

Received: 29.03.2017  
Accepted: 12.10.2017  
Published: 06.04.2018

## Właściwości odżywcze i alergizujące jaj kurzych

### Nutritional and allergenic properties of hen eggs

Ewa Seweryn, Emilia Królewicz, Kamilla Stach, Irena Kustrzeba-Wójcicka

Katedra i Zakład Biochemii Lekarskiej, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

#### Streszczenie

Jaja kurze charakteryzują się cennymi wartościami odżywczymi i są drugim po mleku krowim, pokarmem obcogatunkowym wprowadzanym do diety dziecka. Pewne składniki jaja wykazują również inne niż dietetyczne właściwości biologiczne. Zarówno białka, fosfolipidy czy karotenoidy są związkami bioaktywnymi, które mają wpływ na procesy fizjologiczne w organizmie ludzkim. Regularne spożywanie jaj kurzych bogatych w substancje o właściwościach antibakteryjnych, przeciwzapalnych, immunomodulujących, czy antyoksydacyjnych może przyczynić się do zmniejszenia zachorowalności na niektóre choroby cywilizacyjne. Owomukoid jako glikoproteina o aktywności inhibitora proteaz bakteryjnych stanowi komponent jaja kurzego o właściwościach bakterioobójczych. Podobnie białko owotransferyna działa bakteriostatycznie na szczep *Escherichia coli*, czy *Streptococcus mutans*. Ze względu na silne właściwości przeciwutleniające, niezwykle cennymi składnikami jaja są fosfolipidy, witamina E oraz kwas foliowy. Uważa się, że wysoki potencjał antyoksydacyjny tych związków ma znaczenie w zapobieganiu rozwojowi miażdżycy i innych zespołów metabolicznych. Warto wspomnieć również o luteinie i zeaksantynie, które są barwnikami tworzącymi barierę ochronną przed degeneracją plamki żółtej oka ludzkiego. Niezwykle ważną funkcję dla układu odpornościowego człowieka pełni także lizozym, który pobudza syntezę interferonu, stymulując odpowiedź immunologiczną. Niestety, nadwrażliwość na jaja kurze jest jedną z najpowszechniej występujących alergii pokarmowych u dzieci i dotyczy 0,5-9% populacji. Alergeny główne jaja kurzego (*Gallus spp.*): owomukoid (Gal d 1), owoalbumina (Gal d 2), konalbumina (Gal d 3) oraz lizozym (Gal d 4) obecne są w białku jaja i wywołują najczęściej reakcje alergiczne u dzieci. Alergeny pośrednie: albumina surowicy (Gal d 5) oraz białko YGP42 (Gal d 6) znajdują się w żółtku i częściej uczulają dorosłych.

**Słowa kluczowe:** jajo kurze • bioaktywne komponenty • alergja

#### Summary

Chicken eggs, along with cow milk, are the most important source of proteins and other valuable nutrients that are introduced to a baby's diet. Certain components of eggs, besides nutritional, also have other biological functions. Both proteins, phospholipids or carotenoids, are bioactive components which affect the physiological processes in the human body. Regular consumption of chicken eggs rich in substances with antibacterial, anti-inflammatory, immunomodulatory and antioxidant properties may contribute to reducing the incidence of certain lifestyle diseases. Ovomucoid, as a glycoprotein which inhibits bacterial protease, is a component of eggs with bactericidal properties. Similarly, the ovotransferrin protein has a bacteriostatic effect on the *Escherichia coli* strain or *Streptococcus mutans*. Due to the strong antioxidant properties, phospholipids, vitamin E and folic acid are extremely valuable egg components. It is believed that the high antioxidant potential of these compounds is important in preventing the development of atherosclerosis and other metabolic syndromes. It is also worth mentioning lutein and zeaxanthin, which are dyes that form a protective barrier against the degeneration of the macula of the human eye. An extremely important function

for the human immune system is also met by lysozyme, which stimulates the synthesis of interferon, stimulating the immune response. Unfortunately, hypersensitivity to chicken eggs is one of the most common food allergies in children and affects 0.5-9% of the population. The major egg allergens (*Gallus* spp.): ovomucoid (Gal d 1), ovalbumin (Gal d 2), conalbumin (Gal d 3) and lysozyme (Gal d 4) are present in egg white and most often cause allergic reactions in children. Minor allergens: serum albumin (Gal d 5) and YGP42 protein (Gal d 6) are found in the egg yolk and are more likely to sensitize adults.

**Keywords:** hen's egg • bioactive components • allergy

**GICID:** 01.3001.0011.7339  
**DOI:** 10.5604/01.3001.0011.7339  
**Word count:** 5965  
**Tables:** 2  
**Figures:** –  
**References:** 92

**Adres autorki:** dr Emilia Królewicz, Katedra i Zakład Biochemii Lekarskiej Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, ul. Chałubińskiego 10, 50-368 Wrocław; e-mail: emilia.krolewicz@umed.wroc.pl

## WSTĘP

Jaja kurze zawierają niezbędne składniki odżywcze, które mają dobroczynny wpływ na zdrowie człowieka. Są źródłem związków biologicznie aktywnych, które oddziałują na procesy metaboliczne zachodzące w organizmie. Związki te charakteryzują się szeroko pojętym działaniem nutraceutycznym i prozdrowotnym. Są to białka (12,1 g/100 g masy jaja kurzego), lipidy (12,1 g/100 g m.j.k.), cholesterol (410 mg/100 g m.j.k.) i karotenoidy (10 µg/100 g m.j.k.) [57]. Białka jaj kurzych dobrze poznano ze względu na łatwą dostępność surowca do badań oraz szeroko opracowane metody ekstrakcji. Do najważniejszych z nich zalicza się ovomukoid, owoalbuminę, lizozym, owotransferynę, cystatynę, owoinhibitor i foswitynę. Związki biologicznie aktywne jaja kurzego wykazują właściwości antyoksydacyjne, antymikrobiologiczne, immunomodulacyjne, antyzapalne oraz prozapalne [8,57]. Jaja kurze dostarczają także niezbędnych witamin z grupy B, witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E i K), mikroelementów (wapń, magnez, żelazo, fosfor, cynk, selen, jod, potas, sód), choliny oraz relatywnie mniejsze ilości nasyconych kwasów tłuszczowych niż inne źródła pokarmu pochodzenia zwierzęcego [73,82]. Całkowita wartość energetyczna jaja kurzego wynosi przeciętnie 162 kcal/100 g [57]. Duża wartość odżywcza białka jaj kurzych powoduje, że są cennym składnikiem diety osób nie tylko o zwiększonym zapotrzebowaniu na proteiny, ale także dla pozostałych konsumentów.

Jaja kurze o znaczącej wartości odżywczej są niestety na jednym z pierwszych miejsc wśród alergenów pokarmowych. Dotychczas zidentyfikowano ponad 158 białek występujących w białku jaja kurzego [52]. Większość alergenów występuje w białku jaja, chociaż żółtko również zawiera substancje o aktywności aler-

genowej [77]. Pięć spośród poznanych składników jaj wyróżnia się silnymi właściwościami alergennymi i są uznawane za główne alergeny jaja kurzego. Są to glikoproteiny: ovomukoid (Gal d 1), owoalbumina (Gal d 2), owotransferyna (Gal d 3), lizozym (Gal d 4) i albumina (Gal d 5) [23].

## BIOAKTYWNE SUBSTANCJE JAJA KURZEGO

### Fosfolipidy

Bogatym źródłem fosfolipidów jest żółtko jaja, które zawiera ich około 1,3 g [24]. Głównymi fosfolipidami są fosfatydylocholina (~72%), fosfatydyloetanolamina (~20%) i lizofosfatydylocholina (3%) [9]. Są dobrze przyswajalne i absorbowane prawie w 90% w przewodzie pokarmowym [45]. Fosfolipidy i cholesterol są wbudowywane w lipoproteiny osocza, frakcję HDL (high-density lipoprotein), które są syntetyzowane w wątrobie i jelitach. Główną rolę w transporcie fosfolipidów pomiędzy lipoproteinami odgrywa hydrofobowa glikoproteina osocza PLTP (phospholipids transfer protein). Fosfolipidy wykazują aktywność antyoksydacyjną, która jest pozytywnie skorelowana ze stopniem nienasycenia kwasów tłuszczowych, czyli ze zwiększoną liczbą wiązań podwójnych [89]. Hydroksyaminowe reszty łańcuchów bocznych choliny i etanolaminy wykazują silną inhibicję peroksydacji lipidów, która ma znaczenie w rozwoju miażdżycy. Liczne badania wykazały, że frakcje HDL hamują oksydacyjną modyfikację frakcji LDL (low-density lipoprotein) przez detoksykację oksydowanych fosfolipidów, powstających podczas peroksydacji lipidów. Stwierdzono, że spożycie jednego jaja kurzego dziennie wpływa na wzrost frakcji HDL-fosfatydyloetanolaminy oraz HDL-sfingomieliny, a przez to większą ich biodostępność dla organizmu [9,14].

## Cholesterol

Jajka są jednym z bogatszych źródeł cholesterolu żywnościowego, jedno dostarcza około 186 mg tego składnika. Cholesterol występuje głównie w żółtku jaja i stanowi tylko 5% całkowitej frakcji lipidowej [42]. Rekomendowane spożycie jaj często jest oparte na zawartości cholesterolu, natomiast absorpcja tego lipidu jest cechą indywidualną i waha się w zakresie 15-85% [55]. Efektywność absorpcji cholesterolu jest różna, w zależności od insulinooporności, przy której jest niższa absorpcja, natomiast odwrotnie jest w przypadku insulinooporności [64]. Oporność insulinowa i otyłość wpływa na wzrost syntezy endogennego cholesterolu i prowadzi do hipercholesterolemii, bardzo powszechnie występującej w społeczeństwach krajów wysoko rozwiniętych [64,65]. Otyłość dodatkowo wiąże się z podwyższonym wydalaniem cholesterolu z żółcią (cholesterol endogeny), który może konkurować z cholesterolem żywnościowym w tworzeniu miceli i w procesie absorpcji [8]. Absorpcja cholesterolu z jaj kurzych może się zmieniać w wyniku interakcji z fosfolipidami, które potencjalnie zmieniają mobilizację cholesterolu z miceli w jelitach [24]. W wyniku badań *in vivo*, stwierdzono, że u szczurów sprague-dawley, fosfatydylocholina i sfingomielinina pochodzące z żółtka jaja obniżają absorpcję cholesterolu w jelitach [60]. Natomiast podawanie szczurom lizofosfatydylocholino powoduje wzrost absorpcji cholesterolu [40]. Zaabsorbowany cholesterol jest wbudowywany do chylomikronów i HDL w enterocytach i uwalniany do krwioobiegu oraz dostarczany do wątroby i tkanek obwodowych. Regularna konsumpcja jajek powoduje wzrost osoczowej frakcji HDL-cholesterol, a nawet wzrost wielkości tych lipoprotein zarówno u ludzi zdrowych, jak i z zespołem metabolicznym [14]. Parametry te zmieniają się pod wpływem zwiększonego spożycia fosfolipidów pochodzących z jaj, co udowodniono w badaniach przeprowadzonych na zwierzętach i u ludzi [20]. Stwierdzono również, że spożycie zwłaszcza żółtka jaj kurzych zwiększa frakcję HDL-PE (fosfatydyloetanolamina) i obniża frakcję HDL-TG (trójglicerydy) [9]. Wynika z tego, że zwiększone spożycie fosfolipidów pochodzących z żółtka jaja może zmieniać zawartość frakcji HDL-fosfolipidy i wpływać na jakość frakcji HDL-cholesterol, a także odzwierciedlać udział w transporcie zwrotnym cholesterolu.

## Owomukoid

Owomukoid jest kwaśną glikoproteiną o masie cząsteczkowej 28 kDa i pI 4,1-4,6, stanowiącą 10-11% masy wszystkich białek wchodzących w skład białka jaja kurzego. Część białkowa glikoproteiny składa się z 185 reszt aminokwasowych, a część cukrowa zawiera: 14% glukozaminy, 7% mannozy i około 1% kwasu sialowego. Łańcuch białkowy formuje trzy homologiczne, tandemowe domeny, z których każda ma 3 wewnętrzcząsteczkowe mostki disiarczkowe. Typ A tworzą domeny I i II, a typ B - domena III [30]. Owomukoid jest mieszaniną dwóch postaci, większej i mniejszej (pomniejszonej o dipeptyd Val-134 - Ser-135). Jest to polimorfizm

typowy dla wszystkich jaj kurzych [91]. U podstaw właściwości immunologicznych tego białka leży wiązanie się z przeciwciałami klas IgE i IgG [21]. Mogą się łączyć z wszystkimi trzema domenami, ale główną reaktywnością wykazuje się domena trzecia [91]. Matsuda i wsp. przeprowadzili badania, z których wynika, że bardzo ważna dla wiązania z przeciwciałem IgE, jest reszta cukrowa w N-glikozylowanej domenie III [54]. Owomukoid jest białkiem termostabilnym i nie koaguluje podczas ogrzewania, zachowuje także znaczną odporność na trawienie proteazami, sam wykazując aktywność inhibitora proteaz. Hamuje aktywność proteolityczną trypsyny bydłczej oraz proteaz bakteryjnych, działając tym samym przeciwbakteryjnie. Najbardziej aktywna jako inhibitor wołowej  $\beta$ -trypsyny jest domena druga, w której najbardziej reaktywnym miejscem jest pojedyncze wiązanie Arg-89 - Ala-90. Pierwsza i trzecia domena nie są już tak aktywne jako inhibitory proteaz [80].

## Owoalbumina

Owoalbumina została wyizolowana jako jedno z pierwszych białek jaja kurzego, a jednak jej funkcja biochemiczna pozostaje nadal nieokreślona. Prawdopodobnie jest tylko materiałem zapasowym dla rozwijającego się zarodka. W jaju kurzym występują także spokrewnione postaci tego białka, są to owoalbumina X i owoalbumina Y [79]. Wszystkie trzy białka filogenetycznie należą do nadrodziny serpin, które są inhibitorami proteaz serynowych i cysteinowych, pełniącymi rolę ochronną [34]. Owoalbumina jest jednym z nich, ale nie wykazuje właściwości inhibitorowych. Jest fosfoglikoproteiną o ciężarze cząsteczkowym 45 kDa, która tworzy 54% wszystkich białek jaja kurzego. Występuje w postaci monomeru zbudowanego w większości z aminokwasów hydrofobowych i ma tylko jedno miejsce N-glikozylacji, Asn-292 [86]. Tworzy izoformy w zależności od ilości ufosforylowanych reszt aminokwasowych [87]. Zawiera sześć reszt cysteinowych z pojedynczym wiązaniem disulfidowym i jest jedyną proteiną białka jaja z wolnymi grupami tiolowymi (SH) [49]. Obecność grup SH wpływa na jej zdolności regulacyjne w procesach utleniania i redukcji. Natomiast dzięki możliwości wiązania jonów metali wykazuje również właściwości antyoksydacyjne [69]. Te właściwości są jeszcze bardziej efektywne w wyniku koniugacji z cukrami o różnej konfiguracji grup hydroksylowych w cząsteczce [78].

## Owotransferyna

Owotransferyna należy do białek z rodzaju transferyn, wiążących preferencyjnie jony żelaza. Jest glikoproteiną, która tworzy 12-13% wszystkich białek jaja kurzego [49]. Najważniejszą funkcją owotransferyny jest wiązanie jonów żelaza, dzięki której wykazuje właściwości bakteriostatyczne. Żelazo jest niezbędne do wzrostu bakterii, natomiast w postaci skompleksowanej nie jest przyswajane przez drobnoustroje. Najbardziej wrażliwe na owotransferynę są drobnoustroje z rodzaju *Pseudomonas* spp., *Escherichia coli* i *Streptococcus mutans*, natomiast do naj-

bardziej opornych należą *Proteus* spp. i *Klebsiella* spp. [29]. Dzięki interakcji owotransferyny z powierzchnią lipidową cząsteczek wirusów, białko to wykazuje również właściwości antywirusowe [88]. Ibrahim i wsp. [33] wykazali, że owotransferyna katalizuje również reakcję dysmutacji anionorodnika ponadtlenkowego, podobnie jak dysmutaza ponadtlenkowa (SOD). Funkcja ta wynika z tego, że owotransferyna zawiera wysoko reaktywne reszty cysteiny oraz może wiązać jony miedzi i cynku. Bardzo prawdopodobne wydaje się, że owotransferyna uczestniczy w utrzymaniu komórkowego statusu redox [59].

### Lizozym

Lizozym jest białkiem globularnym o dużej aktywności enzymatycznej. Rozkłada wiązania  $\beta$ -glikozydowe między N-acetyloglukozaminą, a kwasem N-acetylmuraminowym w polisacharydach budujących ściany komórkowe bakterii Gram-dodatnich. Proces powoduje rozpad komórki bakteryjnej. Lizozym jest jednym z czynników nieswoistej odpowiedzi immunologicznej. Inaktywuje wirusy przez ich precypitację oraz stymuluje odpowiedź immunologiczną gospodarza w wyniku pobudzenia syntezy interferonu [76]. Wykazuje także aktywność przeciwgrzybiczą, zwłaszcza wobec *Candida albicans* [8]. Tworzy 3,5% całej masy białka kurzego i jest łatwo dostępny i dobrze przyswajalny [59]. Białko to należy do grupy defensyn, które wiążą produkty zaawansowanej glikacji wpływające na wzrost stresu oksydacyjnego [50]. Lizozym wpływa również na zwiększenie skuteczności działania antybiotyków  $\beta$ -laktamowych oraz wykazuje istotne właściwości antyoksydacyjne i przeciwzapalne [27].

### Cystatyna

Cystatyna, występująca w białku jaja kurzego jest silnym inhibitorem ficyny i papainy [70]. Wykazuje także właściwości inhibitorowe wobec bromelainy i katapsyn B, H, L, S [76]. Występuje w postaci ufosforylowanej i nieufosforylowanej, przez co jest bardziej termostabilna niż inne inhibitory jaja kurzego, np. owoinhibitor. Jest silnym inhibitorem proteinaz cysteinowych i dlatego wykazuje działanie antibakteryjne i antywirusowe [75]. Zbadano wpływ cystatyny z jaj kurzych na szczepy bakterii *Escherichia coli* i stwierdzono jej hamujące działanie na wzrost badanych szczepów [75]. Stąd też duże zainteresowanie tym białkiem zarówno w medycynie, jak i w przemyśle spożywczym. W innych badaniach stwierdzono skuteczność cystatyny w hamowaniu wzrostu grzybów z rodzaju *Candida albicans*, *Candida parapsilosis*, *Candida galabrata*, *Candida tropicalis* o zróżnicowanej oporności na azole, które są powszechnie stosowane w zakażeniach grzybiczych [39]. W czasie rozwoju jaja wykazuje również aktywność immunomodulującą, ponieważ wpływa na syntezę i uwalnianie tlenu azotu [2,84].

### Owoinhibitor

Jajo kurze zawiera nie tylko materiał odżywczy, ale także skuteczny system ochrony przeciwko inwazji mikrobio-

logicznej, zapewniając odpowiedni rozwój zarodka. System zapewnia stabilną i kompletną wartość jaja nawet przez dłuższy czas jego przechowywania. W jajku zidentyfikowano co najmniej 40 różnych inhibitorów proteaz, wliczając w to dwa, dobrze poznane i powszechnie występujące białka, owoinhibitor i owomukoid [67]. Oba białka wykazują właściwości inhibitorowe wobec proteaz bakteryjnych i grzybiczych. Owomukoid jest inhibitorem tylko trypsyny, natomiast owoinhibitor hamuje proteazy serynowe, takie jak trypsyna, chymotrypsyna, elastaza czy subtylizyna. Owoinhibitor zawiera siedem charakterystycznych domen (Kazal-like domains) oraz mostki disiarczkowe, które również wpływają na jego właściwości. Pierwsze cztery domeny odpowiadają za inhibicję trypsyny, piąta domena za hamowanie chymotrypsyny, natomiast szósta i siódma domena wykazują aktywność inhibitorową wobec elastazy [16]. Niektórzy autorzy sugerują, że owoinhibitor hamuje także subtylizynę, co może mieć znaczenie w działaniu bakteriostatycznym [11,48]. Obecność siedmiu charakterystycznych domen w owoinhibitorze czyni to białko potencjalnym czynnikiem antymikrobiologicznym.

### Foswityna

Ponad 54% aminokwasów wchodzących w skład foswityny to reszty serynowe, których większość jest ufosforylowana. Duże powinowactwo do metali, a zwłaszcza jonów żelaza czyni ją potencjalnym antyoksydantem. W fizjologicznych warunkach stężenie żelaza jest kontrolowane przez białka wiążące, jak ferrytyna i transferyna, które są odpowiedzialne za homeostazę tego metalu w organizmie człowieka. W przypadku nadmiaru jonów  $Fe^{+2}$  mogą brać udział w reakcji Fentona, w wyniku której powstają wolne rodniki tlenowe, niezwykle toksyczne dla tkanek. Foswityna dzięki zdolnościom chelatowania jonów żelaza może spełniać rolę ochronną komórek i tkanek w obecności nadmiaru żelaza [90]. Udowodniono również skuteczność foswityny w peroksydacji lipidów błon komórkowych w warunkach nadmiaru jonów żelaza [59]. Dzięki właściwościom wiązania metali jest także istotnym inhibitorem melanogenezy, kontrolując syntezę melaniny w skórze ludzi i zwierząt [36].

### Karotenoidy

Karotenoidy, związki rozpuszczalne w tłuszczach są odpowiedzialne za żółto-pomarańczowy kolor żółtka jaja. Zdrowotne właściwości karotenoidów są dobrze poznane i potwierdzone licznymi badaniami [8,58,71]. Ponieważ człowiek nie może syntetyzować tych związków, muszą być dostarczane w pożywieniu. Biodostępność karotenoidów żółtka jaja kurzego czyni go najlepszym źródłem tych związków. Do bioaktywnych karotenoidów występujących w jajkach kurzych należą: luteina, zeaksantyna,  $\beta$ -kryptoksantyna, kantaksantyna,  $\beta$ -apo-8-karotenal i cytranaksantyna [18]. Na szczególne zainteresowanie zasługuje luteina i zeaksantyna, które są składnikami plamki żółtej oka ludzkiego i spełniają rolę ochronną przed negatywnym wpływem wolnych rodników. Barw-

niki te tworzą barierę ochronną przed degeneracją plamki żółtej. W badaniach naukowych polegających na suplementacji luteiny oraz luteiny i zeaksantyny wykazano właściwości antyzapalne obu związków [38]. Właściwości wiążą się z aktywnością antyoksydacyjną tych związków, dzięki występowaniu sprzężonych wiązań podwójnych, które mogą wygaszać tlen singletowy, stany tripletowe fotoczułych cząsteczek, czy też unieczynniać wolne rodniki [15,47]. W badaniach *in vitro* wykazano, że preinkubacja komórek nabłonkowych tęczówki oka ludzkiego z luteiną, zeaksantyną i tokoferolem znacznie zapobiega indukowanej nadtlenującym wodoru oksydacji białek, lipidów i DNA [28]. Ponadto, suplementacja luteiny, zeaksantyny i  $\alpha$ -tokoferolu powoduje wzrost stężenia glutationu oraz stosunek glutationu w postaci zredukowanej do glutationu w postaci utlenionej w odpowiedzi na stres oksydacyjny [28]. Niedawno udowodniono, że ekspresja genów kodujących enzymy zmiatające wolne rodniki (dysmutaza ponadtlenująca i katalaza) wzrasta u muszki owocowej (*Drosophila melanogaster*) po diecie bogatej w luteinę [92]. W innych badaniach wykazano, że luteina działa antygenotoksycznie w komórkach wątroby i nerek oraz zapobiega obniżeniu poziomu glutationu w tych tkankach [72]. Wyniki najnowszych badań wskazują, że karotenowce, takie jak luteina mogą działać nie tylko bezpośrednio wygaszając wolne rodniki, ale także pośrednio przez indukcję ekspresji genów związanych z efektywniejszą reakcją antyoksydacyjną i antyzapalną [58].

## WITAMINY I MIKROELEMENTY

Jajka kurze zawierają następujące witaminy: A, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>12</sub>, D, E, K i kwas foliowy, które są ważną częścią zdrowej i zbalansowanej diety. Bioaktywność witaminy E, a szczególnie  $\alpha$ -tokoferolu, jej aktywnej postaci jest ważna dla naszego organizmu. Pełni rolę ochronną przed wolnymi rodnikami indukowanymi peroksydacją lipidów błon komórkowych [35]. Dzielne spożycie witaminy E powinno osiągać 8-10 mg [35]. Jajo kurze może być bogate w tę witaminę i dostarczać jej nawet około 20 mg. Innym ważnym antyoksydantem jaja kurzego jest kwas foliowy, którego najbardziej aktywna postać, 5-metylotetrahydrofolian ma silne właściwości antyoksydacyjne [10]. W badaniach *in vivo* i *ex vivo* na ludzkich naczyniach krwionośnych wykazano, że związek poprawia funkcję śródbłonna indukowaną tlenkiem azotu, obniża wytwarzanie szkodliwych anionów ponadtlenujących oraz niszczy nadtlenującą azotu [10]. Jaja są też dobrym źródłem żelaza, fosforu i siarki, ale dostarczają także chlor, potas, sód, wapń i magnez. W ilościach mniejszych, a nawet śladowych, występują jony cynku, fluoru, bromu, jodu, miedzi, manganu, arsenu, boru, baru, chromu, glinu, krzemu, litu, molibdenu, ołowiu, rubidu, seleniu, strontu, kobaltu, tytanu, uranu, wanadu i srebra [73]. Badając różnice w składzie jaj kurzych wybranych ras zaobserwowano największą zawartość magnezu, miedzi i seleniu w jajach kur Sussex, natomiast u kur Rhode Island Red była zwiększona ilość potasu, żelaza i manganu [73]. W polskich, bardzo popularnych zielononóżkach kuro-patwianych stwierdzono podwyższoną ilość cynku,

a u żółtonózek podwyższony poziom sodu i wapnia [73]. Obecne w żółtku jaj kurzych, selen i jod mają również właściwości antyoksydacyjne. Dzięki ich obecności jaja kurze mogą stanowić skuteczną barierę w rozwoju wielu chorób układu sercowo-naczyniowego [57].

## ALERGIZUJĄCE WŁAŚCIWOŚCI JAJ KURZYCH

Alergia na składniki jaja kurzego jest jedną z najczęstszych alergii pokarmowych występujących u dzieci. Dotyczy to 0,5-2,5% małych dzieci na świecie, a w niektórych populacjach występuje znacznie częściej, np. w Australii aż 8,9% dzieci. Reaktywność wobec alergenów jaj kurzych często słabnie z wiekiem małego pacjenta i zazwyczaj dzieci „wyrastają” z alergii na jaja kurze. W niektórych jednak przypadkach choroba nie ustępuje i utrzymuje się w wieku starszym [62,68,77].

Zaburzenia w przebiegu alergii na jaja kurze mogą mieć charakter IgE-zależny i IgE-niezależny, przy czym za częstsze uznaje się reakcje IgE-zależne. Objawy występują zazwyczaj po raz pierwszy w wieku niemowlęcym, po wprowadzeniu jaj do diety dziecka. Alergeny jaja kurzego wywołują głównie wymioty i pokrzywkę, a także zaostrenie atopowego zapalenia skóry (AZS) u dzieci i świądu skóry u osób dorosłych, mogą także powodować odczyny anafilaktyczne [17,51,77].

Według starszych schematów żywienia niemowląt i małych dzieci - dzieciom zdrowym, bez alergii pokarmowej, wprowadzano jajka do diety po siódmym miesiącu życia, rozpoczynając od podawania żółtka w niewielkich ilościach. Białko jaja należało podawać dopiero po ukończeniu przez dziecko pierwszego roku życia. Obecnie zaleca się wprowadzanie jaj już w 5-6 miesiącu życia, przy czym podawać można zarówno samo żółtko jak i całe jajko. Zmiany w schematach żywienia są skutkiem badań naukowych, których wyniki pozwalają na konkluzję, że „wprowadzenie gotowanych jaj w wieku 4 do 6 miesięcy może chronić przed rozwojem alergii na jaja” [41,44,63]. Zauważono także, że dostępne dane naukowe nie są wystarczające, aby zalecać kobietom unikanie określonych produktów spożywczych w czasie ciąży lub karmienia piersią w celu ochrony ich dzieci przed chorobami alergicznymi [43].

## ALERGENY JAJA KURZEGO

Oficjalna lista alergenów Podkomitetu WHO/IUIS ds. Nomenklatury Alergenów nie obejmuje wszystkich składników jaja o wykazanej alergenności. Pominięcie niektórych alergenów jest podyktowane prawdopodobnie niedopełnieniem przez odkrywców tych alergenów rygorystycznych wymagań Podkomitetu WHO/IUIS o stopniu oczyszczenia alergenu i zaawansowania badań nad jego własnościami biochemicznymi i alergizującymi [22]. W celu przedstawienia jak najszerszej współcześnie dostępnej wiedzy o alergenach jaj kurzych postanowiono uzupełnić wykaz alergenów Podkomitetu WHO/IUIS o alergeny z bazy Allergome.

W tabeli 1 zestawiono informacje dotyczące alergenów jaja kurzego zdeponowane w dwóch bazach danych: Allergen WHO/IUIS (International Union of Immunological Societies) i Allergome [5,6].

Zgodnie z zaleceniami Podkomitetu WHO/IUIS alergeny są oznaczane trzema pierwszymi literami nazwy rodzajowej organizmu, będącego źródłem alergenu i pierwszą literą jego nazwy gatunkowej. W przypadku alergenów jaja kurzych jest to: Gal d (*Gallus domesticus*) [7]. W nazwach alergenów z bazy Allergen WHO/IUIS skrót Gal d uzupełnia cyfra arabska, będąca numerem porządkowym oznaczającym kolejność odkrycia i sklasyfikowania danego alergenu: Gal d 1-6. Natomiast alergeny z bazy Allergome zostały oznaczone skrótem Gal d dopełnionym nazwą biochemiczną lub skrótem nazwy biochemicznej danej substancji.

Dla celów diagnostyki i terapii chorób alergicznych istotne jest poznanie alergenów głównych, czyli takich, na które nadwrażliwość wykazuje ponad 50% osób uczulonych na dane źródło alergenu. Większość uczulonych uznaje za alergeny główne jaja kurzego Gal d 1-4 [81]. Alergeny Gal d 1-4 wywołują częściej reakcje alergiczne u dzieci, natomiast alergeny Gal d 5 i Gal d 6 częściej objawy alergii u dorosłych [12]. Lekarze zalecają podawanie małym dzieciom jaj poddanych najpierw obróbce cieplnej, nie tylko w celu minimalizacji możliwości zakażenia pałeczką *Salmonelli*, ale także w celu zmniejszenia alergenicności [13,61]. Gotowanie jajka przez co najmniej 10 min obniża

jego alergizujące działanie o ponad 75%, smażenie lub pieczenie zmniejsza jeszcze bardziej. Dlatego większość dzieci z objawami alergii po spożyciu jajka surowego lub półsurowego toleruje jajko smażone oraz produkty pieczone zawierające jajko [12]. Można sądzić, że obróbka cieplna wywołuje denaturację białek jaj kurzych. Zmiany konformacyjne mogą istotnie oddziaływać na strukturę alergenową białka; może im podlegać nie tylko budowa epitopów konformacyjnych, tworzonych przez aminokwasy niesąsiadujące ze sobą w sekwencji łańcucha polipeptydowego. Umieszczenie epitopów na powierzchni cząsteczek alergenów również może zostać zaburzone, a tym samym utrudniony zostanie kontakt z przeciwciałami klasy IgE i mediowanie reakcji uczuleniowej. Wszystkie dotychczas poznane epitopy alergenów, zarówno sekwencyjne (liniowe), jak i konformacyjne składają się z aminokwasów ułożonych powierzchniowo, dzięki czemu łatwo wchodzą w interakcje z fragmentami Fab immunoglobulin. Wiedza o strukturze epitopów może posłużyć także do uzyskania białek o obniżonej alergenicności [56]. W 2017 r. australijscy badacze przedstawili hipoaergiczny wariant owomukoidu powstały metodą ukierunkowanej mutagenyzy, przez przerwanie dwóch z dziewięciu mostków disiarczkowych [26].

Białko jaja kurzego częściej i silniej alergizuje niż żółtko, ale również w żółtku są zawarte substancje alergizujące swoiste dla żółtka. Buczyłko konkluduje, że „precyzyjna diagnostyka alergii z rozróżnieniem uczulenia na białko lub żółtko, pozwala na uniknięcie zbyt restryk-

**Tabela 1.** Alergeny jaja kurzego

Numer	Alergen	Nazwa biochemiczna	Dawna nazwa	Masa cząsteczkowa [kDa]	Piśmiennictwo
1	<u>Gal d 1</u>	Owomukoid		28	[32]
2	<u>Gal d 2</u>	Owoalbumina		44	[32]
3	<u>Gal d 3</u>	Owotransferyna	Ag 22 Konalbumina	78	[32]
4	<u>Gal d 4</u>	Lizozym C		14	[32]
5	<u>Gal d 5</u>	Albumina surowicy	Alfa-liwetyna	69	[66]
6	<u>Gal d 6</u>	YGP42	Witelogenina	35	[7]
7	Gal d Apo I	Apowitelena I			[85]
8	Gal d Apo IV	Apowitelena IV			[85]
9	Gal d Clusterin	Klasteryna			[52]
10	Gal d IgY	Immunoglobulina Y (żółtko)			[3]
11	Gal d PGDS	Syntaza prostaglandyny D typu lipokalinowego			[52]
12	Gal d OIH	Inhibitor proteazy serynowej	Owoinhibitor		[52]
13	Gal d Ovomucin	Mucyna			[85]
14	Gal d Phosvitin	Kinaza kazeinowa			[85]
15	Gal d RFBP	Białko wiążące ryboflawinę			[53]

Według informacji z baz danych Allergen WHO/IUIS i Allergome; Gal d: podkreślone nazwy alergenów z bazy danych Allergen WHO/IUIS [5], Gal d: niepodkreślone nazwy alergenów z bazy danych Allergome [6]

**Tabela 2.** Alergeny żółtka jaja kurzego

Numer	Alergen	Nazwa biochemiczna	Dawna nazwa	Masa cząsteczkowa [kDa]
1	<u>Gal d 5</u>	Albumina surowicy	Alfa-liwetyna	69
2	<u>Gal d 6</u>	YGP42	Witelogenina	35
3	Gal d Apo I	Apowitelena I		
4	Gal d Apo IV	Apowitelena IV		
5	Gal d Phosvitin	Kinaza kazeinowa		

Według informacji z baz danych Allergen WHO/IUIS i Allergome; Gal d: podkreślone nazwy alergenów z bazy danych Allergen WHO/IUIS [5], Gal d: niepodkreślone nazwy alergenów z bazy danych Allergome [6]

cyjnej diety, co poprawia jakość życia dziecka i jego rodziny” [19]. Alergeny żółtka jaja kurzego przedstawiono w tabeli 2.

### REAKTYWNOŚĆ KRZYŻOWA ALERGENÓW JAJA

U podłoża zjawiska reakcji krzyżowych leży podobieństwo budowy cząsteczek różnych alergenów, a zwłaszcza zbliżona sekwencja i struktura przestrzenna ich epitopów dla IgE. Przyjmuje się, że alergeny reagują między sobą krzyżowo, gdy ich sekwencje są w ponad 70% homologiczne, natomiast reaktywność krzyżowa jest rzadko spotykana między antygenami o mniejszym od 50% stopniu homologii [1]. Krzyżowe reakcje alergiczne występują zatem między alergenami pochodzącymi z białka i żółtka jaja oraz między jajami różnych gatunków ptaków. Osoby uczulone na alergeny białka jaja kurzego zazwyczaj reagują na alergeny białek jaj innych ptaków, np.: indyków, kaczek, gęsi, przepiórek, a nawet mew [4,25,46].

Krzyżowe reakcje alergiczne między alergenami pochodzącymi z różnych tkanek ptaków leżą u podstawy tzw. zespołu ptak-jajko (bird-egg syndrome). Zespół charakteryzuje się współwystępowaniem alergii pokarmowej na jajko i mięso oraz alergii wziewnej na pierze ptaka [31,66,74,81].

Znane są także choroby zawodowe wywołane przez alergeny jaj kurzych. Uznaje się, że grupami zawodowymi szczególnie narażonymi na kontakt z ptakami

są pracownicy ogrodów i sklepów zoologicznych, ferm hodowlanych, indywidualni hodowcy ptaków oraz pracownicy przemysłu spożywczego [76,80]. Alergen żółtka jaja Gal d 5 bywa dość częstą przyczyną skórnych odczynów alergicznych u osób zatrudnionych przy produkcji wyrobów cukierniczych i serów, ponieważ jest stosowana w obu tych procesach wytwórczych. Opisano przypadki astmy oskrzelowej i alergicznego zapalenia pęcherzyków płucnych u pracowników serowni, związane z uczuleniem na  $\alpha$ -liwetynę. Narażenie na ten czynnik może wystąpić również przy produkcji kosmetyków oraz przy obróbce skór. [83].

### PODSUMOWANIE

Bioaktywne składniki jaja kurzego, takie jak fosfolipidy, cholesterol, owomukoid, owoalbumina, owotransferyna, lizozym, cystatyna, owoinhibitor, foswityna, karotenoidy, witaminy i mikroelementy są ważnymi elementami pożywienia człowieka. Właściwości antyoksydacyjne i bakteriobójcze niektórych z nich mają szczególne znaczenie prozdrowotne oraz wpływają na ich biodostępność i absorpcję w organizmie człowieka. Jaja kurze należą do naturalnej żywności o dużej koncentracji odżywczych składników pokarmowych, które charakteryzują się również właściwościami bardzo alergizującymi. Główną przyczyną alergii, szczególnie u dzieci, są owomukoid i owoalbumina. Proces obróbki termicznej znacznie zmniejsza właściwości alergizujące. Podsumowując, można uznać, że jaja kurze są pełnowartościową komponentą w żywieniu człowieka.

### PIŚMIENICTWO

- [1] Aalberse R.C.: Assessment of allergen cross-reactivity. Clin. Mol. Allergy, 2007; 5: 2
- [2] Abbas K., Breton J., Planson A.G., Bouton C., Bignon J., Sequin C., Riquier S., Toledano M.B., Drapier J.C.: Nitric oxide activates an Nrf2/sulfiredoxin antioxidant pathway in macrophages. Free Radic. Biol. Med., 2011; 51: 107-114
- [3] Akita E.M., Jang C.B., Kitts D.D., Nakai S.: Evaluation of allergenicity of egg yolk immunoglobulin Y and other egg proteins by passive cutaneous anaphylaxis. Food Agr. Immunol., 1999; 11: 191-201

- [4] Alessandri C., Calvani M. Jr., Rosengart L., Madella C.: Anaphylaxis to quail egg. Allergy, 2005; 60: 128-129
- [5] Allergen WHO/IUIS data base. <http://www.allergen.org> (04.03.2017)
- [6] Allergome data base. <http://www.allergome.com> (04.03.2017)
- [7] Amo A., Rodriguez-Pérez R., Blanco J., Villota J., Juste S., Moneo I., Caballero M.L.: Gal d 6 is the second allergen characterized from egg yolk. J. Agric. Food Chem., 2010; 58: 7453-7457

- [8] Andersen C.J.: Bioactive egg components and inflammation. *Nutrients*, 2015; 7: 7889-7913
- [9] Andersen C.J., Blesso C.N., Lee J., Barona J., Shah D., Thomas M.J., Fernandez M.L.: Egg consumption modulates HDL lipid composition and increases the cholesterol-accepting capacity of serum in metabolic syndrome. *Lipids*, 2013; 48: 557-567
- [10] Antoniadou C., Shirodaria C., Warrick N., Cai S., de Bono J., Leeson P., Neubauer S., Ratnatunga C., Pilai R., Refsum H., Channon K.M.: 5-methyltetrahydrofolate rapidly improves endothelial function and decreases superoxide production in human vessels: Effects on vascular tetrahydrobiopterin availability and endothelial nitric oxide synthase coupling. *Circulation*, 2006; 114: 1193-1201
- [11] Augustin R., Siebert S., Bosch T.C.: Identification of a kazal-type serine protease inhibitor with potent anti-staphylococcal activity as part of Hydra's innate immune system. *Dev. Comp. Immunol.*, 2009; 33: 830-837
- [12] Balińska-Miśkiewicz W.: Diagnostyka molekularna alergii pokarmowej – czy wiemy więcej? *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2014; 68: 754-767
- [13] Benhamou Senouf A.H., Borres M.P., Eigenmann P.A.: Native and denatured egg white protein IgE tests discriminate hen's egg allergic from egg-tolerant children. *Pediatr. Allergy Immunol.*, 2015; 26: 12-17
- [14] Blesso C.N., Andersen C.J., Barona J., Volek J.S., Fernandez M.L.: Whole egg consumption improves lipoprotein profiles and insulin sensitivity to a greater extent than yolk-free egg substitute in individuals with metabolic syndrome. *Metabolism*, 2013; 62: 400-410
- [15] Böhm F., Edge R., Truscott G.: Interactions of dietary carotenoids with activated (singlet) oxygen and free radicals: Potential effects for human health. *Mol. Nutr. Food Res.*, 2012; 56: 205-216
- [16] Bourin M., Gautron J., Berges M., Attucci S., Le Blay G., Labas V., Nys Y., Réhault-Godbert S.: Antimicrobial potential of egg yolk ovoinhibitor, a multidomain Kazal-like inhibitor of chicken egg. *J. Agric. Food Chem.*, 2011; 59: 12368-12374
- [17] Boyano Martinez T., Garcia-Ara C., Diaz-Pena J.M., Munoz F.M., Garcia Sánchez G., Esteban M.M.: Validity of specific IgE antibodies in children with egg allergy. *Clin. Exp. Allergy*, 2001; 31: 1464-1469
- [18] Breithaupt D.R.: Xanthophylls in poultry feeding. W: *Carotenoids*, red: Pfander H., Springer International Publishing AG, Basel 2008, 255-264
- [19] Buczyłko K.: Nie tylko alergeny. *Jajo kurze. Alergia*, 2014; 3: 20-26
- [20] Burgess J.W., Neville T.A., Rouillard P., Harder Z., Beanlands D.S., Sparks D.L.: Phosphatidylinositol increases HDL-C levels in humans. *J. Lipid Res.*, 2005; 46: 350-355
- [21] Caubet J.C., Bencharitwong R., Moshier E., Godbold J.H., Sampson H.A., Nowak-Węgrzyn A.: Significance of ovomucoid- and ovalbumin-specific IgE/IgG<sub>4</sub> ratios in egg allergy. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 2012; 129: 739-747
- [22] Chapman M.D.: Allergen nomenclature. *Clin. Allergy Immunol.*, 2004; 18: 51-64
- [23] Chokshi N.Y., Sicherer S.H.: Molecular diagnosis of egg allergy: an update. *Expert Rev. Mol. Diagn.*, 2015; 15: 895-906
- [24] Cohn J.S., Kamili A., Wat E., Chung R.W., Tandy S.: Dietary phospholipids and intestinal cholesterol absorption. *Nutrients*, 2010; 2: 116-127
- [25] De Silva C., Dhanapala P., Doran T., Tang M.L., Suphioglu C.: Molecular and immunological analysis of hen's egg yolk allergens with a focus on YGP42 (Gal d 6). *Mol. Immunol.*, 2016; 71: 152-160
- [26] Dhanapala P., Withanage-Dona D., Tang M.L., Doran T., Suphioglu C.: Hypoallergenic variant of the major egg white allergen Gal d 1 produced by disruption of cysteine bridges. *Nutrients*, 2017; 9: E171
- [27] Fritz J.M., Ikegami M., Weaver T.E., Akinbi H.T.: Lysozyme ameliorates oxidant-induced lung injury. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2009; 179: A4005
- [28] Gao S., Qin T., Liu Z., Caceres M.A., Ronchi C.F., Chen C.Y., Yeum K.J., Taylor A., Blumberg J.B., Liu Y., Shang F.: Lutein and zeaxanthin supplementation reduces H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced oxidative damage in human lens epithelial cells. *Mol. Vis.*, 2011; 17: 3180-3190
- [29] Giansanti F., Leboffe L., Angelucci F., Antonini G.: The nutritional properties of ovotransferrin and its potential utilization as a functional food. *Nutrients*, 2015; 7: 9105-9115
- [30] Gołąb K., Warwas M.: Białka jaja kurzego – właściwości biochemiczne i zastosowania. *Adv. Clin. Exp. Med.*, 2005; 14: 1001-1010
- [31] Hemmer W., Klug C., Swoboda I.: Update on the bird-egg syndrome and genuine poultry meat allergy. *Allergy J. Int.*, 2016; 25: 68-75
- [32] Hoffman D.R.: Immunochemical identification of the allergens in egg white. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 1983; 71: 481-486
- [33] Ibrahim H.R., Hoq M.I., Aoki T.: Ovotransferrin possesses SOD-like superoxide anion scavenging activity that is promoted by copper and manganese binding. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2007; 41: 631-640
- [34] Izuhara K., Ohta S., Kanaji S., Shiraiishi H., Arima K.: Recent progress in understanding the diversity of the human ov-serpin/clade B serpin family. *Cell. Mol. Life Sci.*, 2008; 65: 2541-2553
- [35] Jarosz M.: Normy żywienia dla populacji polskiej – nowelizacja. Instytut Żywności i Żywienia, 2012
- [36] Jung S., Kim D.H., Son J.H., Nam K., Ahn D.U., Jo C.: The functional property of egg yolk phosvitin as a melanogenesis inhibitor. *Food Chem.*, 2012; 135: 993-998
- [37] Kato Y., Watanabe H., Matsuda T.: Ovomucoind rendered insoluble by heating with wheat gluten but not with milk casein. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 2000; 64: 198-201
- [38] Kim J.E., Leite J.O., DeOgburn R., Smyth J.A., Clark R.M., Fernandez M.L.: A lutein-enriched diet prevents cholesterol accumulation and decreases oxidized LDL and inflammatory cytokines in the aorta of guinea pigs. *J. Nutr.*, 2011; 141: 1458-1463
- [39] Kolaczowska A., Kolaczowski M., Sokolowska A., Miecznikowska H., Kubiak A., Rolka K., Polanowski A.: The antifungal properties of chicken egg cystatin against *Candida* yeast isolates showing different levels of azole resistance. *Mycoses*, 2010; 53: 314-320
- [40] Koo S.I., Noh S.K.: Phosphatidylcholine inhibits and lysophosphatidylcholine enhances the lymphatic absorption of  $\alpha$ -tocopherol in adult rats. *J. Nutr.*, 2001; 131: 717-722
- [41] Koplin J.J., Osborne N.J., Wake M., Martin P.E., Gurrin L.C., Robinson M.N., Tey D., Slaa M., Thiele L., Miles L., Anderson D., Tan T., Dang T.D., Hill D.J., Lowe A.J. i wsp.: Can early introduction of egg prevent egg allergy in infants? A population-based study. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 2010; 126: 807-813
- [42] Kovacs-Nolan J., Phillips M., Mine Y.: Advances in the value of eggs and egg components for human health. *J. Agric. Food Chem.*, 2005; 53: 8421-8431
- [43] Kramer M.S., Kakuma R.: Maternal dietary antigen avoidance during pregnancy or lactation, or both, for preventing or treating atopic disease in the child. *Evid. Based Child Health*, 2014; 9: 447-483
- [44] Krogulska A., Lemańczyk D., Kuśmierk M., Brazowski J.: Wprowadzenie pokarmów uzupełniających a ryzyko rozwoju alergii. *Pediatr. Pol.*, 2017; 92: 309-315
- [45] Küllenberg D., Taylor L.A., Schneider M., Massing U.: Health effects of dietary phospholipids. *Lipids Health Dis.*, 2012; 11: 3
- [46] Langeland T.: A clinical and immunological study of allergy to hen's egg white. VI. Occurrence of proteins cross-reacting with allergens in hen's egg white as studied in egg white from turkey, duck, goose, seagull, and in hen egg yolk, and hen and chicken sera and flesh. *Allergy*, 1983; 38: 399-412



- [47] Li B., Ahmed F., Bernstein P.S.: Studies on the singlet oxygen scavenging mechanism of human macular pigment. *Arch. Biochem. Biophys.*, 2010; 504: 56-60
- [48] Li X.C., Zhang R.R., Sun R.R., Lan J.F., Zhao X.F., Wang J.X.: Three Kazal-type serine proteinase inhibitors from the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* and the characterization, function analysis of hcPcSPI2. *Fish Shellfish Immunol.*, 2010; 28: 942-951
- [49] Li-Chan E.C., Kim H.O.: Structure and chemical composition of eggs. W: *Egg Bioscience and Biotechnology*; Mine Y. (red.); John Wiley & Sons, Ltd, Hoboken, NJ, USA, 2008; 1-95
- [50] Liu H., Zheng F., Cao Q., Ren B., Zhu L., Striker G., Vlassara H.: Amelioration of oxidant stress by the defensin lysozyme. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 2006; 290: E824-E832
- [51] Macdougall C.F., Cant A.J., Colver A.F.: How dangerous is food allergy in childhood? The incidence of severe and fatal allergic reactions across the UK and Ireland. *Arch. Dis. Child.*, 2002; 86: 236-239
- [52] Mann K., Mann M.: In-depth analysis of the chicken egg white proteome using an LTQ OrbitrapVelos. *Proteome Sci.*, 2011; 9: 7
- [53] Martos G., Pineda-Vadillo C., Miralles B., Alonso-Lebrero E., López-Fandino R., Molina E., Belloque J.: Identification of an IgE reactive peptide in hen egg riboflavin binding protein subjected to simulated gastrointestinal digestion. *J. Agric. Food Chem.*, 2012; 60: 5215-5220
- [54] Matsuda T., Nakamura R., Nakashima I., Hasegawa Y., Shimokata K.: Human IgE antibody to the carbohydrate-containing third domain of chicken ovomucoid. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 1985; 129: 505-510
- [55] Miettinen T.A., Gylling H.: Cholesterol absorption efficiency and sterol metabolism in obesity. *Atherosclerosis*, 2000; 153: 241-248
- [56] Mine Y., Zhang J.W.: Identification and fine mapping of IgG and IgE epitopes in ovomucoid. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 2002; 292: 1070-1074
- [57] Miranda J.M., Anton X., Redondo-Valbuena C., Roca-Saavedra P., Rodriguez J.A., Lamas A., Franco C.M., Cepeda A.: Egg and egg-derived foods. Effects on human health and use as functional foods. *Nutrients*, 2015; 7: 706-729
- [58] Nidhi B., Sharavana G., Ramaprasad T.R., Vallikannan B.: Lutein derived fragments exhibit higher antioxidant and anti-inflammatory properties than lutein in lipopolysaccharide induced inflammation in rats. *Food Funct.*, 2015; 6: 450-460
- [59] Nimalarante C., Wu J.: Hen egg as an antioxidant food commodity. A review. *Nutrients*, 2015; 7: 8274-8293
- [60] Noh S.K., Koo S.I.: Egg sphingomyelin lowers the lymphatic absorption of cholesterol and  $\alpha$ -tocopherol in rats. *J. Nutr.*, 2003; 133: 3571-3576
- [61] Nowak-Wegrzyn A., Fiocchi A.: Rare, medium, or well done? The effect of heating and food matrix on food protein allergenicity. *Curr. Opin. Allergy Clin. Immunol.*, 2009; 9: 234-237
- [62] Osborne N.J., Koplin J.J., Martin P.E., Gurrin L.C., Lowe A.J., Matheson M.C., Ponsonby A.L., Wake M., Tang M.L., Dharmage S.C., Allen K.J., HealthNuts Investigators: Prevalence of challenge-proven IgE-mediated food allergy using population-based sampling and predetermined challenge criteria in infants. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 2011; 127: 668-676
- [63] Palmer D.J., Metcalfe J., Makrides M., Gold M.S., Quinn P., West C.E., Loh R., Prescott S.L.: Early regular egg exposure in infants with eczema. A randomized controlled trial. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 2013; 132: 387-392.e1
- [64] Paramsothy P., Knopp R.H., Kahn S.E., Retzlaff B.M., Fish B., Ma L., Ostlund R.E.Jr.: Plasma sterol evidence for decreased absorption and increased synthesis of cholesterol in insulin resistance and obesity. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2011; 94: 1182-1188
- [65] Pihlajamäki J., Gylling H., Miettinen T.A., Laakso M.: Insulin resistance is associated with increased cholesterol synthesis and decreased cholesterol absorption in normoglycemic men. *J. Lipid Res.*, 2004; 45: 507-512
- [66] Quirce S., Marañón F., Umpiérrez A., de las Heras M., Fernández-Caldas E., Sastre J.: Chicken serum albumin (Gal d 5\*) is a partially heat-labile inhalant and food allergen implicated in the bird-egg syndrome. *Allergy*, 2001; 56: 754-762
- [67] Réhault-Godbert S., Hervé-Grépinet V., Gautron J., Cabau C., Nys Y., Hincke M.: Molecules involved in chemical defence of the chicken egg. W: *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg product*, Nys Y., Bain M., Van Immersel F. (red.), Woodhead Publishing Series, Cambridge 2011, 183-208
- [68] Rona R.J., Keil T., Summers C., Gislason D., Zuidmeer L., Sodergren E., Sigurdardottir S.T., Lindner T., Goldhahn K., Dahlstrom J., McBride D., Madsen C.: The prevalence of food allergy. A meta-analysis. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 2007; 120: 638-646
- [69] Roos G., Messens J.: Protein sulfenic acid formation. From cellular damage to redox regulation. *Free Radic. Biol. Med.*, 2011; 51: 314-326
- [70] Salejda A.M., Krasnowska G.: Bioaktywne składniki jaja kurzego – możliwości aplikacyjne w biokonserwacji mięsa oraz jego przetworów. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2014; 47: 72-81
- [71] Serpeloni J.M., Barcelos G.R., Friedmann Angeli J.P., Mercadante A.Z., Lourdes Pires Bianchi M., Antunes L.M.: Dietary carotenoid lutein protects against DNA damage and alterations of the redox status induced by cisplatin in human derived HepG2 cells. *Toxicol. In Vitro*, 2012; 26: 288-294
- [72] Serpeloni J.M., Cólus I.M., de Oliveira F.S., Aissa A.F., Mercadante A.Z., Bianchi M.L., Antunes L.M.: Diet carotenoid lutein modulates the expression of genes related to oxygen transporters and decreases DNA damage and oxidative stress in mice. *Food Chem. Toxicol.*, 2014; 70: 205-213
- [73] Szablewski T., Gornowicz E., Stuper-Szablewska K., Kaczmarek A., Cegielska-Radziejewska R.: Skład mineralny treści jaj kur ras zachowawczych z chowu ekologicznego. *Żywność: Nauka. Technologia. Jakość*, 2013; 5: 42-51
- [74] Szépfalusi Z., Ebner C., Pandjaitan R., Orlicek F., Scheiner O., Boltz-Nitulescu G., Kraft D., Ebner H.: Egg yolk  $\alpha$ -livetyn (chicken serum albumin) is a cross-reactive allergen in the bird-egg syndrome. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 1994; 93: 932-942
- [75] Szpak M., Trziszka T., Polanowski A., Gburek J., Gołąb K., Juszczyńska K., Janik P., Malicki A., Szyplik K.: Evaluation of the antibacterial activity of cystatin against selected strains of *Escherichia coli*. *Folia Biol.*, 2014; 62: 187-192
- [76] Świdarska-Kielbik S., Krakowiak A., Wiszniewska M., Dudek W., Walusiak-Skorupa J., Krawczyk-Szulc P., Michowicz A., Pałczyński C.: Zagrożenia zdrowotne związane z zawodową ekspozycją na ptaki. *Med. Pracy*, 2010; 61: 213-222
- [77] Tan J.W., Joshi P.: Egg allergy. An update. *J. Paediatr. Child Health*, 2014; 50: 11-15
- [78] Tang C.C., Shi Y.J., Chen Y.J., Chang L.S.: Ovalbumin with glycosylated carboxyl groups shows membrane-damaging activity. *Int. J. Mol. Sci.*, 2017; 18: E520
- [79] Tian X., Gautron J., Monget P., Pascal G.: What makes an egg unique? Clues from evolutionary scenarios of egg-specific genes. *Biol. Reprod.*, 2010; 83: 893-900
- [80] Trziszka T., Różański H., Polanowski A.: Eggs as a very promising source of biomedical and nutraceutical preparations. A review. *J. Life Sci.*, 2013; 7: 862-877
- [81] Urisu A., Kondo Y., Tsuge I.: Hen's egg allergy. *Chem. Immunol. Allergy*, 2015; 101: 124-130
- [82] USDA National Nutrient Database for Standard Reference. <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md/beltsville/>

ville-human-nutrition-research-center/nutrient-data-laboratory/docs/usda-national-nutrient-database-for-standard-reference (04.03.2017)

[83] Valero A., Lluch M., Amat P., Serra E., Malet A.: Occupational egg allergy in confectionery workers. *Allergy*, 1996; 51: 588-589

[84] Vray B., Hartmann S., Hoebeke J.: Immunomodulatory properties of cystatins. *Cell. Mol. Life Sci.*, 2002; 59: 1503-1512

[85] Walsh B.J., Barnett D., Burley R.W., Elliott C., Hill D.J., Howden M.E.: New allergens from hen's egg white and egg yolk. *In vitro* study of ovomucin, apovitellenin I and IV, and phosvitin. *Int. Arch. Allergy Appl. Immunol.*, 1988; 87: 81-86

[86] Wang H., Tu Z.C., Liu G.X., Liu C.M., Huang X.Q., Xiao H.: Comparison of glycation in conventionally and microwave-heated ovalbumin by high resolution mass spectrometry. *Food Chem.*, 2013; 141: 985-991

[87] Wang H., Tu Z.C., Liu G.X., Zhang L., Chen Y.: Identification and quantification of the phosphorylated ovalbumin by high resolution mass spectrometry under dry-heating treatment. *Food Chem.*, 2016; 210: 141-147

[88] Wu J., Acero-Lopez A.: Ovotransferrin. Structure, bioactivities and preparation. *Food Res. Int.*, 2012; 46: 480-487

[89] Young D., Nau F., Pasco M., Mine Y.: Identification of hen egg yolk-derived phosvitinphosphopeptides and their effects on gene expression profiling against oxidative stress-induced Caco-2 cells. *J. Agric. Food Chem.*, 2011; 59: 9207-9218

[90] Zambrowicz A., Dąbrowska A., Bobak Ł., Szoltysik M.: Egg yolk proteins and peptide with biological activity. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2014; 68: 1524-1529

[91] Zhang J.W., Mine Y.: Characterization of IgE and IgG epitopes on ovomucoid using egg-white-allergic patients' sera. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 1998; 253: 124-127

[92] Zhang Z., Han S., Wang H., Wang T.: Lutein extends the lifespan of *Drosophila melanogaster*. *Arch. Gerontol. Geriatr.*, 2014; 58: 153-159

---

Autorki deklarują brak potencjalnych konfliktów interesów.