

Die Schatztruhe des Zunderschwamms (*Fomes fomentarius*): die Zellwände



Ein faszinierendes E-Book über
das medizinische Potenzial des
Zunderschwamms von:

Dr. rer. nat. Liudmila Kalitukha

Vorwort

Dieses E-Book ist aus Liebe und Leidenschaft zur Naturheilkunde entstanden.

Wir bedanken uns sehr herzlich bei der Autorin, Dr. Liudmila Kalitukha, und der Familie Lexut, die ihre wertvolle Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Vitalpilze seit Jahren großzügig fördert.

Die Schatztruhe des Zunderschwamms (Fomes fomentarius): die Zellwände

Aus den Fruchtkörpern des Zunderschwamms können wasserunlösliche faserige Zellwände gewonnen werden, die hauptsächlich aus β -Glucanen, Polyphenolen und Chitin bestehen. Die vorliegende Übersicht fasst die Forschungsergebnisse und mögliche zugrundeliegende Mechanismen des medizinischen Potenzials dieses einheimischen Pilzes zusammen.

Zunderschwamm früher und heute

Der Baumpilz Zunderschwamm (lat: Fomes fomentarius) ist ein typischer Bewohner alter Laubwälder in Asien, Afrika, Nordamerika und Europa und ein wichtiger Teilnehmer am natürlichen Kreislauf des Waldes. Der Pilz befällt geschwächte Bäume und ernährt sich hauptsächlich vom braun gefärbten Lignin. Übrig bleibt dann die weiß gefärbte Zellulose. Auf diese Weise verursacht der Pilz die so genannte Weißfäule des Holzes. Die zähen, mehrjährigen, hufförmigen Fruchtkörper des Zunderschwamms können einen Durchmesser von bis zu 45 cm erreichen. Zwischen der oberen Kruste und der sporentragenden Unterseite befindet sich die faserige Tramaschicht [1, 2].

In der Vergangenheit wurde die Tramaschicht als Zunder verwendet, da sie in der Lage ist, über einen längeren Zeitraum zu glühen. Weitere Verwendungen umfassten rituelle Zwecke, die Herstellung von Kunstwerken wie Kleidung, Bilderrahmen, Ornamenten usw. sowie die Heilung verschiedener menschlicher Krankheiten. Die erste dokumentierte Anwendung geht auf die 5.300 Jahre alte Gletschermumie „Ötzi“ zurück [3]. Die nächste Erwähnung stammt aus dem 5. Jahrhundert v. Chr. von einem der berühmtesten Ärzte der Antike, Hippokrates. Er empfahl das Kauterisieren zur Heilung bestimmter Leiden. Dabei wurde glühender Zunder auf die Haut an der Außenseite des betroffenen Organs aufgetragen [4]. In der Volksmedizin wurde der Zunderschwamm welt-weit zur Behandlung verschiedener menschlicher Krankheiten wie Magen-Darm- und Leberbeschwerden, Entzündungen, verschiedener Krebsarten usw. verwendet [5–8]. Bis ins 19. Jahrhundert wurde der Zunderschwamm in Europa unter dem Namen Fungus chirurgorum (Wundschwamm) als blutstillender Verband für kleine Wunden verkauft. Der Extrakt des Pilzes wurde zur Schmerzlinderung bei Blasenstörungen, Dysmenorrhoe und Hämorrhoiden eingesetzt [8, 9].

Die erste Welle des wissenschaftlichen Interesses am Zunderschwamm in Europa begann 1974 mit der Entdeckung des Farbstoffs Fomentariol, der sich mit Kaliumhydroxid blutrot färbt [10]. Die Literaturrecherche zeigt, dass das Interesse am Zunderschwamm nicht nachgelassen hat, sondern sogar noch zunimmt. Es gibt mehrere wissenschaftliche Abhandlungen und Übersichten, die sich mit der Geschichte der Verwendung, der Taxonomie, der Zusammensetzung und dem medizinischen Potenzial des Zunderschwamms befassen [6, 7, 8, 11–15, 53].

Die verschiedenen Arten von Zunderschwammpräparaten umfassen gemahlene Fruchtkörper, verschiedene Extrakte (wässrig, ethanolisch, methanolisch usw.) und deren Fraktionen, isolierte Zellwände, Biomasse aus sub-mers kultivierten Myzelien sowie aus der Kulturbrühe gereinigte Verbindungen. Die vorliegende Übersicht befasst sich ausschließlich mit der Zusammensetzung und den Vorteilen der wasserunlöslichen Fasern (Zellwände), die aus den Fruchtkörpern des Zunderschwamms gewonnen werden.

Zellwände von Pilzen: Aufbau und Zusammensetzung

Die Struktur der meisten Pilzzellen ist komplex und besteht hauptsächlich aus kristallinen Chitin-Mikrofibrillen, die ein starres Gerüst bilden und mit anderen Polymeren wie Glucanen, Polyphenolen, Hemicellulose usw. vernetzt sind [16–18]. Die Zusammensetzung der Biopolymere variiert je nach Pilzart [18]. Der Chitingehalt variiert beispielsweise von 0,4 % bei *Hypsizygus tessulatus* bis zu 30 % der Trockenmasse bei *Fomitopsis pinicola* [19–23]. Der β -Glucan-Gehalt konnte bei *Agaricus bisporus* nur 8–12 % der Trockenmasse betragen und bei *Trametes versicolor* 60 % erreichen [24]. Wild wachsende Fruchtkörper des Zunderschwamms enthalten 25–38 % der Gesamtmenge an Glucanen, wovon die Mehrzahl β -Glucane sind, bis zu 30 % Polyphenole, etwa 6 % Chitin und weniger als 2 % Hemicellulose [19, 24, 25]. Die Nassreinigung bei erhöhter Temperatur könnte zu einer teilweisen Auswaschung bestimmter Verbindungen wie Lipide, Stärke usw. und zu einer Veränderung der Zusammensetzung führen. Die mild gereinigten Zellwände des Zunderschwamms (z.B. im Nahrungsergänzungsmittel Good Feeling Power®) enthielten etwa ein Drittel der Lipide, 25 % weniger melaninähnliche Substanzen, 15 % weniger Hemicellulose, aber etwa 25 % mehr β -Glucane und 15 % mehr Chitin im Vergleich zur Zusammensetzung der gemahlten Fruchtkörper [19].

Die schonende Aufreinigung trägt dazu bei, ein sicheres, nahezu geschmacksneutrales Produkt zu erhalten, das für den direkten Verzehr geeignet ist.

Durch eine starke alkalisch-saure Behandlung kann der Chitin-/Chitosangehalt auf 80 % ansteigen und der Glucangehalt auf 2,5 % senken [25]. Isolierte Zellwände des Zunderschwamms haben einen durchschnittlichen Durchmesser von 3–5 μm und eine Wanddicke von 0,2–1,5 μm [2, 3, 19, 25, 26]. Die faserige Struktur bleibt auch nach wiederholter alkalisch-saurer Behandlung erhalten [25, 27].

Bioaktivität struktureller Biopolymere

Die Bioaktivität der wichtigsten strukturellen Biopolymere der Zellwand des Zunderschwamms – β -Glucane, Polyphenole und Chitin – wird seit langem in verschiedenen Studien untersucht. Die immunmodulatorischen, antibakteriellen, antikanzerogenen und viele andere Eigenschaften der isolierten Pilzzellwände beziehen sich vor allem auf die Nicht-Stärke-Glucane [28]. Die höchste immunmodulatorische Aktivität wurde für hochmolekulare, unlösliche 1,3- β -Glucane mit 1,6-glykosidischen Verzweigungen nachgewiesen [29–31].

Neben dem Molekulargewicht und der Art der glykosidischen Verknüpfung ist auch die Konformation der Glucane (wie Einfach-, Doppel- oder Dreifachhelix) von Bedeutung. Bisher führen Einfachhelix oder leicht aufgelockerte Dreifachhelix zu einer erhöhten Makrophagenaktivierung [31–34].

Die Menge an Chitin (β -(1–4)-Poly-N-Acetyl-D-Glucosamin) in isolierten Zellwänden kann von Spuren bis zu signifikanten Mengen variieren, was einen zusätzlichen medizinischen Wert darstellt. Es wird vom menschlichen Immunsystem erkannt [18], kann die Wundheilung und die Regeneration der Haut beschleunigen [35–37] und zeigt schmerzstillende Wirkungen durch die Absorption von Bradykinin [38]. Eine Supplementierung mit Chitin-Glucan verbesserte den Fettstoffwechsel beim Menschen [39], bei fettleibigen Mäusen [40] und bei Hamstern [41], was auf eine potenziell positive Wirkung bei der Verringerung des Atheroskleroserisikos hinweist. Chitin-Glucan-Komplexe, die aus *Aspergillus niger* und *Mucor rouxii* isoliert wurden, wirken als antimikrobielle Wirkstoffe, die das Wachstum von *Salmonella typhimurium*, *Botrytis cinerea* und *Penicillium expansum* reduzieren [42]. Chitin, Chitosan und Chitin-Glucan-Komplexe können aufgrund ihrer Anti-Aging- und kosmetischen Eigenschaften in Haut- und Haarprodukten verwendet werden [43].

Einige Pilze, wie der Zunderschwamm, haben eine große Anzahl von Polyphenolen (Melanine, Lignine, Huminsäuren, andere Phenole) in ihre Zellwände eingebaut oder an diese gebunden [44–47]. Redox-aktive Poly-phenole können schnell und reversibel zwischen oxidiertem und reduziertem Zustand wechseln und sind für Pilze als Schutz gegen UV- und ionisierende Strahlung, Oxidationsmittel, enzymatische Lyse, extreme Temperaturen usw. von entscheidender Bedeutung. Es gibt zahlreiche Hinweise darauf, dass natürliche, schwerlösliche phenolische Verbindungen unter anderem antioxidative, entzündungshemmende und krebshemmende Wirkungen haben [48–52].



Medizinisches Potential der unlöslichen Zunderschwammfasern

Aufgrund des medizinischen Wertes der wichtigsten Strukturverbindungen – β -Glucan, Chitin und Polyphenole – wurde eine signifikante medizinische Aktivität der Zellwände des Zunderschwamms erwartet und durch zahlreiche Studien bestätigt. Die Zusammensetzungen und Wirkungen des kultivierten Myzels und der Kulturbrühe sowie verschiedener löslicher Extrakte sind nicht Gegenstand dieser Review und können dem Buchkapitel 2023 [53] entnommen werden.

Immunsystem

Viele der therapeutischen Wirkungen von Pilzen, wie z.B. ihre krebshemmende Wirkung, die Unterdrückung von Allergien und Autoimmunerkrankungen, werden mit ihren immunmodulierenden Effekten in Verbindung gebracht [71]. Den veröffentlichten Daten zufolge sind die unlöslichen Fasern des Zunderschwamms besonders bei sekundären Immunschwächen, die durch chronische Erkrankungen verursacht werden, von Nutzen. Dazu gehören untersuchte chronische Gastroduodenitis [55], chronische Hepatitis [57], Parodontalerkrankungen [61], zelluläre Th1/IFN- γ Immundefizienz [68], und sekundäre Immunschwäche nach der Geburt [58].

Es wird vermutet, dass sekundäre Immundefekte als Folge vieler Faktoren auftreten können, die das Immunsystem schwächen (z. B. Protein-Kalorien-Mangelernährung, chronische Krankheiten oder medizinische Behandlungen wie Chemotherapie oder immunsuppressive Therapie) [72]. Eine Fehlfunktion des Immunsystems wiederum erhöht die Anfälligkeit für wiederkehrende Infektionen. Die sekundäre Immunschwäche soll durch die Behandlung der Grunderkrankung behoben werden, was eine Herausforderung darstellen kann. Naturstoffe mit ihren vielfältigen Wirkungen können hier eine wichtige unterstützende Rolle spielen. Nach der Behandlung mit den unlöslichen Zunderschwammfasern wurde ex vivo im Blut der Hälfte der getesteten gesunden Probanden eine direkte Aktivierung von NK-Zellen und ein Anstieg von IFN- γ sowie eine Wiederherstellung von IFN- γ , IL-2 und IL-17 in einem Fall von Th1/IFN- γ -Immundefizienz beobachtet [68]. In einer anderen Ex-vivo-Studie waren die Anzahl der Phagozyten, T-Zellen und proliferativen Lymphozyten sowie die IL-1-Sekretion im peripheren Blut von Spendern mit chronischer Hepatitis, endogenem Intoxikationssyndrom und sekundärer Immunschwäche erhöht [57].

In der anschließenden klinischen Studie führte die Supplementierung zu einer Normalisierung der IL-1-, IgA-, IgG- und IgM-Spiegel sowie zu einer Wiederherstellung der Phagozyten- und T-Lymphozytenanzahl (CD3+ und CD4+). Gleichzeitig sanken die erhöhten Konzentrationen von Bilirubin, Alanin Aminotransferase, Aspartat-Transaminase und Globulin, und der Albuminspiegel und seine Transportfunktion verbesserten sich [57]. Ein ähnlicher Anstieg der T-Lymphozyten nach der Supplementierung wurde im Blut von Frauen mit bakteriellen Wundinfektionen und sekundärem Immundefekt nach der Geburt beobachtet [58]. In diesem Fall war die Anzahl der T-Lymphozyten um 30 % erhöht, einschließlich der T-Helfer (25 %) und T-Suppressoren (29 %).

Ein Mechanismus der immunmodulatorischen Wirkung von *F. fomentarius* umfasst hochkonservierte pathogenassoziierte molekulare Muster (highly conserved pathogen-associated molecular patterns, PAMPs) der β -1,3-Glucane. Die PAMPs werden von spezifischen Mustererkennungsrezeptoren (Dectin-1, CR3, TLRs usw.), die sich auf den Membranen von Makrophagen, Monozyten, dendritischen Zellen und NK-Zellen befinden, erkannt und gebunden.

Die Aktivierung der Rezeptoren löst die phagozytische Aktivität und die Produktion von Stickstoffmonoxid sowie die Sekretion von Zytokinen wie TNF- α , IFN- γ und verschiedenen Interleukinen (IL-6, IL-8, IL-12) aus und aktiviert zytotoxische T-Lymphozyten, T-Helferzellen und B-Zellen [73–74].

Chitin wirkt über mindestens drei Immunrezeptoren – NOD2, TLR9 und Mannose-Rezeptor – und kann je nach Partikelgröße, Konzentration, Anwesenheit von kostimulatorischen PAMPs usw. sowohl entzündungsfördernde als auch entzündungshemmende Reaktionen hervorrufen. Beispielsweise wirken geringe Konzentrationen kleiner Partikel über die Sekretion des Zytokins IL-10 entzündungshemmend. Eine Erhöhung der aufgetragenen Chitinmengen führte zu einer Abschwächung der Schutzmechanismen [18].

Es konnte gezeigt werden, dass sowohl pflanzliches als auch synthetisches Melanin über Toll-like-Rezeptoren (TLR2, TLR4), durch Modulation der Zytokinproduktion (TNF- α , IL-1 β , IL-6 und vaskulärer endothelialer Wachstumsfaktor) und Aktivierung des nukleären Faktors- κ B an der Immunantwort beteiligt ist [75].

Ansonsten können Melanine als Teil einer Überlebensstrategie dienen, um die Integrität der Pilzzellen unter ungünstigen Bedingungen aufrechtzuerhalten und die β -Glucane und Chitinmoleküle vor der Zerstörung durch Chitinase [76] oder der rezeptorvermittelten Erkennung durch die Immunzellen zu verbergen [18]. Aufgrund der günstigen Kombination der immunaktiven Biopolymere stellen die isolierten Zunderschwammfasern einen vielversprechenden Modifikator der Immunantwort dar, der sowohl das angeborene als auch das erworbene Immunsystem beeinflussen kann.



Wundheilung

Die präparierte innere Schicht der Fruchtkörper des Zunderschwamms wurde in großem Umfang als blutstillendes Mittel bei kleinen Wunden verwendet [8, 9]. Klinische Versuche an Patienten mit Wunden, Verbrennungen und unheilbaren trophischen Geschwüren (häufig bei Diabetikern) und infizierten Wunden nach der Geburt zeigten, dass die topische Anwendung der 2–3 mm dicken Schicht die Blutung stoppte, die Schmerzen linderte, Entzündungen und Eiterungen verhinderte und eitrige Wunden von *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* und *Proteus vulgaris* reinigte. Der Verband musste vor dem Wechsel nicht gewaltsam entfernt werden. Der frische Verband wurde einfach auf die Wunde gelegt, ohne sie zu stören. Der Heilungsprozess wurde erheblich beschleunigt, ohne dass sichtbare Narben zurückblieben [54, 58].

Biosorption (Entgiftung)

Im Gegensatz zur Bioakkumulation mittels lebender Zellen wird die Aufnahme durch nicht lebende Zellen als Biosorption oder passive Aufnahme bezeichnet. Die Biosorption ist energieunabhängig und erfolgt hauptsächlich durch verschiedene Wechselwirkungen wie physikalische Adsorption, Ionenaustausch, Komplexbildung, Ausfällung oder Einschluss in den Innenraum. In der Regel wird ein dynamisches Gleichgewicht zwischen reversibler Adsorption und Desorption aufrechterhalten [77].

In verschiedenen Studien konnten Zunderschwammfasern mit radioaktiven Isotopen oder Schwermetallen kontaminierte Lösungen und Schlämme reinigen [26, 27, 60, 65] und organische Farbstoffe absorbieren [70]. Zu den wichtigsten Sorptionsmechanismen gehören der chemische Ionenaustausch [26, 27, 65] und die Chelatbildung [26, 27]. Die bessere Absorption von kationischem Methyleneblau im Vergleich zu anionischem Kongorot sowie Zetapotentialmessungen deuten darauf hin, dass die negativ geladenen funktionellen Gruppen auf den Zellwandoberflächen der natürlich wachsenden Fruchtkörper stärker ausgeprägt sind [70].

Die Sorptionskapazitäten der Fruchtkörper des Zunderschwamms für Cd^{2+} betragen bis zu 8,91 mg/g [65] sowie 11,8 bzw. 2,2 mg/g für Methyleneblau bzw. Kongorot [70]. Die Sorptionskapazität für Neodym bzw. Blei stieg bei Verwendung des chitinhaltigen Materials „Mycoton“ auf bis zu 100 mg/g [27]. Modifiziert mit 1 % Kupferferrocyanid reduzierte das Sorptionsmittel die Radioaktivität von ^{137}Cs in verschiedenen Abfallarten um mehr als das 1.000-fache [26]. Die Sättigung mit ferromagnetischen Bestandteilen ermöglichte eine einfache Entfernung des Sorbens aus den kontaminierten Medien (Schlamm, Boden) mittels magnetischer Trenntechnik [27].

Im Vergleich zu konventionellen Sorbentien (Aktivkohle usw.) absorbierten Filter aus chitinhaltigen Materialien 3–5 mal mehr radioaktives anorganisches Jod und seine organischen Derivate aus Luft-Gas-Gemischen in Arbeitsräumen und Lagern für abgebrannte Brennelemente von Kernkraftwerken [64].

Kinetische Studien für radioaktives ^{239}Pu und ^{241}Am zeigten eine langsame Absorptionsrate, wobei das Gleichgewicht nach 120–150 Minuten Inkubation erreicht wurde. In diesem Fall, wie auch bei den Schwermetallen, wurde ein Chelatbildungsmechanismus vermutet [26, 27]. Im Fall von ^{90}Cs wurde das Gleichgewicht auf modifizierten Sorbentien innerhalb weniger Minuten erreicht, was möglicherweise auf den Ionenaustausch zurückzuführen ist [26, 27]. In einer anderen Veröffentlichung [60] wurde ein Absorptionsegleichgewicht für ^{233}U und ^{239}Pu innerhalb von 20 Minuten in 20 g/L Na_2SO_4 -Lösung bei pH 6,8 festgestellt. Die Dekontamination des Schlammes von Cs-, Ce- und Ru-Isotopen wiederum verlief aufgrund der begrenzten Austauschrate zwischen der festen Phase und der Lösung extrem langsam [27].

Es wurde vermutet, dass Leichtmetallionen (Li, K, Na, Ca usw.) in Konzentrationen von bis zu 400 g/L weder von den Pilzzellwänden absorbiert werden noch die Sorptionseigenschaften von Schwermetallen und Radionukliden beeinflussen [26, 27, 60].

So war beispielsweise die Absorption von ^{233}U und ^{241}Am aus Meerwasser (Salzgehalt 37 g/L, pH 6) immer noch durch hohe Verteilungskoeffizienten gekennzeichnet [27]. Darüber hinaus hatte eine Erhöhung der Natriumnitratkonzentration von 5 auf 400 g/L keinen großen Einfluss auf die Verteilungskoeffizienten von ^{137}Cs , verringerte jedoch diesen Parameter für ^{239}Pu , ^{241}Am und insbesondere für ^{90}Sr [60]. Die Sorption von ^{233}U , ^{239}Pu , ^{241}Am und ^{244}Cm in Lösungen mineralischer oder organischer Säuren war bei einem pH-Wert von 5–6 optimal und nahm bei einem pH-Wert unter 2 oder bei Säurekonzentrationen über 1 mol/L stark ab [26, 27, 60]. Die Biosorption radioaktiver Isotope kann an der anxiolytischen Wirkung der Zunderschwammfasern beteiligt sein. Die Supplementierung neutralisierte die Zunahme von Angst und phobischen Reaktionen, die bei Mäusen nach chronischer Exposition gegenüber niedrigen Dosen ionisierender Strahlung beobachtet wurden, die sich im Trinkwasser und im Grünfutter anreicherten, - ^{137}Cs (bis zu 2,2 kBq/kg in der BALB/c-Linie, 1,2 kBq/kg in C57BL/6) und ^{90}Sr (bis zu 1,4 kBq/kg in der BALB/c-Linie und 0,42 kBq/kg in C57BL/6) [67].

Stoffwechsel

Der unlösliche Chitin-Glucan-Melanin-Komplex aus *F. fomentarius* kann die Stoffwechselfparameter wesentlich verbessern. Die orale Supplementation milderte die Folgen akuter (1,9 Sv pro 4 Stunden) und chronischer (2,3 Sv pro 6 Monate) Gammastrahlung bei Mäusen, indem sie die Sterblichkeitsrate und die DNA-Einzelstrangbrüche in Lymphozyten, Milzzellen und Hepatozyten verringerte [63]. Darüber hinaus wurde bei Menschen, die in mit Radionukliden kontaminierten Gebieten lebten, eine 4–5fache Verringerung des Cs-Spiegels beobachtet [59]. Bei Menschen, die im zerstörten Block 4 des Kernkraftwerks Tschernobyl arbeiteten, wurden entzündungshemmende Wirkungen und eine Tendenz zur Normalisierung der anfänglich erhöhten Anzahl von Leukozyten, Lymphozyten, Eosinophilen und T-Zellen im peripheren Blut gemessen [59]. Es wird angenommen, dass die antioxidativen, entzündungshemmenden und immunmodulierenden Eigenschaften des Biopolymers an dieser Schutzwirkung beteiligt sind [59, 63].

Die Supplementation mit Zunderschwammfasern führte bei 20 Patienten mit chronischer Glomerulonephritis zu einer Verringerung der urämischen Toxine (Harnstoff und Kreatinin) und der B-Lymphozyten [54] und zu einer Verbesserung bei Patienten mit chronischer Hepatitis [57].

Da Leber und Nieren leichte Ziele für Nebenwirkungen von Medikamenten sind, könnten unlösliche Zunderschwammfasern die Lebensqualität von Menschen verbessern, die viele verschriebene Medikamente einnehmen, wie z.B. viele ältere Menschen.



Antimikrobielle und antivirale Eigenschaften

In-vitro-Versuche ergaben eine Absorption von ca. 80–95 % der Bakterien (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Enterobacter*, *Klebsiella*) aus kontaminiertem Wasser. Nach fünfmaligem Auswaschen der Fasern wurden nur noch 11,3 % der Bakterien freigesetzt [66]. Ein breites Spektrum an antibakterieller, antimykotischer und antiviraler Aktivität des oral verabreichten Biopolymers wurde gegen gastrointestinale Infektionen mit *Helicobacter pylori*, *Candida albicans* und Herpes bei Ratten [66] und Menschen beobachtet [56].

In Versuchen mit Ratten war das Biopolymer 1,35 bis 1,45 Mal wirksamer bei der Wiederherstellung des Leukogramms als herkömmliche Behandlungen: Amoxicillin (25 mg/kg Körpergewicht täglich) mit Metronidazol (40 mg/kg Körpergewicht täglich) im Modell der Helicobacter-Infektion, Acyclovir (10 mg/kg Körpergewicht täglich) im Modell der Herpes-Infektion und Levorin (25×10^3 U/kg Körpergewicht täglich) im Modell der Candida-Infektion [66].

Der Zustand von Patienten mit schwerer Salmonellose verbesserte sich nach oraler Gabe von Zunderschwammfasern drastisch. Nach der ersten Dosis (5 g oral) sank das Fieber von 40°C auf 37°C und der Durchfall hörte auf. Nach drei Tagen (0,5 g alle 2–2,5 Stunden) waren die Patienten praktisch gesund und frei von Salmonellen [54]. Die antivirale Wirkung der unlöslichen Fraktion des Zunderschwamms wurde durch die rasche Genesung von Patienten mit Grippe oder schwerer Hepatitis nachgewiesen. Die positiven Effekte waren schnell spürbar und die Genesungszeit verkürzte sich [54]. Die topische Anwendung der pulverisierten Fasern führte zur Reinigung infizierter Wunden nach der Geburt [58] sowie zur Reinigung trophischer Geschwüre von Staphylococcus aureus, Escherichia coli und Proteus vulgaris [54].

Gastrointestinale Effekte

Mehreren Fallstudien haben gezeigt, dass sich die orale Einnahme von isolierten Zunderschwammfasern positiv auf die Darmgesundheit bei Morbus Crohn, Reizdarm-syndrom, Verstopfung usw. auswirkt und eine attraktive Strategie zur Verbesserung der Lebensqualität von Patienten mit gastrointestinalen Beschwerden sein könnte [69]. Eine der Fallstudien betraf eine Testperson, die seit über 30 Jahren an Morbus Crohn litt, begleitet von starken Schmerzen, sieben Darmoperationen, eingeschränkter Lebensqualität, Kortisonabhängigkeit und immunsuppressiver Therapie. Die orale Supplementation mit 2–3 g der extrahierten Zunderschwammfasern (Good Feeling Power®) täglich führte nach 4 Monaten zu einer drastischen Besserung, die eine Reduktion der Medikamente ermöglichte. Nach 9 Monaten waren die gastrointestinalen Beschwerden verschwunden, die Koloskopie zeigte einen unauffälligen Schleimhautbefund mit regelmäßiger Gefäßzeichnung, und die immunsuppressive Therapie wurde abgesetzt [69].

An den gastrointestinalen Effekten der Zunderschwammfasern könnten mehrere Mechanismen beteiligt sein, z.B. eine Stärkung der Immunität der Dickdarmschleimhaut [78], eine Modulation der Darmflora [40], Freisetzung kurzkettiger Fettsäuren, die die Ernährung der Schleimhautzellen unterstützen [79], Sorption und anschließende Ausscheidung von Schwermetallen, Radionukliden [26, 27, 60, 65], Mikroorganismen [56, 66] und endogenen Toxinen [57, 62].

Verwendungsweise

Die beiden wichtigsten Anwendungsmethoden für pulverisierte Zunderschwammfasern waren die orale Einnahme und die topische Behandlung. Das Produkt wurde als trockenes Pulver (z. B. bei Geschwüren) oder gemischt mit Cremes oder anderen Flüssigkeiten verwendet. Die Einzeldosis begann bei 0,5 g und konnte aufgrund der geringen Schüttdichte bzw. des hohen Volumens der isolierten Fasern bis zu einem Teelöffel betragen.

Die Häufigkeit der Behandlung variierte von einmal täglich bis alle 2–2,5 Stunden bei Infektionskrankheiten. In vielen Fällen konnte die Dauer der akuten Phase durch die Behandlung verkürzt werden, auch im Vergleich zur Standardtherapie. In der Regel empfehlen Praktiker und Wissenschaftler, Heilpilze zunächst mindestens sechs Monate lang anzuwenden, um eine stabile Wirkung zu erreichen [80]. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, ist es jedoch vorteilhaft, die Mykotherapie über einen längeren Zeitraum oder mindestens als dreimonatige Kur anzuwenden, z. B. in besonders belastenden Zeiten [81].

Sicherheit und Vorschriften

Experimente an Mäusen haben gezeigt, dass die akute orale Toxizität von isolierten Zunderschwammfasern selbst bei der Höchstdosis von 200 mg/kg Körpergewicht nicht auftrat [66]. Eine Supplementierung mit 25 mg/g Körpergewicht über 80 Tage führte bei den Mäusen zu einer Abnahme der Mortalitätsrate sowie zu einer Zunahme der Geburtenrate und der Anzahl der Nachkommen [63]. Darüber hinaus deuten klinische Beobachtungen bei verschiedenen Heilpilzen darauf hin, dass akute schwerwiegende unerwünschte Wirkungen nicht oder nur sehr selten auftreten [80, 81, 84, 85]. Das Risiko einzelner Reaktionen kann nach thermischer Behandlung der Pilze abnehmen.

Zum Beispiel kann eine Dermatitis bei *Lentinus edodes* nach dem Verzehr von rohen oder unzureichend gekochten Pilzen aufgrund einer Reaktion auf das thermolabile Polysaccharid Lentinan auftreten [82, 83]. Eine kleine Anzahl von Fällen von Überempfindlichkeit betrifft hauptsächlich Arbeiter in der kommerziellen Pilzproduktion, z.B. aufgrund hoher Sporenkonzentrationen. Dieser Zustand wird daher als „Pilzarbeiterkrankheit“ bezeichnet und kann bisher nicht verallgemeinert werden [85].

Produkte, die vor dem 15. Mai 1997 in der EU noch nicht in nennenswertem Umfang für den menschlichen Verzehr verwendet wurden, gelten nach EU-Recht als „neuartige Lebensmittel“ (Novel Food) und sind zulassungspflichtig [86].

Die Verwendung der Fruchtkörper des Zunderschwamms als verkehrsfähiges Nahrungsergänzungsmittel ist in der EU seit Dezember 2017 anerkannt, nachdem die „Verordnung zur Regelung der Verwendung von pflanzlichen Stoffen und Zubereitungen in Nahrungsergänzungsmitteln, die die Verordnung des Gesundheitsministers vom 9. Juli 2012 ersetzt“ das Notifizierungsverfahren erfolgreich durchlaufen hat. In die Liste werden nur sichere pflanzliche Stoffe und Pilze aufgenommen, die nicht „neuartig“ im Sinne der Novel-Food-Verordnung sind.

Anhang I der Verordnung enthält neben anderen Pilzen auch die Fruchtkörper des Zunderschwamms (*F. fomentarius*).

Es gibt auch ein Novel-Food-Produkt aus dem Zunderschwamm mit stark geänderter Zusammensetzung (bis zum 70 % Chitingehalt im Vergleich mit dem knapp 7 % Chitin im Ursprungsmaterial) [87]. Das Produkt wurde als „Chitin-Glucan-Komplex“ durch EU-Kommission für Gesundheit und Verbraucher notifiziert und in die Unionsliste NF 2017/2470 vom 20. Dezember 2017 eingetragen. Dieses stark modifizierte Produkt unterscheidet sich drastisch vom Rohmaterial sowie vom mild gereinigten Zunderschwamm.

Eine schonende Heißreinigung der Fruchtkörper des Zunderschwamms beeinflusst die Zusammensetzung der Zellwände kaum, beseitigt aber den bitteren Geschmack, erhöht die Zugänglichkeit der Biopolymere für spezifische Rezeptoren, Immunzellen, Darmmikrobiota usw., reduziert die mikrobiologische Belastung und macht das Produkt ohne weitere Wärmebehandlung gebrauchsfertig [19].

Fazit

Nach einer milden Aufreinigung der Fruchtkörper des Zunderschwamms erhält man ein sicheres, geschmacksneutrales Naturprodukt, das ohne weitere Erhitzung direkt verzehrt werden kann. Das Produkt ist wasserunlöslich und weist eine faserige Hohlstruktur mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 3–5 μm und einer Wandstärke von 0,2–1,5 μm auf. Dabei handelt es sich um die Zellwände des Pilzes, die natürlicherweise hauptsächlich aus 25–38% β -Glucanen sowie 6–7% Chitin und etwa 30% Polyphenolen bestehen. Die prozentualen Anteile der wichtigsten Strukturverbindungen können je nach den Herstellungsbedingungen geringfügig oder erheblich variieren.

Nach verschiedenen veröffentlichten Forschungsergebnissen können die wasserunlöslichen Fasern des Zunderschwamms das angeborene und das erworbene Immunsystem modulieren, die Wundheilung beschleunigen, die Schwermetalle, Radionuklide und organische Farbstoffe absorbieren, die Nieren-, Magen-Darm- und Leberfunktionen normalisieren und antibakterielle, antivirale, antimykotische, angstlösende, antioxidative, entzündungshemmende und schmerzstillende Wirkungen entfalten.

Die vorliegenden Studien zeigen eine bemerkenswert hohe Wirksamkeit der Zunderschwammfasern bei chronischen, rezidivierenden und komplexen multifaktoriellen Erkrankungen. Diese positiven Ergebnisse machen die wasserunlöslichen Fasern des Zunderschwamms besonders attraktiv für die Verbesserung der Lebensqualität und motivieren zur weiteren Erforschung des medizinischen Potenzials dieses einheimischen Pilzes.

Dr. rer. nat. Liudmila Kalitukha
Hansemannstraße 7
41468 Neuss | Deutschland T
+49 (0)2131 512 990 0
liudmila.kalitukha@gfpsl.de

Uns ist bewusst, dass das E-Book von Dr. Liudmila Kalitukha sehr wissenschaftliche geschrieben ist und viele Fachbegriffe enthält.

Wenn du eine Beratung wünschst oder den en GFP-Komplex® bestellen möchtest, kannst du dich direkt an deine/n Empfehlungsgeber/in wenden.

Wir veranstalten zudem regelmässige Zoom-Präsentation mit Erfahrungsaustausch und Live-Beratung. Du bist herzlich eingeladen!

Literatur

- [1] Müller E, Löffler W. *Mykologie – Grundriss für Naturwissenschaftler und Mediziner*. 5. Auflage, Stuttgart, NY: Georg Thieme Verlag, 1992.
- [2] Ryvarden L, Gilbertson RL. *European Polypores. Part 1*. Oslo, Norway: Fungiflora, 1993.
- [3] Peintner U, Pöder R, Pumpel T. The Iceman's fungi. *Mycol Res*. 1998;102(10):1153–62.
- [4] Buller AHR. The fungus lore of the Greeks and Romans. *Trans Br Mycol Soc*. 1914;(5):21–66.
- [5] Hobbs C. *Medicinal mushrooms: An exploration of tradition, healing, and culture*. Botanica Press, 2002.
- [6] Lelley JI. *Die Heilkraft der Pilze: Wer Pilze isst lebt länger*. B.o.s.s Druck und Medien GmbH. 2008.
- [7] Guthmann J. *Heilende Pilze weltweit*. 3. Auflage. Quelle & Meyer. 2024.
- [8] Roussel B, Rapior S, Charlot C, Masson CL, Boutié P. Histoire des utilisations thérapeutiques de l'amadouvier, *Fomes fomentarius* (L.:Fr.) Fr. *Rev Hist Pharm (Paris)*. 2002;50(336):599–614.
- [9] Frerichs G, Arends G, Zörnig H. *Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis: Für Apotheker, Arzneimittelhersteller, Drogisten, Ärzte und Medizinalbeamte*. Springer Berlin, Heidelberg. 2013.
- [10] Arpin N, Favre-Bonvin J, Steglich W. Le Fomentariol: nouvelle benzotropolone isolée de *Fomes fomentarius*. *Phytochemistry*. 1974; 13:1949–52.
- [11] Neifar M, Laouani A, Chaabouni SE. The potent pharmacological mushroom *Fomes fomentarius*. Cultivation processes and biotechnological uses. In: Gupta VK, Schmoll M, Maki M, Tuohy M, Mazutti MA, editors. *Applications of Microbial Engineering*. CRC Press, 2013, p. 300–322.

- [12] Grienke U, Zöll M, Peintner U, Rollinger JM. European medicinal polypores - a modern view on traditional uses. *J Ethnopharmacol.* 2014;154(3):564–83.
- [13] Gáper J, Gáperová S, Pristas P, Naplavova K. Medicinal value and taxonomy of the tinder polypore, *Fomes fomentarius* (Agaricomycetes): A review. *Int J Med Mushrooms.* 2016;18(10):851–59.
- [14] Badalyan SM, Barkhudaryan A, Rapior S. Recent progress in research on the pharmacological potential of mushrooms and prospects for their clinical application. In: Agrawal D, Dhanasekaran M, editors. *Medicinal Mushrooms.* Singapore: Springer, 2019, p. 1–70.
- [15] Gründemann C, Reinhardt JK, Lindequist U. European medicinal mushrooms: Do they have potential for modern medicine? - An update. *Phytomedicine.* 2020;66:153131.
- [16] Bowman SM, Free SJ. The structure and synthesis of the fungal cell wall. *BioEssays.* 2006;28(8):799–808.
- [17] Roy JC, Salaün F, Giraud S, Ferri A, Guan J, Chen G. Solubility of chitin: solvents, solution behaviors and their related mechanisms. In: Xu Z, editor. *Solubility of Polysaccharides.* 2017. doi: 10.5772/intechopen.71385.
- [18] Gow NAR, Latge J-P, Munro CA. The fungal cell wall: structure, biosynthesis, and function. *Microbiol Spectrum.* 2017;5(3):FUNK-0035–2016.
- [19] Kalitukha L, Sari M. Fascinating vital mushrooms. Tinder fungus (*Fomes fomentarius* (L.) Fr.) as a dietary supplement. *Intern J Res Stud Sci Eng Technol.* 2019;6(1):1–9.
- [20] Mario FDi, Rapanà P, Tomati U, Galli E. Chitin and chitosan from basidiomycetes. *Int J Biol Macromol.* 2008; 43:8–12.
- [21] Nitschke J, Altenbach HJ, Malolepszy T, Mölleken H. A new method for the quantification of chitin and chitosan in edible mushrooms. *Carbohydr Res.* 2011;346:1307–10.

- [22] Kaya M, Akata I, Baran T, Menten A. Physicochemical properties of chitin and chitosan produced from medicinal fungus (*Fomitopsis pinicola*). *Food Biophys.* 2015; 10:162–8.
- [23] Erdogan S, Kaya M, Akata I. Chitin extraction and chitosan production from cell wall of two mushroom species (*Lactarius vellereus* and *Phyllophora ribis*). *AIP Conference Proceedings.* 2017;1809(1):020012–1–020012–10.
- [24] Sari M, Prange A, Lelley J, Hambitzer R. Screening of β -glucan contents in commercially cultivated and wild growing mushrooms. *Food Chem.* 2017; 216:45–51.
- [25] Kalitukha L. An approach to change the basic polymer composition of the milled *Fomes fomentarius* fruiting bodies. *Fungal Biol Biotechnol.* 2021;8:5.
- [26] Gorovoj LF, Kosyakov VN. Mycoton – new chitin materials produced from fungi. In: Karnicki ZS, Brzaski MM, Bykovski PJ, Wojtasz-Pajak A, editors. *Chitin World.* Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1995, p. 632–647.
- [27] Kosyakov VN, Yakovlev NG, Gorovoj LF. Utilisation of chitin-chitosan biosorbents for environmental deactivation and radioactive waste management. In: Ronneau C, Bitchaeva O, editors. *Biotechnology for Waste Management and Site Restoration.* NATO ASI Series (Series 2: Environment), Springer, Dordrecht, 1997;34:119–131.
- [28] Vetvicka V, Teplyakova TV, Shintyapina AB, Korolenko TA. Effects of medicinal fungi-derived β -glucan on tumor progression. *J Fungi (Basel).* 2021;7(4):250.
- [29] Yadomae T. Structure and biological activities of fungal β -1,3-glucans. *Yakugaku Zasshi.* 2000; 120:413–31.
- [30] Majtan J. Pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*): An effective nutritional supplement against upper respiratory tract infections? *Med Sport Sci.* 2012; 59:57–61.

- [31] Lee DH, Kim HW. Innate immunity induced by fungal β -glucans via dectin-1 signaling pathway. *Int J Med Mushrooms*. 2014, 16(1):1–16.
- [32] Ohno N, Hashimoto Y, Adachi Y, Yadomae T. Conformation dependency of nitric oxide synthesis of murine peritoneal macrophages by beta-glucans in vitro. *Immunol Lett*. 1996; 52:1–7.
- [33] Tsuzuki A, Ohno N, Adachi Y, Yadomae T. Interleukin 8 production by human leukocytes stimulated by triple or single helical conformer of an antitumor (1–3)- β -D-glucan preparation, sonifilan. *Drug Dev Res*. 1999; 48:17–25.
- [34] Young SH, Dong WJ, Jacobs RR. Observation of a partially opened triple-helix conformation in 1–3-beta-glucan by fluorescence resonance energy transfer spectroscopy. *J Biol Chem*. 2000;275(16):11874–9.
- [35] Kojima K, Okamoto Y, Miyatake K, Kitamura Y, Minami S. Collagen typing of granulation tissue induced by chitin and chitosan. *Carbohydr Polym*. 1998; 37:109–13.
- [36] Muzzarelli RAA. Chitins and chitosans for the repair of wounded skin, nerve, cartilage and bone. *Carbohydr Polym*. 2009;76(2):167–82.
- [37] Azuma K, Izumi R, Osaki T, Ifuku Sh, Morimoto M, Saimoto H, Minami S, Okamoto Y. Chitin, chitosan, and its derivatives for wound healing: Old and new materials. *J Funct Biomater*. 2015; 6(1):104–42.
- [38] Okamoto Y, Kawakami K, Miyatake K, Morimoto M, Shigemasa Y, Minami S. Analgesic effects of chitin and chitosan. *Carbohydr Polym*. 2002;49(3):249–52.
- [39] Bays HE, Evans JL, Maki KC, Evans M, Maquet V, Cooper R, Anderson JW. Chitin-glucan fiber effects on oxidized lowdensity lipoprotein: a randomized controlled trial. *Eur J Clin Nutr*. 2013; 67:2–7.

- [40] Neyrinck AM, Possemiers S, Verstraete W, De Backer F, Cani PD, Delzenne NM. Dietary modulation of clostridial cluster XIVa gut bacteria (*Roseburia* spp.) by chitin-glucan fiber improves host metabolic alterations induced by high-fat diet in mice. *J Nutr Biochem*. 2012;23(1):51–9.
- [41] Berecochea-Lopez A, Decordé K, Ventura E, Godard M, Bornet A, Teissèdre PL, Cristol JP, Rouanet JM. Fungal chitinglucan from *Aspergillus niger* efficiently reduces aortic fatty streak accumulation in the high-fat fed hamster, an animal model of nutritionally induced atherosclerosis. *J Agric Food Chem*. 2009;57(3):1093–8.
- [42] Wu T, Zivanovic S, Draughon FA, Conway WS, Sams CE. Physicochemical properties and bioactivity of fungal chitin and chitosan. *J Agric Food Chem*. 2005;53(10):3888–94.
- [43] Gautier S, Xhaufnaire-Uhoda E, Gonry P, Piérard GE. Chitinglucan, a natural cell scaffold for skin moisturization and rejuvenation. *Int J Cosmet Sci*. 2008;30(6):459–69.
- [44] Butler MJ, Day AW. Fungal melanins: A review. *Can J Microbiol*. 1998;44:1115–36.
- [45] Veligodska AK, Fedotov OV. Screening of content and dynamic of accumulation of polyphenols in some Basidiomycetes species. *Biol Bull Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagog Univ*. 2015;5(3):42–54.
- [46] Mircea C, Cioanca O, Iancu C, Tatarina G, Hancianu M. In vivo antioxidant properties of some mushroom extracts in experimentally induced diabetes. *Farmacia*. 2018;66(2):257–61.
- [47] Dundar A, Okumus V, Ozdemir S, Celik KS, Boga M, Ozcagli E, Yildiz F. Determination of cytotoxic, anticholinesterase, antioxidant and antimicrobial activities of some wild mushroom species. *Cogent Food Agric*. 2016;2(1):1178060.

- [48] Riley PA. Melanin. *Int J Biochem Cell Biol.* 1997;29(11):1235–39.
- [49] Goncalves R de C. R, Pombeiro-Sponchiado SR. Antioxidant activity of the melanin pigment extracted from *Aspergillus nidulans*. *Biol Pharm Bull.* 2005;28(6):1129–31.
- [50] Sava VM, Galkin BN, Hong MY, Yang PC, Huang GS. A novel melanin-like pigment derived from black tea leaves with immuno-stimulating activity. *Food Res Int.* 2001;34:337–43.
- [51] Rashydov N, Kliuchnikov O, Seniuk O, Gorovoj L, Zhidkov A, Ribalka V, Berezhna V, Bilko N, Sakada V, Bilko D, Borbuliak I, Kovalev V, Krul M, Petelin G. Radiobiological characterization environment around object „Shelter“. In: Chang SH, editor, *Nuclear Power Plants, 2012.* InTech, Croatia. p. 231–78.
- [52] Briguglio G, Costa C, Pollicino M, Giambò F, Catania S, Fenga C. Polyphenols in cancer prevention: New insights (Review). *Int J Funct Nutr.* 2020;1(2):9.
- [53] Gafforov, Y., Kalitukha, L., Tomšovský, M., Angelini, P., Venanzoni, R., Flores, G. A., Yarasheva, M., Wan-Mohtar, W. A. Q. I. & Rapior, S. (2023). *Fomes fomentarius* (L.) Fr. - POLYPORACEAE. In: Khojimatov, O.K., Gafforov, Y., Bussmann, R.W. (eds) *Ethnobiology of Uzbekistan. Ethnobiology.* Springer, Cham. pp. 1045–1064. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23031-8_106
- [54] Gorovoj L, Burdukova L. Chitin produced from fungi: medicine application perspectives. In: Domard A, Jeuniaux C, Muzzarelli R, Roberts GAF, editors. *Advances in Chitin Science, 1.* Jacques Andre Publisher, Lyon, 1996, p. 430–40.
- [55] Gorovoj LF, Seniuk OF, Beketova GV, Savichuk NO, Amanbaeva G. Use of the chitin-containing preparation Mycoton in pediatric gastroenterology. In: Muzzarelli RAA, editor, *Chitosan per os; from Dietary Supplement to Drug Carrier.* Atec, Italy, 2000. p. 201–21.

- [56] Beketova GV, Savichuk NO, Savichuk AV, Senyuk OF, Gorovoj LF, Alexeenko NV, Senyuk CV. Efficiency of the mushroom preparation Mycoton in treatment of chronic lesions of the upper parts of the digestive tube. *Int J Med Mushrooms*. 2001;3:116.
- [57] Nakonechnaya AA, Drannik GN, Gorovoj LF, Kushko LY. Effect of a mycoton preparation on biochemical and immunological parameters of a syndrome of endogenous intoxication and secondary immunodeficiency. *Int J Med Mushrooms*. 2001;3(2–3):2.
- [58] Venckovsky BM, Tovstanovskaya VA, Bichkova NG, Priluckaya AB, Gorovoj LF. Infected wound treatment in an obstetric practice with use of the preparation Mycoton. *Int J Med Mushrooms*. 2001;3:243.
- [59] Seniuk OF, Gorovoj LF. Health protection and restoration under low-level irradiation conditions using a Mycoton preparation. *Int J Med Mushrooms*. 2001;3:219–20.
- [60] Kosyakov VN, Yakovlev NG, Veleshko IE. Application of chitincontaining fiber material “Mycoton” for actinide absorption. *J Nucl Sci Technol*. 2002;39(3):508–11.
- [61] Pavlenko AV, Mazur IP, Bonifatova NV, Gorovoi LF, Seniuk OF. Prospects for the treatment of periodontitis with Mycoton. 1st Congress on Medical Mycology. Moscow, 20–21.02.2003, 2003;1(6):291–2.
- [62] Seniuk OF, Seniuk CV, Gorovoj LF. Using of Mycoton preparation for healing of kidney insufficiency. 1st Congress on Medical Mycology. Moscow, 20–21.02.2003, 2003;1(6):296–7.
- [63] Seniuk OF, Gorovoj LF, Zhidkov AV, Kovalev V, Palamar L, Kurchenko V, Kurchenko N, Schroeder H-Ch. Genome protection properties of the chitin-containing preparation Mycoton. In: Struszczyk H, Peter MG, Domard A, editors. *Advances in Chitin Science. Proceeding of the 6th International Conference*

- European Chitin Society, Poznan, Poland Aug. 31–Sept. 3, 2004. Poznan: ESUS, 2005;VIII:430–9.
- [64] Rybalka VB, Gorovoj LF, Kosyakov VN, Senyuk OF. Possibilities of chitin biosorbents in solving of the technological problems with clearance of the liquid radioactive waste. *Sci Res (Rus)*. 2009;116(103):101–7.
- [65] Li W, Meng K, Li J, Cheng X, Bau T. Biosorption of Cd²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi. *Shengtai Xuebao*. 2011;31(20):6157–66.
- [66] Seniuk OF, Gorovoj LF, Beketova GV, Savichuk NO, Rytik PG, Kucherov II, Prilutskaya AB, Prilutsky AI. Anti-infective properties of the melanin-glucan complex obtained from *Fomes fomentarius*. *Int J Med Mushrooms*. 2011;13(1):7– 18.
- [67] Seniuk OF, Gorovoj LF, Kovalev VA, Palamar LA, Krul NI, Zhidkov AV, Chemerskij GF, Kireev SI, Khatuntseva IV. Features of behavioral reactions of chronically irradiated mice in the raised crosswise labyrinth with various genetically determined radiosensitivity and possibilities of their modification by the fungal biopolymer complex. (in Russian). *Radiats Biol Radioecol*. 2013;53(2):170–82.
- [68] Kalitukha L. *Fomes fomentarius* extracted fibres (Good Feeling Power®) as modulator of the immune system. Abstracts of the 10th International Medicinal Mushroom Conference. September 19–22.2019, Nantong, China, 2019, p. 183–184.
- [69] Kalitukha L. *Der Zunderschwamm und das Geheimnis des GFP-Komplexes*. 2. Auflage. La Luz de Mallorca, Spanien; 2020.
- [70] Henning LM, Simon U, Abdullayev A, Schmidt B, Pohl C, Nunez Guitar T, Vakifahmetoglu C, Meyer V, Bekheet MF, Gurlo A. Effect of *Fomes fomentarius* cultivation conditions on its adsorption performance for anionic and cationic dyes. *ACS Omega*. 2022;7:4158–69.

- [71] Wasser SP. Medicinal mushrooms in human clinical studies. Part I. Anticancer, oncoimmunological, and immunomodulatory activities: A review. *Int J Med Mushrooms*. 2017;19(4):279–317.
- [72] <https://www.immunology.org/policy-and-public-affairs/briefings-and-position-statements/immunodeficiency> [Internet, cited 2022 May 17].
- [73] Gargano ML, van Griensven LLD, Isikhuemhen OS, Lindequist U, Venturella G, Wasser SP, Zervakis GI. Medicinal mushrooms: Valuable biological resources of high exploitation potential, *Plant Biosyst*. 2017;151(3):548–65
- [74] Vetvicka V, Vannucci L, Sima P, Richter J. Beta-glucan: Supplement or drug? From laboratory to clinical trials. *Molecules*. 2019;24(7):1251.
- [75] El Obeid A, Yahya WB, Almuzzaini B, Tuwajri AA, Najdi M, Hassib A, Matou Nasri S. Herbal melanin induces interleukin β secretion and production by human THP 1 monocytes via Toll like receptor 2 and p38 MAPK activation. *Exp Ther Med*. 2021;22(4):1081.
- [76] Bull AT. Inhibition of polysaccharases by melanin: Enzyme inhibition in relation to mycolysis. *Arch Biochem Biophys*. 1970;137:345–56.
- [77] Abbas SH, Ismail IM, Mostafa TM, Sulaymon AH. Biosorption of heavy metals: A review. *J Chem Sci Technol*. 2014;3(4):74–102.
- [78] Tsukada C, Yokoyama H, Miyaji C, Ishimoto Y, Kawamura H, Abo T. Immunopotential of intraepithelial lymphocytes in the intestine by oral administrations of β -glucan. *Cell Immunol*. 2003;221(1):1–5.
- [79] Queenan KM, Stewart ML, Smith KN, Thomas W, Fulcher RG, Slavin JL. Concentrated oat β -glucan, a fermentable fiber, lowers serum cholesterol in hypercholesterolemic adults in a randomized controlled trial. *Nutr J*. 2007;6:6.

[80] Berg B, Lelley JI. Apotheke der Heilpilze. Kompendium der Mykotherapie: Einsatzmöglichkeiten der wichtigsten Vitalpilze in Prävention und Therapie. Natura Viva Verlags GmbH, Germany; 2020. [81] Ardigò W. Healing with medicinal mushrooms. A practical handbook. Youcanprint Self-Publishing, Italy; 2017. [82] Nakamura T. Shiitake (*Lentinus edodes*) dermatitis. *Contact Derm*. 1992;27(2):65–70. [83] Boels D, Greillet C, Langrand J, Labadie M, Le Roux G, de Haro L, Bloch J, Sinno-Tellier S. Shiitake dermatitis: experience of the Poison Control Centre Network in France from 2014 to 2019. *Clin Toxicol*. 2022. DOI: 10.1080/15563650.2022.2059496 [84] Lindequist U. The merit of medicinal mushrooms from a pharmaceutical point of view. *Int J Med Mushrooms*. 2013;15(6):517–23. [85] Roupas P, Krause D, Taylor P. Mushrooms and health 2014: Clinical and nutritional studies in humans. 2014. Report CSIRO Food and Health Flagship, Australia. [86] REGULATION (EU) 2015/2283 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 November 2015 on novel foods, amending Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) No 1852/2001 [Internet, cited 2022 May 17]. [87] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2017/2470 of 20 December 2017 establishing the Union list of novel foods in accordance with Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council on novel foods. [Internet, cited 2022 May 17]