

JOANNA KOBUS-CISOWSKA, AGNIESZKA ZAWADZKA¹
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

PROCESY KSZTAŁTUJĄCE ZAWARTOŚĆ WITAMINY D W GRZYBACH

Nadesłany: 30.10.2020 Zaakceptowany do druku: 14.12.2020

1. Wstęp

Spożycie grzybów na całym świecie gwałtownie wzrasta. Przez okres 40 lat, od 1978 roku do 2018 ich produkcja wzrosła z 1 do 27 mld kg (wzrost konsumpcji na mieszkańca z poziomu 0,25 kg do 4 kg rocznie). Według danych GEMS/ Food średnie roczne spożycie grzybów w krajach Unii Europejskiej w roku 2016 wyniosło ok. 1,5 kg/osobę [www.extranet.who.int]. Grzyby mogą być istotnym składnikiem diety. Zawierają ok. 1,5- 3,6 % białka w świeżej masie, co odpowiada 10 - 40% w przeliczeniu na suchą masę [Barros 2008]. Białko grzybów charakteryzuje się dobrą biodostępnością, sięgającą 90% [Siwulski 2014]. Owocniki grzybów zawierają 4,7 - 6,9% sacharydów ogółem (około 50% s. m.), z czego 2,7 - 3,9% stanowi błonnik pokarmowy [Rajewska 2004]. Dostarczają także znaczących ilości witamin z grupy B oraz składników mineralnych, takich jak selen, potas, miedź i cynk [Feeney 2014]. Grzyby mogą być także źródłem witaminy D w diecie.

Witamina D pełni wiele ważnych funkcji w organizmie człowieka, między innymi stymuluje syntezę białek transportujących wapń w jelicie cienkim, zwiększa wchłanianie wapnia z pożywienia, a tym samym przyczynia się do zmniejszenia ryzyka osteoporozy i osteomalacji u dorosłych oraz krzywicy u dzieci [Jones 2014, Lips 2006]. Odpowiednia podaż witaminy D może pomóc w ochronie przed niektórymi nowotworami, chorobami układu oddechowego u dzieci, chorobami układu krążenia, chorobami neurodegeneracyjnymi oraz działa korzystnie w profilaktyce cukrzycy typu 1 i 2 [Hosseini-Nezhad 2013, Ford 2014]. Witamina D może być syntetyzowana w organizmie w wyniku ekspozycji skóry na działanie promieniowania UV pochodzącego ze słońca [Jones 2014]. Witamina D dostar-

¹ Wkład pracy: Joanna Kobus-Cisowska – 30%, Agnieszka Zawadzka – 70%.

czana jest też z pożywieniem, co łącznie decyduje o właściwym jej stężeniu we krwi. Szacuje się, że 1 miliard ludzi na całym świecie ma niedobór witaminy D (stężenie $25(\text{OH})\text{D} \leq 50 \text{ nmol/l}$). Dwie główne formy witaminy D w diecie to D₃, znajdująca się w produktach zwierzęcych oraz D₂, znajdująca się w grzybach i drożdżach [Phillips 2012, Keegan 2013]. Grzyby suszone na słońcu i poddane działaniu promieniowania UV są potencjalnie dobrym źródłem witaminy D (forma D₂) [Calvo 2005, Lamberg-Allardt 2006]. Wiele państw na świecie zezwala, a nawet zaleca wzbogacanie witaminą D produktów spożywczych takich jak mleko, margaryna, płatki śniadaniowe i soki [Mau 1998, Nölle 2016]. Mówi się wówczas o wzbogacaniu obligatoryjnym lub dobrowolnym. Obligatoryjne wzbogacanie nakłada na wszystkich producentów określonego asortymentu środków spożywczych obowiązek dodawania witamin lub składników mineralnych w ilości regulowanej odpowiednimi przepisami. W Polsce, na mocy Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 16 września 2010 roku w sprawie substancji wzbogacających dodawanych do żywności, obowiązkowe jest wzbogacanie w witaminę D tłuszczów do smarowania (z wyjątkiem masła, które zawiera ją naturalnie).

2. Wymagania z zakresie ilości spożycia witaminy D

Zalecane spożycie witaminy D, w zależności od wieku, mieści się w granicach 5-15 µg/dzień (200-600 IU) w Australii i Nowej Zelandii, 15-20 µg/dzień (600-800 IU) w USA, 15 µg/dzień (600 IU) w Europie, 5-20 µg/dzień (600-800 IU) w Kanadzie i 10 µg/dzień (400 IU) w Wielkiej Brytanii (tabela 1). Szacunki dotyczące spożycia witaminy D w diecie w Stanach Zjednoczonych wynoszą 5-6 µg/dzień u dorosłych mężczyzn i 3,5-4,5 µg/dzień u dorosłych kobiet [Bailey 2010]. Dorosli Kanadyjczycy dostarczają z pożywieniem średnio 5,8 µg witaminy D dziennie, co obejmuje również żywność wzbogaconą w witaminę D [Vatanparast 2010]. Szacuje się, że spożycie witaminy D przez Europejczyków mieści się w zakresie 2-4 µg/dzień [Calvo 2005]. W populacji irlandzkiej średnie spożycie witaminy D ogółem u dorosłych szacuje się na 3,5 µg/dzień, osiągając 3,7 µg/dzień u osób spożywających żywność wzbogaconą w witaminę D [Black 2015]. Rozbieżność między rzeczywistym a zalecanym spożyciem witaminy D wskazuje na to, że mało prawdopodobne jest, aby naturalne źródła witaminy D z diety dostarczały wystarczających jej ilości.

Tabela 1

**Przykłady zalecanego dziennego spożycia witaminy D (μg)/dzień
w różnych regionach świata**

Region/ Wiek (lata)	Zalecane spożycie witaminy D (μg)/dzień				
	1–18	19–30	31–50	51–70	71+
USA ¹	15	15	15	15	20
Kanada ²	15	15	15	15	20
Wielka Brytania ³	10	10	10	10	10
Europa ⁴	15	15	15	15	15
Australia i Nowa Zelandia ⁵	5	5	5	10	15

Źródło: Opracowano na podstawie:

¹ USA, Recommended Dietary Allowance (RDA); Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D; Institute of Medicine, The National Academies Press: Washington, DC, USA, 2011.

² Canada, Adequate Intake (AI); Dietary Reference Intakes.

³ UK, Reference Nutrient Intake (RNI); Vitamin D and Health; Scientific Advisory Committee on Nutrition, The Stationary Office: London, UK, 2016.

⁴ Europe, AI; Dietary Reference Values for Nutrients: Summary Report; European Food Safety Authority: Parma, Italy, 2017.

⁵ Australia and NZ, (AI); Nutrient Reference Values for Australia and New Zealand; National Health and Medical Research Council, Commonwealth of Australia: Canberra, Australia, 2006.

3. Metabolizm witaminy D w grzybach

Grzyby są produktem żywnościowym pochodzenia niezwierzęcego zawierającym znaczne ilości biodostępnej witaminy D, przez co mogą stanowić dobre jej źródło w diecie, w szczególności dla wegan i wegetarian. Najczęściej spożywanymi grzybami na świecie są: pieczarka dwuzarodnikowa *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach (30% światowej konsumpcji), bocznik *Pleurotus* (Jacquin) Kummer (wszystkie gatunki: 27% światowej konsumpcji) oraz grzyby shiitake *Lentinula edodes* (Berkeley) Pegler (17% światowej konsumpcji), które razem stanowią około trzy czwarte wszystkich spożywanym grzybów [Royse 2014]. Współczesna systematyka organizmów żywych umieszcza grzyby jako odrębne – w stosunku do roślin i zwierząt – duże królestwo organizmów żywych, które cechuje się dużą różnorodnością, często jednak porównywane są do roślin. Jednak w odróżnieniu od roślin, grzyby mają wysokie stężenie ergosterolu w błonach komórkowych prekursora witaminy D2 [Weete 2010]. Pod wpływem promieniowania UV ergosterol w błonie komórkowej grzyba przekształca się w prowitaminę D2, która jest następnie termicznie izomerozana w procesie zależnym od temperatury do ergokalcyferolu, powszechnie znanego jako witamina D2 [Keegen 2013, Jasinghe 2007].

4. Zawartość witaminy D w grzybach świeżych

Zainteresowanie zawartością witaminy D2 w grzybach zaczęło się wraz z odkryciem jej obecności w jadalnych dzikorosnących grzybach fińskich. W pieprzniku trąbkowym (*Cantharellus tubaeformis*) (potocznie nazywanym kurką), zbieranym późnym latem i jesienią, zawartość witaminy D2 wynosiła 3-30 $\mu\text{g}/100\text{g}$ świeżej masy, podczas gdy pieczarka zakupiona w punkcie sprzedaży detalicznej zawierała mniej niż 1 $\mu\text{g}/100\text{g}$ świeżej masy [Mattila 1994]. Od tego czasu, dużą zawartość witaminy D2 znaleziono w pieprzniku jadalnym (*Cantharellus cibarius*) (10,7 μg D2/100 g świeżej masy) oraz w borowiku szlachetnym (*Boletus edulis*) (58,7 μg D2/100 g świeżej masy) [Teichmann 2007].

Większość świeżych pochodzących z upraw grzybów (zwłaszcza pieczarek) sprzedawanych w Wielkiej Brytanii, Europie, Ameryce Północnej, Australii i Nowej Zelandii uprawiane są w pomieszczeniach w kontrolowanych warunkach, następnie zbierane i przewożone do punktów sprzedaży detalicznej w transporcie chłodniczym.

Uprawa pieczarek odbywa się w ciemności, ponieważ wpływa to na jej śnieżnobiały kolor, dzięki czemu jest bardziej pożądana przez konsumentów. Jedyny czas, kiedy pieczarki są wystawione na działanie światła, to czas zbioru pod lampami fluorescencyjnymi, które zazwyczaj emitują niewielkie ilości promieniowania UV. Stąd zawartość witaminy D2 w pieczarkach uprawianych w takich warunkach jest znikoma i nie przekracza 1 $\mu\text{g}/100\text{g}$ świeżej masy (około trzy pieczarki) [Simon 2011, Phillips 2011].

Obecnie praktykowane są także technologie uprawy pieczarek, gdzie poddaje się je ekspozycji na działanie promieni UV (światło słoneczne) przez czas 15–120 minut. Grzyby wytwarzają wtedy więcej witaminy D2, wielkości przekraczające 10 $\mu\text{g}/100\text{g}$ świeżej masy [Phillips 2013, Urbain 2015]. Jednak zawartość syntetyzowanej witaminy D2 zależy od pory dnia, pory roku, szerokości geograficznej, warunków pogodowych i czasu ekspozycji. Stwierdzono, że krojone grzyby wystawione na działanie promieni słonecznych syntetyzują więcej witaminy D2 niż całe grzyby [Phillips 2013, Urbain 2015]. W Niemczech przeprowadzono badania, z których wynika, że zawartość witaminy D2 w plastrach pieczarek wystawionych na słońce w lecie (w południe) wynosiła odpowiednio, po 15 minutach ekspozycji 17,5 $\mu\text{g}/100\text{g}$ świeżej masy, zaś po 60 minutach 32 $\mu\text{g}/100\text{g}$ świeżej masy [Urbain 2015].

Dobrym sposobem produkcji grzybów, w których zwiększona będzie zawartość witaminy D2 może być uprawa uwzględniająca ekspozycję na promieniowanie UV generowane przez lampy fluorescencyjne lub pulsacyjne. Grzyby syntetyzują wówczas witaminę D2 w odpowiedzi na promieniowanie UV podczas fazy wzrostu,

ale także już po zbiorach. Jednak hodowcy komercyjni z praktycznych powodów używają lamp UV już po zbiorach. Świeże grzyby, celowo wystawione po zbiorach na źródło promieniowania UV, wytwarzają ilości witaminy D2 często sięgające 40 µg/g suchej masy (ok. 320 µg/100 g świeżej masy) [Ko 2008, Wittig 2013]. Wykazano, że promieniowanie UV-B (o długości fali 280–315 nm) najskuteczniej stymuluje syntezę witaminy D2 w grzybach [Jasinghe 2006]. Niektórzy badacze używali UV-A (315–400 nm) [Jasinghe 2006] i promieniowanie UV-C (<280 nm), jednak promieniowanie UV-A nie było skuteczne w zwiększaniu stężenia witaminy D2 we wszystkich przypadkach [Huang 2016, Guan 2016, Teichmann 2007]. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na zawartość witaminy D2 okazuje się być intensywność promieniowania. Wykazano, że 90 minutowa ekspozycja na promieniowanie UV-B o mocy 1,14 W/m² w temperaturze 28°C jest optymalna do syntezy witaminy D2 (240 µg/g suchej masy) [Wu 2014]. W literaturze wpływ temperatury na syntezę witaminy D2 nie został szczegółowo zbadany, chociaż sugeruje się, że temperatury w zakresie 25 a 35°C mogą być optymalne w uprawach dla celów handlowych. Jedno z badań wykazało, że synteza witaminy D2 w całych bocznikach wzrosła z 152 µg/g suchej masy do 178 µg/g suchej masy przy wzroście temperatury z 15°C do 35°C [Wu 2014]. Wykazano, że istotne z żywieniowego punktu widzenia stężenia witaminy D2 (10 µg/100 g świeżej masy) w bocznikach można skutecznie osiągnąć w bardzo krótkim czasie za pomocą impulsowej lampy UV (1-2 s; 3-6 impulsów) [Kouualamudi 2011, Kalaras 2012]. Do wygenerowania takich samych stężeń witaminy D2 przy użyciu fluorescencyjnej lampy UV potrzebnych jest kilka minut. Dlatego też impulsowe promieniowanie UV może być najskuteczniejszą metodą zwiększenia stężenia witaminy D2 w grzybach.

5. Zawartość witaminy D w grzybach suszonych

Przemysłowo suszone grzyby mają znacznie dłuższy okres przydatności do spożycia niż grzyby świeże (2-3 lata). Masa grzybów suszonych stanowi 15% masy grzybów świeżych, co czyni je tańszymi w transporcie i potencjalnie tańszym źródłem witaminy D2. Suszenie na słońcu to jedna z metod suszenia grzybów w krajach azjatyckich. Analiza zawartości witaminy D2 i zawartość ergosterolu w 35 gatunkach suszonych grzybów sprzedawanych w Chinach wykazała, że są one dobrym źródłem witaminy D2, której średnia zawartość wynosiła 16,9 µg/g suchej masy (zakres 7–25 µg/g suchej masy) [Huang 2016]. Nie są znane szczegóły dotyczące metod ani czasu suszenia, ale wilgotność w analizowanych próbach była zróżnicowana (w większości na poziomie 3-7%).

Grzyby zbierane w środowisku naturalnym najczęściej suszone są w gorącym powietrzu, dzięki czemu ich trwałość wzrasta nawet do kilku lat. Naśladując ten

proces, zbadano pieprzniki jadalne (*C. cibarius*). Zawartość witaminy D2 wynosiła od 0,12 do 6,3 µg/g suchej masy po wysuszeniu gorącym powietrzem i przechowywaniu bez dostępu światła przez okres od 2 do 6 lat [Rangel-Castro 2002]. W badaniach nad pieczarkami, shiitake i bocznikami autorzy zasugerowali, że temperatura 60°C to optymalna temperatura suszenia po wcześniejszej ekspozycji na promieniowanie UV-B, ponieważ powyżej 60°C grzyby zmieniały swoją barwę [Nölle 2018].

Grzyby po procesie liofilizacji (suszenie zamrożonych produktów w warunkach próżniowych) osiągają bardzo niską zawartość wody (ok. 2%), co powoduje, że ich sucha masa wynosi nawet 8-10% masy grzybów świeżych. Wykazano, że liofilizowane pieczarki, shiitake i boczniki zawierały więcej witaminy D2 po ekspozycji na promieniowanie UV-B w porównaniu z grzybami suszonymi gorącym powietrzem [Sławińska 2016]. Liofilizowane boczniki po ekspozycji na promieniowanie UV przez 30 minut zawierały 34,6 µg D2/g suchej masy, shiitake 60 µg D2/g suchej masy, pieczarki 119 µg D2/g suchej masy, podczas gdy pieczarki suszone gorącym powietrzem wystawione na promieniowanie UV zawierały 32-81 µg D2/g suchej masy.

6. Stabilność witaminy D2 w grzybach wzbogaconych w witaminę D po przechowywaniu i gotowaniu

Dane literaturowe wskazują, że świeże grzyby wystawione na działanie promieni UV podczas przechowywania zachowują istotne pod względem odżywczym ilości witaminy D2. Dotyczy to warunków chłodniczych, gdzie wykazano wysoką stabilność witaminy D2 w produktach przechowywanych do 7 dni. Ilość witaminy D2 w pieczarkach, grzybach shiitake oraz w bocznikach wystawionych na działanie lampy UV-B, a następnie suszonych gorącym powietrzem może utrzymywać się na stałym poziomie do ośmiu miesięcy, pod warunkiem, że grzyby są przechowywane w suchym, ciemnym miejscu, w temperaturze 20°C, w zamkniętych pojemnikach bez dostępu światła [Sławińska 2016].

Do dzisiaj niewiele badań dotyczyło oceny wpływu obróbki kulinarnej (termicznej) na retencję witaminy D2 w grzybach „wzbogaconych” w witaminę D. Literatura wskazuje jednak, że po 5 minutach smażone bez oleju pieprzniki jadalne zachowały co najmniej 85% zawartości witaminy D2 w stosunku do jej ilości w surowych grzybach, biorąc pod uwagę straty wody [Mattila 1999, Loźnjak 2018]. W pieczarkach z zawartością witaminy D2 na poziomie 19 µg/100 g świeżej masy po gotowaniu w wodzie przez 20 minut lub pieczeniu w piekarniku przez 10 minut pozostało 62-67% początkowej ilości, zaś podczas smażenia grzybów na patelni bez oleju przez 5 min zawartość witaminy D2, która pozostała, była na

poziomie 88% [Loźnjak 2018]. Oznacza to, że czas trwania i sposób gotowania są ważnymi czynnikami w zatrzymaniu witaminy D2 w grzybach.

7. Biodostępność

Pierwsze badania mające na celu określenie biodostępności witaminy D2 w grzybach zostały przeprowadzone dopiero w latach 90 XX wieku [Outila 1999]. Dostępność biologiczną witaminy D2 z grzybów oceniono w badaniach interwencyjnych z udziałem 30 zdrowych dorosłych osób. Doświadczenie polegało na spożywaniu przez uczestników badania przez trzy miesiące 2000 IU witaminy D2 dziennie, gdzie pierwsza grupa osób otrzymała zadaną ilość w postaci suplementu witaminy D2, a druga grupa w postaci preparatów grzybowych [Keegan 2013]. Wykazano, że witamina D2 z grzybów była równie efektywna w zwiększaniu i utrzymywaniu stężenia witaminy D w surowicy krwi, jak suplement witaminy D2. W innym badaniu trwającym pięć tygodni uczestnikom podawano zupę grzybową przygotowaną z grzybów wystawionych na działanie promieniowanie UV-B. Okazało się, że poziom witaminy D poprawił się równie skutecznie jak u badanych, którzy otrzymywali suplement witaminy D2 [Urbain 2011]. Badania wskazują, że bardziej skuteczna w podnoszeniu stężenia witaminy D we krwi jest witamina D3 [Wilson 2017, Tripkovic 2017], jednak ze względu na naturalne źródła jej pochodzenia nie jest odpowiednia dla wegan i wegetarian. Dlatego witamina D2 pochodząca z grzybów takich jak pieczarka czy bocznik może stanowić dobre jej źródło nie tylko dla osób na diecie wegetariańskiej, ale także dla wszystkich u których stwierdza się niedobory witaminy D.

8. Podsumowanie

Badania prowadzone w różnych ośrodkach naukowych na świecie potwierdzają, że działanie promieniowania UV podczas uprawy grzybów przyczynia się do wzrostu w nich zawartości witaminy D2. Uzyskane w wyniku takiej uprawy grzyby mogą zawierać co najmniej 10 µg D2/100 g świeżej masy, a w związku z tym porcja 100 g może dostarczyć konsumentowi 50-100% dziennej dawki witaminy D. Ekspozycja grzybów na promieniowanie UV po zbiorze lub po wysuszeniu mogłyby stać się standardową praktyką handlową. Stosowanie impulsowych lamp UV może być najbardziej opłacalną metodą w przemysłowej produkcji pieczarek wzbogaconych w witaminę D, z powodu krótkiego czasu ekspozycji (1-3 sekundy) potrzebnego do osiągnięcia co najmniej 10 µg D2/100 g świeżej masy. Grzyby zawierają wysokie stężenie witaminy D2, która jest biodostępna i stosunkowo stabilna podczas przechowywania i gotowania. Dlatego uzasadnienie znajduje

prowadzenie dalszych badań w celu określenia optymalnego poziomu promieniowania UV wymaganego do produkcji grzybów zawierających witaminę D2 w ilości znaczącej z żywieniowego punktu widzenia, a także określenie optymalnych warunków przechowywania oraz kulinarnych metod obróbki termicznej. Jednocześnie dalszych badań wymagają korzyści związane z działaniem witaminy D2 pochodzącej z grzybów w odniesieniu do witaminy D3 syntezowanej w wyniku ekspozycji skóry na promieniowanie słoneczne.

LITERATURA

1. Bailey R. L., Dodd K. W., Goldman J. A., Gahche J. J., Dwyer J. T., Moshfegh A. J., Sempos C. T., Picciano M. F. (2010): Estimation of total usual calcium and vitamin D intakes in the United States. *J. Nutr.*, 140, 817–822.
2. Barros L., Cruz T., Baptista P., Estevinho L. M., Ferreira I. C. F. R. (2008): Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Food Chem. Toxicol.*, 46, 2742–2747.
3. Black L. J., Walton J., Flynn A., Cashman K. D., Kiely M. (2015): Small increments in vitamin D intake by Irish adults over a decade show that strategic initiatives to fortify the food supply are needed. *J. Nutr.*, 145, 969–976.
4. Calvo M. S., Whiting S. J., Barton C. N. (2005): Vitamin D intake: A global perspective of current status. *J. Nutr.*, 135, 310–316.
5. Feeney M. J., Miller A. M., Roupas P. (2014): Mushrooms-biologically distinct and nutritionally unique. *Nutr. Today*, 49, 301–307.
6. Ford J. A., MacLennan G. S., Avenell A., Bolland M., Grey A., Witham M., Group R. T. (2014): Cardiovascular disease and vitamin D supplementation: Trial analysis, systematic review, and meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, 100, 746–755.
7. Guan W., Zhang J., Yan R., Shao S., Zhou T., Lei J., Wang Z. (2016): Effects of UV-C treatment and cold storage on ergosterol and vitamin D2 contents in different parts of white and brown mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Chem.*, 210, 129–134.
8. Hossein-nezhad A., Holick M. F. (2013): Vitamin D for health: A global perspective. *Mayo Clin. Proc.*, 88, 720–755.
9. Huang G., Cai W., Xu B. (2016): Vitamin D2, ergosterol, and vitamin B2 content in commercially dried mushrooms marketed in China and increased vitamin D2 content following UV-C irradiation. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 1, 1–10.
10. Jasinghe V. J., Perera C. O., Barlow P. J. (2006): Vitamin D2 from irradiated mushrooms significantly increases femur bone mineral density in rats. *J. Toxicol. Environ. Health*, 69, 1979–1985.
11. Jasinghe V. J., Perera C. O. (2006): Ultraviolet irradiation: The generator of vitamin D2 in edible mushrooms. *Food Chem.*, 95, 638–643.
12. Jasinghe V. J., Perera C. O., Sablini S. S. (2007): Kinetics of the conversion of ergosterol in edible mushrooms. *J. Food Eng.*, 79, 864–869.
13. Jones G. (2014): Vitamin D. *Modern Nutrition in Health and Disease*, 11 ed.; Wolters Kluwer Health: Baltimore, MD, USA.

14. Kalaras M. D., Beelman R. B., Elias R. J. (2012): Effects of postharvest pulsed UV light treatment of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) on vitamin D2 content and quality attributes. *J. Agric. Food Chem* 60, 220–225.
15. Keegan R. J., Lu Z., Bogusz J. M., Williams J. E., Holick M. F. (2013): Photobiology of vitamin D in mushrooms and its bioavailability in humans. *Dermatoendocrinology*, 5, 165–176.
16. Ko J. A., Lee B. H., Lee J. S., Park H. J. (2008): Effect of UV-B exposure on the concentration of vitamin D2 in sliced shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *J. Agric. Food Chem.*, 56, 3671–3674.
17. Koyyalamudi S. R., Jeong S. C., Pang G., Teal A., Biggs T. (2011): Concentration of vitamin D2 in white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) exposed to pulsed UV light. *J. Food Compos. Anal.*, 24, 976–979.
18. Lamberg-Allardt C. J. E. (2006): Vitamin D in foods and as supplements. *Prog. Biophys. Mol. Biol.*, 92, 33–38.
19. Lips P. (2006): Vitamin D physiology. *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 2006, 92, 4–8.
20. Ložnjak P., Jakobsen J. (2018): Stability of vitamin D3 and vitamin D2 in oil, fish and mushrooms after house-hold cooking. *Food Chem.*, 254, 144–149.
21. Mattila P. H., Piironen V. I., Uusi-Rauva E. J., Koivistoinen P. E. (1994): Vitamin D contents in edible mushrooms. *J. Agric. Food Chem.*, 42, 2449–2453.
22. Mattila P., Ronkainen R., Lehtikainen K., Piironen V. (1999): Effect of household cooking on the vitamin D content in fish, eggs, and wild mushrooms. *J. Food Compos. Anal.*, 12, 153–160.
23. Mau J. L., Chen P. R., Yang J. H. (1998): Ultraviolet irradiation increased vitamin D2 content in edible mushrooms. *J. Agric. Food Chem.*, 46, 5269–5272.
24. Nölle N., Argyropoulos D., Ambacher S., Müller J., Biesalski H. K. (2016): Vitamin D2 enrichment in mushrooms by natural or artificial UV-light during drying. *Food Sci. Technol.*, 85, 400–404.
25. Nölle N., Argyropoulos D., Müller J., Biesalski H. K. (2018): Temperature stability of vitamin D2 and color changes during drying of UVB-treated mushrooms. *Dry. Technol.*, 36, 307–315.
26. Outila T. A., Mattila P. H., Piironen V. I., Lamberg-Allardt C. J. E. (1999): Bioavailability of vitamin D from wild edible mushrooms (*Cantharellus tubaeformis*) as measured with a human bioassay. *Am. J. Clin. Nutr.*, 69, 95–98.
27. Phillips K. M., Horst R. L., Koszewski N. J., Simon R. R. (2012): Vitamin D4 in mushrooms. *PLoS ONE*, 7, e40702.
28. Phillips K. M., Rasor A. S. (2013): A nutritionally meaningful increase in vitamin D in retail mushrooms is attainable by exposure to sunlight prior to consumption. *J. Nutr. Food Sci.*, 3, 1.
29. Phillips K. M., Ruggio D. M., Horst R. L., Minor B., Simon R. R., Feeney M. J., Byrdwell W. C., Haytowitz D. B. (2011): Vitamin D and sterol composition of 10 types of mushrooms from retail suppliers in the United States. *J. Agric. Food Chem.*, 59, 7841–7853.
30. Rajewska J., Bałasińska B. (2004): Związki biologicznie aktywne zawarte w grzybach jadalnych i ich korzystny wpływ na zdrowie. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 58, 352–357.

31. Rangel-Castro J. I., Staffas A., Danell E. (2002): The ergocalciferol content of dried pigmented and albino *Cantharellus cibarius* fruit bodies. *Mycol. Res.*, 106, 70–73.
32. Royse D. J. (2014): A global perspective on the high five: Agaricus, Pleurotus, Lentinula, Auricularia & Flammulina. In Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8), New Delhi, India, 19–22 November 2014.
33. Siwulski M., Sobieralski K., Sas – Golak I. (2014): Wartość odżywcza i prozdrowotna grzybów. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość*, 1(92), 16– 28. DOI:
34. Simon R. R., Phillips K. M., Horst R. L., Munro I. C. (2011): Vitamin D mushrooms: Comparison of the composition of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) treated post-harvest with UVB light or sunlight. *J. Agric. Food Chem.*, 59, 8724–8732.
35. Sławińska A., Fornal E., Radzki W., Skrzypczak K., Zalewska-Korona M., Michalak-Majewska M., Parfieniuk E., Stachniuk A. (2016): Study on vitamin D2 stability in dried mushrooms during drying and storage. *Food Chem.*, 199, 203–209.
36. Teichmann A., Dutta P. C., Staffas A., Jägerstad M. (2007): Sterol and vitamin D2 concentrations in cultivated and wild grown mushrooms: Effects of UV irradiation. *LWT-Food Sci. Technol.*, 40, 815–822.
37. Tripkovic L., Wilson L. R., Hart K. H., Johnsen S., de Lusignan S., Smith C. P., Bucca G., Penson S., Chope G., Elliot R. (2017): Daily supplementation with 15 µg vitamin D2 compared with vitamin D3 to increase wintertime 25-hydroxyvitamin D status in healthy South Asian and white European women: A 12-wk randomized, placebo-controlled food-fortification trial. *Am. J. Clin. Nutr.*, 106, 481–490.
38. Urbain P., Jakobsen J. (2015): Dose-response effect of sunlight on vitamin D2 production in *Agaricus bisporus* mushrooms. *J. Agric. Food Chem.*, 63, 8156–8161.
39. Urbain P., Singler F., Ihorst G., Biesalski H. K., Bertz H. (2011): Bioavailability of vitamin D2 from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: A randomized controlled trial. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 65, 965–971.
40. Vatanparast H., Calvo M. S., Green T. J., Whiting S. J. (2010): Despite mandatory fortification of staple foods, vitamin D intakes of Canadian children and adults are inadequate. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 121, 301–303.
41. Weete J. D., Abril M., Blackwell M. (2010): Phylogenetic distribution of fungal sterols. *PLoS ONE*, 5, e10899.
42. Wilson L. R., Tripkovic L., Hart K. H., Lanham-New S.A. (2017): Vitamin D deficiency as a public health issue: Using vitamin D2 or vitamin D3 in future fortification strategies. *Proc. Nutr. Soc.*, 76, 392–399.

JOANNA KOBUS-CISOWSKA, AGNIESZKA ZAWADZKA

PROCESY WPŁYWAJĄCE NA ZAWARTOŚĆ WITAMINY D W GRZYBACH

Słowa kluczowe: *witamina D, grzyby, promieniowanie UV, pieczarka, shiitake, bocznik*

STRESZCZENIE

Powszechnie spożywane gatunki grzybów pod wpływem działania promieni UV (światło słoneczne lub lampa UV) mogą generować istotne z punktu widzenia żywieniowego zawartości witaminy D. Główną formą witaminy D, która występuje w grzybach jest D2 (ergokalcysterol $C_{28}H_{44}O$) oraz mniejsze ilości D3 (cholekalcyferol $C_{27}H_{44}O$) i D4 (22-dihydroergokalcysterol $C_{28}H_{46}O$). Witamina D3 w największych ilościach znajduje się w produktach pochodzenia zwierzęcego. Źródłem witaminy D2 są grzyby. Pomimo tego, że procesy technologiczne lub przechowywanie powodują spadek jej zawartości, zawartość D2 w grzybach może stanowić dobre jej źródło w diecie.

Celem pracy była analiza aktualnych danych literaturowych w zakresie wpływu promieniowania UV na syntezę witaminy D2 w grzybach, a także wpływu ich przechowywania i obróbki termicznej na jej zawartość i biodostępność.

JOANNA KOBUS-CISOWSKA, AGNIESZKA ZAWADZKA

PROCESS INFLUENCING THE VITAMIN D CONTENT IN MUSHROOMS

Keywords: *vitamin D, mushroom, UV radiation, button mushroom, shiitake mushroom, oyster mushroom*

SUMMARY

Commonly consumed mushroom species exposed to UV radiation (sunlight or UV lamp) can generate nutritionally important amounts of vitamin D. The most common form of vitamin D in mushrooms is D2, with lesser amounts of vitamin D3 and D4, while vitamin D3 is the most common form of vitamin in animal products. Although the level of vitamin D2 in mushrooms exposed to UV radiation may decrease with storage and cooking, if they are consumed before the expiry date, the level of vitamin D2 is likely to remain above 10 μg / 100 fresh mass therefor mushrooms have the potential to be the only non-animal and unenriched food source that can provide a significant amount of vitamin D2. This review analyses current information on the role of UV radiation in enhancing concentration of vitamin D2 in mushrooms, the effects of storage and cooking on D2 content, and bioavailability of vitamin D2 from mushrooms.

e-mail: Agnieszka.Zawadzka@KUBARA.pl
e-mail: Joanna.kobus@up.poznan.pl