spoppo* si è distinta nel diametro dei corpi fruttiferi dei funghi derivanti dal trattamento in blu, che in entrambe le volate ha ottenuto differenze significative rispetto agli altri trattamenti, e anche nello spessore ha ottenuto dei risultati promettenti con entrambi i trattamenti d'illuminazione LED; inoltre, sempre nei funghi sottoposti a trattamento con illuminazione LED blu c'è stato un aumento significativo del contenuto di polifenoli totali. Nella varietà *P80* il parametro di durezza della texture è risultato minore nei funghi derivanti dal trattamento in rosso rispetto a quelli in blu e questo si traduce in una maggiore morbidezza da parte del prodotto.

L'unico parametro che non ha comportato differenze significative per alcuna varietà e volata di produzione, in relazione al trattamento luminoso applicato è stato il numero di famiglie per sacco.

Per alcuni parametri i risultati sono stati più chiari rispetto ad altri, ma in ogni caso questo esperimento ha confermato l'influenza dei diversi trattamenti di illuminazione LED applicati in pre-raccolta nella modificazione di alcune caratteristiche e nell'implementazione di aspetti positivi nel prodotto finito.

Considerando quanto emerso in questo studio si può ipotizzare come la coltivazione di una varietà come *Spoppo* che non produce spore e quindi non rappresenta un problema per le vie aeree dei coltivatori, se sottoposta a trattamenti di illuminazione LED, può dare dei risultati migliori rispetto al trattamento con luce naturale, sia in termini di resa produttiva che dimensione del corpo fruttifero e colore.

Dati questi risultati promettenti si rinnova l'interesse ad eseguire ulteriori studi a riguardo per poter raccogliere un bacino di dati maggiori tali da garantire l'accuratezza dei valori ottenuti e delle ipotesi definite, non solo con *Pleurotus ostreatus* ma anche altre specie.

Bibliografia

- Abdullah, S. N. F., Yusoff, H., Koay, M. H., Budin, S., & Sh Abdul Nasir, S. M. F. (2023). Effects of various LED light colours on yield and physical characteristics of white oyster mushrooms. *ESTEEM Academic Journal*, *19*, 23-36.
- Agarwal, S., Kushwaha, A., Verma, V., & Singh, M. P. (2017). Nutritional attributes of *Pleurotus mushroom*. *Incredible World of Biotechnology*. Nova Science Publishers, Inc, 13-24.
- Aghajani, H., Bari, E., Bahmani, M., Humar, M., Ghanbary, M. A. T., Nicholas, D. D., & Zahedian, E. (2018). Influence of relative humidity and temperature on cultivation of *Pleurotus* species. *Maderas. Ciencia y tecnología*, *20*(4), 571-578.
<https://doi.org/10.4067/S0718-221X2018005004501>
- Baars, J. J. P., Sonnenberg, A. S., Mikosch, T. S. P., & Van Griensven, L. J. L. D. (2000). Development of a sporeless strain of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Science and Cultivation of Edible Fungi Ed. LJLD van Griensven*, *1*, 317-323.
- Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Maccari, A. J., & Ribani, R. H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *26*(4), 633-646.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
- Bijla, S. (2023). Status of mushroom production: Global and national scenario. *Mushroom Research*, *32*(2).
<https://doi.org/10.36036/MR.32.2.2023.146647>
- Cardwell, G., Bornman, J. F., James, A. P., & Black, L. J. (2018). A review of mushrooms as a potential source of dietary vitamin D. *Nutrients*, *10*(10), 1498.
<https://doi.org/10.3390/nu10101498>
- Cetin, M., Atila, F., Sen, F., & Yemen, S. (2024). The effect of different LED wavelengths used in the cultivation of *Pleurotus ostreatus* on quality parameters of the mushroom during the storage process. *Scientia Horticulturae*, *336*, 113422.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113422>
- De Bonis, M., Locatelli, S., Sambo, P., Zanin, G., Pecchia, J. A., & Nicoletto, C. (2024). Effect of Different LED Light Wavelengths on Production and Quality of *Pleurotus ostreatus* Grown on Different Commercial Substrates. *Horticulturae*, *10*(4), 349.

<https://doi.org/10.3390/horticulturae10040349>

- De Cianni, R., Varese, G. C., & Mancuso, T. (2023). A Further Step toward Sustainable Development: The Case of the Edible Mushroom Supply Chain. *Foods*, 12(18), 3433. <https://doi.org/10.3390/foods12183433>
- De Souza, D. F., Da Silva, M. D. C. S., De Souza, T. C., Rocha, G. C., Kasuya, M. C. M., & Eller, M. R. (2023). Effect of selenium-enriched substrate on the chemical composition, mineral bioavailability, and yield of edible mushrooms. *Biological Trace Element Research*, 201(6), 3077-3087. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03396-z>
- Dimopoulou, M., Kolonas, A., Mourtakos, S., Androutsos, O., & Gortzi, O. (2022). Nutritional composition and biological properties of sixteen edible mushroom species. *Applied Sciences*, 12(16), 8074. <https://doi.org/10.3390/app12168074>
- Effiong, M. E., Umeokwochi, C. P., Afolabi, I. S., & Chinedu, S. N. (2024). Assessing the nutritional quality of *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom). *Frontiers in Nutrition*, 10, 1279208. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1279208>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2016). Dietary reference values for vitamin D. *EFSA journal*, 14(10), e04547. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4547>
- El-Enshasy, H. A., Selvamani, S., Dailin, D. J., Abd Malek, R., Hanapi, S. Z., Ambehatabi, K. K., Sukmawati, D., Leng, O. M., & Moloi, N. (2018). Antioxidant compounds of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus*. *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, 7, 1-14. <https://doi.org/10.6000/1927-3037.2018.07.01>
- Feng, Y., Xu, H., Sun, Y., Xia, R., Hou, Z., Li, Y., Wang, Y., Pan, S., Li, L., Zhao, C., Ren, H., & Xin, G. (2023). Effect of light on quality of preharvest and postharvest edible mushrooms and its action mechanism: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 104119. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104119>
- Ferraro, V., Venturella, G., Pecoraro, L., Gao, W., & Gargano, M. L. (2022). Cultivated mushrooms:

Importance of a multipurpose crop, with special focus on Italian fungiculture. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 156(1), 130-142.

<https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1837283>

Fufa, B. K., Tadesse, B. A., & Tulu, M. M. (2021). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on agricultural wastes and their combination. *International Journal of Agronomy*, 2021(1), 1465597.

<https://doi.org/10.1155/2021/1465597>

Gąsecka, M., Mleczek, M., Siwulski, M., & Niedzielski, P. (2016). Phenolic composition and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* enriched with selenium and zinc. *European Food Research and Technology*, 242, 723-732.

<https://doi.org/10.1007/s00217-015-2580-1>

Girmay, Z., Gorems, W., Birhanu, G., & Zewdie, S. (2016). Growth and yield performance of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm (oyster mushroom) on different substrates. *Amb Express*, 6, 1-7.

<https://doi.org/10.1186/s13568-016-0265-1>

Grimm, D., & Wösten, H. A. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied microbiology and biotechnology*, 102, 7795-7803.

<https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>

Hoa, H. T., Wang, C. L., & Wang, C. H. (2015). The effects of different substrates on the growth, yield, and nutritional composition of two oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology*, 43(4), 423-434.

<https://doi.org/10.5941/MYCO.2015.43.4.423>

Hu, Y., Xue, F., Chen, Y., Qi, Y., Zhu, W., Wang, F., Wen, Q., & Shen, J. (2023). Effects and Mechanism of the Mycelial Culture Temperature on the Growth and Development of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. *Horticulturae*, 9(1), 95.

<https://doi.org/10.3390/horticulturae9010095>

Im, J. H., Park, C. H., Shin, J. H., Oh, Y. L., Oh, M., Paek, N. C., & Park, Y. J. (2024). Effects of Light on the Fruiting Body Color and Differentially Expressed Genes in *Flammulina velutipes*. *Journal of Fungi*, 10(6), 372.

<https://doi.org/10.3390/jof10060372>

Irshad, A., Tahir, A., Sharif, S., Khalid, A., Ali, S., Naz, A., Sadia, A., & Ameen, A. (2023).

Determination of Nutritional and Biochemical Composition of Selected *Pleurotus* spp. *BioMed Research International*, 2023(1), 8150909.

<https://doi.org/10.1155/2023/8150909>

Jang, K. Y., Jhune, C. S., Park, J. S., Cho, S. M., Weon, H. Y., Cheong, J. C., Choie, S. G., & Sung, J. M. (2003). Characterization of fruitbody morphology on various environmental conditions in *Pleurotus ostreatus*. *Mycobiology*, 31(3), 145-150.

<https://doi.org/10.4489/MYCO.2003.31.3.145>

Kortei, N. K., Odamtten, G. T., Obodai, M., Akonor, P. T., Wiafe-Kwagyan, M., Buckman, S., & Mills, S. W. N. O. (2020). Sensory evaluation, descriptive textural analysis, and consumer acceptance profile of steamed gamma-irradiated *Pleurotus ostreatus* (Ex. Fr.) Kummer kept in two different storage packs. *Scientific African*, 8, e00328.

<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00328>

Lal, M. K., Kumar, A., Kardile, H. B., Raigond, P., Changan, S. S., Thakur, N., Dutt, C., Tiwari, R. K., Nishant, K., Kumar, C. D., & Singh, B. (2020). Biofortification of vegetables. *Advances in agri-food biotechnology*, 105-129.

https://doi.org/10.1007/978-981-15-2874-3_5

Leong, Y. K., Ma, T. W., Chang, J. S., & Yang, F. C. (2022). Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): A review. *Bioresource technology*, 344, 126157.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126157>

Lesa, K. N., Khandaker, M. U., Mohammad Rashed Iqbal, F., Sharma, R., Islam, F., Mitra, S., & Emran, T. B. (2022). Nutritional Value, Medicinal Importance, and Health-Promoting Effects of Dietary Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Quality*, 2022(1), 2454180.

<https://doi.org/10.1155/2022/2454180>

Maffi, G. (2011). L'Italia delle fungaie: storia di coltivatori e coltivazioni [Italy of the mushroom farms]. AIF Informa Ed. Italian.

Obodai, M., Cleland-Okine, J., & Vowotor, K. A. (2003). Comparative study on the growth and yield of *Pleurotus ostreatus* mushroom on different lignocellulosic by-products. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 30(3), 146-149.

<https://doi.org/10.1007/s10295-002-0021-1>

Oh, M., Ju, J. H., & Ju, S. (2024). What Are the Sensory Attributes Associated with Consumer

- Acceptance of Yellow Oyster Mushrooms (*Pleurotus citrinopileatus*)?. *Foods*, 13(13), 2061.
<https://doi.org/10.3390/foods13132061>
- Osunde, M. O. (2019). Effect of Carbon-Nitrogen ratios of lignocellulosic substrates on the yield of mushroom (*Pleurotus pulmonarius*). *Open Access Library Journal*, 6(10), 1.
<https://doi.org/10.4236/oalib.1105777>
- Oyetayo, V. O., Ogidi, C. O., Bayode, S. O., & Enikanselu, F. F. (2021). Evaluation of biological efficiency, nutrient contents and antioxidant activity of *Pleurotus pulmonarius* enriched with Zinc and Iron. *Indian Phytopathology*, 74, 901-910.
<https://doi.org/10.1007/s42360-021-00410-7>
- Pellegrino, R. M., Blasi, F., Angelini, P., Ianni, F., Alabed, H. B., Emiliani, C., Venanzoni, R., & Cossignani, L. (2022). LC/MS Q-TOF metabolomic investigation of amino acids and dipeptides in *Pleurotus ostreatus* grown on different substrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(33), 10371-10382.
<https://doi.org/0000-0003-4293-3100>
- Pistocchi, R., Calfapietra, A., & Sanz, C. P. (2014). Determinazione del contenuto polifenolico e dell'attività antiossidante in estratti dell'alga bruna *Fucus vesiculosus*.
- Qi, Y., Zhang, R., Zhang, M., Wen, Q., & Shen, J. (2021). Effects of exogenous ascorbic acid on the mycelia growth and primordia formation of *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Basic Microbiology*, 61(8), 736-744.
<https://doi.org/10.1002/jobm.202100143>
- Rahimah, S. B., Djunaedi, D. D., Soeroto, A. Y., & Bisri, T. (2019). The phytochemical screening, total phenolic contents and antioxidant activities in vitro of white oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) preparations. *Open access Macedonian journal of medical sciences*, 7(15), 2404.
<https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.741>
- Rahman, M. S. (2005). Dried food properties: challenges ahead. *Drying Technology*, 23(4), 695-715.
<https://doi.org/10.1081/DRT-200054176>
- Raman, J., Jang, K. Y., Oh, Y. L., Oh, M., Im, J. H., Lakshmanan, H., & Sabaratnam, V. (2021). Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: an overview. *Mycobiology*, 49(1), 1-14.
<https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1835142>
- Riaz, S., Ahmad, A., Farooq, R., Ahmed, M., Shaheryar, M., & Hussain, M. (2022). Edible

mushrooms, a sustainable source of nutrition, biochemically active compounds and its effect on human health. In *Current topics in functional food*. IntechOpen.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.102694>

Rzymiski, P., Mleczek, M., Niedzielski, P., Siwulski, M., & Gąsecka, M. (2017). Cultivation of *Agaricus bisporus* enriched with selenium, zinc and copper. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), 923-928.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.7816>

Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied microbiology and biotechnology*, 85, 1321-1337.

<https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>

Shah, Z. A., Ashraf, M., & Ishtiaq, M. (2004). Comparative study on cultivation and yield performance of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on different substrates (wheat straw, leaves, saw dust). *Pakistan Journal of Nutrition*, 3(3), 158-160.

<https://doi.org/10.3923/pjn.2004.158.160>

Sharma, S., Yadav, R. K. P., & Pokhrel, C. P. (2013). Growth and yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on different substrates. *Journal on New Biological Reports*, 2(1), 03-08.

Singh, M., Kamal, S., & Sharma, V. P. (2020). Status and trends in world mushroom production-III-World Production of different mushroom species in 21st century. *Mushroom Research*, 29(2).

<https://doi.org/10.36036/MR.29.2.2020.113703>

Siwulski, M., Ziombra, M., & Sobieralski, K. (2012). Impact of light on yielding of some *Pleurotus* sp. strains. *Acta Mycologica*, 47(1).

Taofiq, O., Fernandes, A., Barros, L., Barreiro, M. F., & Ferreira, I. C. (2017). UV-irradiated mushrooms as a source of vitamin D2: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 70, 82-94.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.008>

Tesfaw, A., Tadesse, A., & Kiros, G. (2015). Optimization of oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushroom cultivation using locally available substrates and materials in Debre Berhan, Ethiopia. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 3(1), 15-20.

<https://doi.org/10.7324/JABB.2015.3103>

Tiwari, A., Singh, G., Singh, U., Sapra, L., Rana, V., Sharma, V., Srivastava, R. K., & Sharma, S.

(2022). Edible mushrooms: The potential game changer in alleviating vitamin D deficiency and improving human health. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(3), 1367-1377.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.15410>

Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., & Paredes-López, O. (2015). Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. *International journal of microbiology*, 2015(1), 376387.

<https://doi.org/10.1155/2015/376387>

Wang, H., Tong, X., Tian, F., Jia, C., Li, C., & Li, Y. (2020). Transcriptomic profiling sheds light on the blue-light and red-light response of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Amb Express*, 10, 1-10.

<https://doi.org/10.1186/s13568-020-0951-x>

Wiesnerová, L., Hřebečková, T., Jablonský, I., & Koudela, M. (2023). Effect of different water contents in the substrate on cultivation of *Jacq. P. Kumm. Folia Horticulturae*, 35(1), 25-31.

<https://doi.org/10.2478/fhort-2023-0002>

Xiong, S., Martín, C., Eilertsen, L., Wei, M., Myronycheva, O., Larsson, S. H., Torbjörn, A. L., Atterhem, L., & Jönsson, L. J. (2019). Energy-efficient substrate pasteurisation for combined production of *shiitake* mushroom (*Lentinula edodes*) and bioethanol. *Bioresource Technology*, 274, 65-72.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.071>

Yue, Z., Zhang, W., Liu, W., Xu, J., Liu, W., & Zhang, X. (2022). Effect of Different Light Qualities and Intensities on the Yield and Quality of Facility-Grown *Pleurotus eryngii*. *Journal of Fungi*, 8(12), 1244.

<https://doi.org/10.3390/jof8121244>

Zawadzka, A., Janczewska, A., Kobus-Cisowska, J., Dziędziński, M., Siwulski, M., Czarniecka-Skubina, E., & Stuper-Szablewska, K. (2022). The effect of light conditions on the content of selected active ingredients in anatomical parts of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.). *Plos one*, 17 (1).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262279>

Zhang, Y., Dong, Y., Wang, P., Zhu, P., Li, Y., Lai, Y., Liu, J., & Liu, Q. (2023). Cauliflower-shaped

Pleurotus ostreatus cultivated in an atmosphere with high environmental carbon dioxide concentration. *Mycologia*, 115(1), 153-163.

<https://doi.org/10.1080/00275514.2022.2149013>

Sitografia

Https¹: “Processed & Frozen foods: Mushroom Market Size & Analysis Report, 2022-2030”, Grand View Research.

<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/mushroom-market>

(ultima consultazione 29/10/2024)

Https²: “Glossario illustrato A.M.I.N.T.”, Enciclopedia Micologica, 13/02/2022.

<https://enciclopedia.funghiitaliani.it/termine.php?show=1510>

(ultima consultazione 29/10/2024)

Https³: “Schedario *Pleurotus ostreatus*”, Gruppo Micologico Castellano, 23/09/2019.

https://www.gruppomicologicocastellano.it/schedario/pleurotus_ostreatus.pdf

(ultima consultazione 29/10/2024)

Https⁴: “New sporeless oyster mushrooms”, Wageningen University & Research.

<https://www.wur.nl/en/article/new-sporeless-oyster-mushrooms.htm>

(ultima consultazione 29/10/2024)

Https⁵: “Why is mushroom growing in the US and Europe different?”, New Food, 20/05/2022

<https://www.newfoodmagazine.com/article/165063/why-is-mushroom-growing-in-the-us-and-europe-different/>

(ultima consultazione 10/11/2024)

Https⁶: “New sporeless oyster mushrooms”, Wageningen University & Research.

<https://www.wur.nl/en/article/new-sporeless-oyster-mushrooms.htm>

(ultima consultazione 4/11/2024)

Https⁷: “Why is mushroom growing in the US and Europe different?”, New Food, 20/05/2022

<https://www.newfoodmagazine.com/article/165063/why-is-mushroom-growing-in-the-us-and-europe-different/>

(ultima consultazione 10/11/2024)

Https⁸: “Caratterizzazione qualitativa dei funghi coltivati: *Pleurotus*”, Giornale 2 bis AIF, 15/04/2015.

<http://www.lafavoritass.it/pleurotus.pdf>

(ultima consultazione 4/11/2024)

