

WYBRANE ADAPTACJE DO PASOŻYTNICZEGO TRYBU ŻYCIA SPOROWCÓW (APICOMPLEXA) ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM RODZAJU *EIMERIA*

Anna Katarzyna Kucharska#, Marta Basiaga

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Hodowli i Biologii
Zwierząt, Katedra Zoologii i Dobrostanu Zwierząt, al. A. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
#e-mail: Anna.Kucharska@urk.edu.pl



Anna Katarzyna Kucharska: 0000-0002-9148-9360

Marta Basiaga: 0000-0001-7698-1253

Źródło finansowania: Praca została zrealizowana przy wsparciu finansowym Ministerstwa
Nauki i Szkolnictwa Wyższego (środki na działalność statutową).

Abstrakt

Celem pracy był przegląd literatury i omówienie wybranych adaptacji do pasożytniczego trybu życia występujących u sporowców (Apicomplexa), ze szczególnym uwzględnieniem rodzaju Eimeria. Apicomplexa to grupa wyłącznie wewnątrzkomórkowych pasożytów wykazujących wyspecjalizowane przystosowania morfologiczne, biologiczne i fizjologiczne. Pierwotniaki Eimeria spp. dzięki licznym adaptacjom osiągnęły wielki sukces ewolucyjny, opanowując wiele gatunków żywicieli i charakteryzując się szerokim zakresem występowania geograficznego. Wywołują kokcydiozę – chorobę z charakterystyczną biegunką, powodującą odwodnienie i mogącą być przyczyną upadków zwierząt. W pracy wyróżniono i omówiono dwie kategorie adaptacji: adaptacje biologiczne (rozmnażanie, rozwój i cykl rozwojowy) oraz morfologiczne (kompleks apikalny, struktury cytoszkieletowe i morfologię stadiów rozwojowych). Połączenie wszystkich rodzajów adaptacji umożliwia efektywne znalezienie żywiciela, a także osiedlenie i utrzymanie się w nim pasożytów. Znajomość adaptacji, jak również czynników wpływających na zarażenie i jego parametry, niejednokrotnie jest kluczowa dla zrozumienia mechanizmów patogenazy i rozprzestrzeniania się pierwotniaków z rodzaju Eimeria. Pozwala również na efektywne przerywanie cykli rozwojowych i zapobieganie inwazjom.

Słowa kluczowe: Apicomplexa, Eimeria spp., adaptacje, pasożytnictwo

Wstęp

Pierwotniaki (Protozoa) obejmują ponad 200 tysięcy gatunków, wśród których organizmy pasożytnicze stanowią około 10 tysięcy (Cox, 2010). Rodzaj *Eimeria* zaliczany jest do typu Apicomplexa, w którym klasyfikowane są wyłącznie wewnątrzkomórkowe gatunki pasożytnicze (Pojmańska, 2005; Weng i in., 2024). Choroba powodowana inwazją *Eimeria* spp., tj. kokcydioza/eimerioza (*coccidiosis/eimeriosis*), stwierdzana jest przede wszystkim u osobników młodych, u których parametry zarażenia tym pierwotniakiem są z reguły wyższe w porównaniu ze zwierzętami starszymi (López-Osorio i in., 2020; Ali i in., 2025; Disfani i in., 2025). Najczęstszymi objawami kokcydiozy są biegunki i utrata apetytu. Prowadzą one

do osłabienia oraz odwodnienia zwierzęcia, a u osobników młodych mogą być przyczyną śmierci (von Samson-Himmelstjerna i in., 2006; López-Osorio i in., 2020; Ayana i in., 2022). Choroba ta przynosi hodowcom duże straty gospodarcze, wynikające nie tylko ze zwiększonej śmiertelności zwierząt, ale również z obniżenia ich masy ciała oraz spadku produktywności (Gilbert i in., 2020; Zhou i in., 2023; Rahmani i in., 2024). Koszty związane z leczeniem chorych zwierząt i profilaktyką inwazji również wpływają na opłacalność chowu. Według szacunków roczne straty związane z kokcydiozą występującą wyłącznie u drobiu wynoszą nawet 10,4 mld funtów (ok. 50 mld złotych) w ujęciu globalnym (Blake i in., 2020).

Inwazja wywołana jest często wieloma gatunkami *Eimeria* (Xu i in., 2022), charakteryzującymi się różną patogenicznością. Przykładowo *Eimeria tenella* jest jednym z najbardziej patogennych gatunków występujących u drobiu, a inwazje u młodych zwierząt skutkują wysoką śmiertelnością w stadzie (Matsubayashi i in., 2019). Z kolei u bydła największe znaczenie kliniczne mają gatunki *E. bovis* i *E. zuernii* (Chen i in., 2024).

Rozprzestrzenianiu kokcydiozy sprzyjają zaniedbane i wilgotne miejsca, w których występują warunki korzystne do rozwoju i przeżywania form dyspersyjnych pasożyta (Ola-Fadunsin i in., 2019; Li i in., 2021; Badri i in., 2024). Znaczącą rolę w inwazjologii kokcydiozy pełnią także starsze zwierzęta, które mogą być bezobjawowymi siewcami oocyst, a tym samym źródłem inwazji dla bardziej wrażliwych na zarażenie osobników młodocianych (Matos i in., 2018; de Macedo i in., 2020). Po przetrwaniu intensywnej inwazji w organizmie żywiciela obserwuje się wytworzenie krótkotrwałej odporności (Smith i Hayday, 2000; Watrang i in., 2016; Matos i in., 2018).

Kokcydioza notowana jest u wielu gatunków zwierząt, jednak gatunki z rodzaju *Eimeria* wykazują wysoką specyficzność, zarówno w doborze żywiciela, jak i miejsca występowania w żywicielu (Weng i in., 2024). W Polsce zarażenie *Eimeria* spp. notowane było u różnych gatunków zwierząt, w tym dzikich – sarny, jelenie, żubry, łosie, dziki, zające (Pilarczyk i in., 2004; Demiaszkiewicz i Pyziel, 2009; Kuligowska i in., 2014; Balińska i Demiaszkiewicz, 2022) oraz gospodarskich – alpaki, bydło, owce, kozy, konie, drób (Klockiewicz i in., 2007; Studzińska i in., 2008; Antoszek i Balicka-Ramisz, 2009; Balicka-Ramisz i in., 2012; Gawel i in., 2015; Tomczuk i in., 2015; Balicka-Ramisz i in., 2020; Nosal i in., 2023).

Kokcydia to organizmy kosmopolityczne, a szerokie rozprzestrzenienie zawdzięczają umiejętności adaptacji do żywiciela oraz dużej odporności oocyst na zmiany warunków geoklimatycznych (Balicka-Ramisz, 2000). Pasożyty z rodzaju *Eimeria* wytworzyły liczne adaptacje morfologiczne, fizjologiczne, czy biologiczne, specyficzne dla pasożytowania wewnątrz komórek (Combes, 1999). Celem adaptacji organizmów do pasożytniczego trybu życia jest ułatwienie znalezienia, osiedlenia i utrzymania się w żywicielu oraz czerpanie energii z dostępnego w nim pokarmu, co w konsekwencji prowadzić ma do wydania potomstwa i opanowania nowych żywicieli (Niewiadomska i in., 2001; Kolářová i Valigurová, 2021).

Adaptacje biologiczne

Adaptacje biologiczne obejmują przystosowania związane z zamknięciem cyklu rozwojowego pasożyta (Niewiadomska i in., 2001). Pierwszym elementem budującym adaptacje biologiczne jest typ rozmnażania. U pierwotniaków powszechne jest **rozmnażanie** bezpłciowe, ale u przedstawicieli Apicomplexa występuje także proces płciowy, prowadzący do powstania gamet (Gibson, 2021). Pierwotniaki należące do typu Apicomplexa charakteryzują się zatem **rozwojem** o charakterze przemiany pokoleń, z podziałami bezpłciowymi (schizogonia/merogonia, sporogonia/sporulacja) i procesem płciowym (gametogonia) (Bowman, 2012). **Cykl rozwojowy** *Eimeria* spp. jest cyklem prostym i przebiega

w trzech wspomnianych uprzednio fazach, przy czym sporogonia zachodzi w środowisku zewnętrznym, a schizogonia i gametogonia w żywicielu (López-Osorio i in., 2020).

Do zarażenia żywiciela dochodzi poprzez zjedzenie inwazyjnych (wysporulowanych) oocyst, z których w jelicie uwalniają się sporozoity, wnikające następnie do komórek nabłonka, zazwyczaj jelit, i przekształcające się w trofozoity. Trofozoity rosną i przechodzą w stadium zwane schizontem (meront) (Gundlach i Sadzikowski, 2004; Bowman, 2012). Schizonty intensywnie się odżywiają i rosną. Ich jądro dzieli się wielokrotnie, produkując merozoity pierwszej generacji, które po pęknięciu komórki żywiciela wydostają się do światła jelita i wnikają do kolejnych komórek. Jak podają Dauschies i Najdrowski (2005), z każdego schizonta w wyniku podziałów schizogonicznych powstaje ponad 10^5 merozoitów.

Schizogonie, których liczba charakterystyczna jest dla gatunku *Eimeria* (Zhu i in., 2025), powtarzają się wielokrotnie, prowadząc do powstania merozoitów kolejnych generacji. Ostatnia zaprogramowana generacja merozoitów, po wniknięciu do nowych komórek nabłonka, różnicuje się na niedojrzałe komórki płciowe – gametocyty żeńskie i męskie – i rozpoczyna się **gametogonia**. Gametocyt żeński ulega przekształceniu w jedną dojrzałą makrogametę, a gametocyt męski dzieli się na liczne mikrogamety zaopatrzone w wici. Każda makrogameta zostaje zapłodniona przez jedną mikrogametę, w wyniku czego powstaje zygota, która po uformowaniu twardej otoczki, przekształca się w oocystę (Mesa-Pineda i in., 2021). Oocysty zostają wydalone wraz z kałem do środowiska zewnętrznego, gdzie przebiega proces sporogonii. W wyniku **sporogonii**, na drodze podziałów sporonta, w oocyście powstają cztery sporoblasty, które otaczając się nową osłonką tworzą cztery sporocysty. Jądra sporocyst dzielą się ponownie, w wyniku czego w każdej z nich powstają po dwa sporozoity. W sumie w jednej oocyście tworzy się osiem sporozoitów (Mares i in., 2023). Do zajścia tego procesu konieczne są odpowiednie warunki związane z dostępnością tlenu, temperaturą i poziomem wilgotności (Mesa-Pineda i in., 2021). Oocysty, dzięki posiadaniu grubej otoczki, są odporne na działanie niekorzystnych czynników środowiska zewnętrznego (susza, słońce, niesprzyjająca temperatura) i przez długi czas mogą zachowywać zdolność do inwazji (Peek i Landman, 2011).

Rozmnażanie, zarówno płciowe, jak i bezpłciowe u *Eimeria* spp. ma duże, choć odmienne znaczenie biologiczne. Celem schizogonii jest namnożenie się pasożyta w żywicielu, tj. znaczny wzrost liczby form rozwojowych wywodzących się od jednego sporozoita (Mesa-Pineda i in., 2021). Gametogonia prowadzi do powstania form dyspersyjnych tych pasożytów, a w wyniku sporogonii stają się one inwazyjne, co prowadzi do zarażania nowych żywicieli i odgrywa dużą rolę w rozprzestrzenieniu pasożyta (Yaeger, 1996; Zhao i in., 2024). Dodatkowo z rozmnażania płciowego generowana jest zmienność genetyczna, co może ułatwiać adaptację populacji do nowych środowisk lub zmieniających się czynników w tych środowiskach (Ashu i Xu, 2015). Ponadto, duża płodność pasożytów jest ważnym przystosowaniem biologicznym, które w znacznym stopniu zwiększa szansę zamknięcia cyklu rozwojowego poprzez kompensowanie strat wynikających z niekorzystnego działania środowiska zewnętrznego (Combes, 1999; Doherty i in., 2022).

Adaptacje morfologiczne

Adaptacje morfologiczne pasożytów dotyczą między innymi budowy, kształtu ciała, modyfikacji budowy układów wewnętrznych oraz aparatów ruchowych, czepnych i zmysłów pasożyta (Niewiadomska i in., 2001). Pierwotniaki z rodzaju *Eimeria*, jako organizmy jednokomórkowe, posiadają wszystkie podstawowe organelle komórkowe. Morfologicznie komórka pierwotniaka odpowiada pojedynczej komórce tkankowców, lecz pod względem fizjologicznym i biologicznym stanowi samodzielny organizm (Gavelis i in., 2021).

Kokcydia posiadają szereg przystosowań specjalizujących je w pasożytnictwie wewnątrzkomórkowym. Jedną z adaptacji jest redukcja organelli ruchu, jednak niektóre stadia rozwojowe (zoity) posiadają zdolność ruchu i mogą poruszać się poprzez zginanie, ślizganie lub falowanie, przy czym dla *Eimeria* spp. podaje się najczęściej ruch ślizgowy jako typ poruszania (Russell i Sinden, 1981; Gubbels i Duraisingh, 2012; Harding i Frischknecht, 2020).

Jedną z najważniejszych adaptacji jest występowanie na przednim końcu komórki zoitów **kompleksu apikalnego**. Zbudowany jest z pierścienia apikalnego, konoidu, roptrii i mikronem. Pełni on funkcję usztywniającą komórkę i ułatwia wnikanie pasożyta do wnętrza komórek żywiciela. Stożkowaty, przyczepiony do pierścienia apikalnego konoid kokcydiów składa się ze spiralnych włókien tubulionych, dwóch mikrotubul wewnątrzkonoidalnych i pierścieni prekonoidalnych (Haase i in., 2022). W pierścieniu apikalnym zakotwiczone są również mikrotubule korowe (subpellikularne) (Padilla i in., 2024), które są częścią cytoszkieletu i nadają pasożytom ich kształt, również usztywniając komórkę (Guizetti i Frischknecht, 2021). U gatunku *Eimeria tenella*, pasożyta ptaków, jest ich dokładnie 24 (Burrell i in., 2022). Konoid ma zdolność cofania się i wysuwania z komórki zoitu podczas wydzielania substancji powodujących ruch lub inwazję (Gui i in., 2023). Maczugowatego kształtu roptrie oraz mikronemy są organellami wydzielniczymi, zawierającymi produkty niezbędne przy adhezji i wnikaniu pasożyta do komórek gospodarza (Burrell i in., 2022). Znajdują się one blisko mikrotubul wewnątrzkonoidalnych, i razem z pęcherzykami związanymi z mikrotubulami (*microtubule-associated vesicles*) tworzą zorganizowany układ sekrecyjny w obrębie konoidu (Burrell i in., 2022). Roptrie wydzielają białka, których zadaniem jest tworzenie połączenia między błonami pasożyta i żywiciela, hamowanie funkcji obronnej białek żywiciela, modyfikacja szlaków sygnalizacyjnych; warunkują również przeżycie pasożyta i jego patogeniczność w komórce żywiciela (Oakes i in., 2013; Ben Chaabene i in., 2021). Podobnie mikronemy, które wydzielane są z komórki jako pierwsze, pełnią rolę w ruchliwości pasożyta, jego adhezji i wnikaniu do komórek żywiciela (Gubbels i Duraisingh, 2012; Valleau i in., 2023).

Wszystkie pasożyty należące do Apicomplexa przechodzą znaczące zmiany morfologiczne w trakcie swojego cyklu życiowego (Harding i Frischknecht, 2020). **Sporozoity** są formami sierpowatego, robakowatego lub walcowatego kształtu, poruszającymi się szybko, na przemian wydłużając się i kurcząc (Czapik, 1992). **Schizont** (agamont) jest strukturą powstałą ze sporozoitu i przygotowującą się do podziału. Schizonty pierwszej generacji są największe (Bafundo i McCullough, 2025) i mogą być widoczne gołym okiem, jako białe kropki na nabłonku jelita (Preena, 2019). **Merozoity** to sierpowato wygięte komórki powstałe ze schizontów, posiadające zdolność aktywnego ruchu. Wnikają one do nowych komórek, gdzie rosną i ponownie przybierają kulisty kształt. W wyniku podziałów bezpłciowych powstaje kilka nowych pokoleń pasożyta, z których część wędruje do następnych komórek nabłonkowych i przybiera postać kulistą (López-Osorio i in., 2020). **Makro- i mikrogamety** rozwijają się samodzielnie z makro- i mikrogametocytów. Makrogamety to duże jednojądrowe i kuliste komórki. Z kolei mikrogamety są mniejsze, wrzecionowatego kształtu i dzięki obecności dwóch wici wykazują zdolność sprawnego poruszania (López-Osorio i in., 2020).

Podsumowanie

Pasożytniczy tryb życia wiąże się z wytworzeniem skutecznych przystosowań morfologicznych, fizjologicznych czy biologicznych, które warunkują przeżycie pasożyta w żywicielu i jego form dyspersyjnych w środowisku (Aleuy i Kutz, 2020). Znając adaptacje pasożyta, zwłaszcza te biologiczne, można w odpowiedniej fazie jego cyklu skutecznie go zwalczać i nie dopuszczać do zamknięcia cyklu rozwojowego i zarażenia kolejnych osobników (Bla-

sco-Costa i Poulin, 2017; Cable i in., 2017). Formy dyspersyjne (oocysty) trafiają wraz z kałem do środowiska, gdzie ich przetrwanie zależne jest od wielu czynników zewnętrznych. Pomimo wytwarzania przez nie grubej otoczki zwiększającej odporność, wiele oocyst ginie, wskutek działania niekorzystnej temperatury, wilgotności lub poprzez dostanie się do niewłaściwego żywiciela (Svensson i in., 1995; Lassen i in., 2013; López-Osorio i in., 2020). Po-
przez odpowiednie zabiegi możliwa jest więc skuteczna kontrola poziomu zarażenia zwierząt pasożytami z rodzaju *Eimeria*, jak również prewencja zarażeń (Ahmad i in., 2024).

Piśmiennictwo

- Ahmad R., Yu Y.H., Hua K.F., Chen W.J., Zaborski D., Dybus A., Hsiao F.S., Cheng Y.H. (2024). Management and control of coccidiosis in poultry – A review. *Anim. Biosci.*, 37(1): 1–15; DOI: 10.5713/ab.23.0189.
- Aleuy O.A., Kutz S. (2020). Adaptations, life-history traits and ecological mechanisms of parasites to survive extremes and environmental unpredictability in the face of climate change. *Int. J. Parasitol. Parasites Wildl.*, 12: 308–317.
- Ali E.A., Ghafar A., Angeles-Hernandez J.C., Yaseen M., Gauci C.G., Beveridge I., Baxendell S., Jabbar A. (2025). Global prevalence of *Eimeria* species in goats: a systematic review and meta-analysis. *Front. Vet. Sci.*, 11, 1537171.
- Antoszek J., Balicka-Ramisz A. (2009). Występowanie pierwotniaków z rodzaju *Eimeria* u jagniąt na Pomorzu Zachodnim [Occurrence of *Eimeria* protozoa in lambs in Western Pomerania, Poland]. *Wiad. Parazytol.*, 55(1): 35–38.
- Ashu E.E., Xu J. (2015). The roles of sexual and asexual reproduction in the origin and dissemination of strains causing fungal infectious disease outbreaks. *Infect. Genet. Evol.*, 36: 199–209.
- Ayana D., Temesgen K., Kumsa B., Alkadir G. (2022). Dry season *Eimeria* infection in dairy cattle and sheep in and around Adama and Bishoftu Towns, Oromia, Ethiopia. *Vet. Med. (Auckl)*, 13: 235–245.
- Badri M., Olfatifar M., Hayati A., Bijani B., Samimi R., Abdoli A., Nowak O., Diaz D., Eslahi A.V. (2024). The global prevalence and associated risk factors of *Eimeria* infection in domestic chickens: A systematic review and meta-analysis. *Vet. Med. Sci.*, 10(4): e1469.
- Bafundo K.W., McCullough K.N. (2025). Endogenous development and histopathological differences among the chicken *Eimeria*: A review. *Avian Dis.*, 69(1): 6–15.
- Balicka-Ramisz A. (2000). Kokcydioza u owiec. *Med. Weter.*, 56(7): 424–428.
- Balicka-Ramisz A., Ramisz A., Vovk S., Snitynskyj V. (2012). Prevalence of coccidia infection in goats in Western Pomerania (Poland) and West Ukraine region. *Ann. Parasitol.*, 58(3): 167–171.
- Balicka-Ramisz A., Laurans Ł., Pohorecki K., Batko M., Ramisz A. (2020). Short communication: Prevalence of *Eimeria* spp. infection in domestic rabbits of Polish farms. *World Rabbit Sci.*, 28: 181–185.
- Balińska P., Demiaszkiewicz A.W. (2022). Occurrence of chosen parasitic protozoa of roe deer (*Capreolus capreolus*) and red deer (*Cervus elaphus*) in Poland: a current review. *Ann Parasitol.*, 68(1): 1–8.
- Ben Chaabene R., Lentini G., Soldati-Favre D. (2021). Biogenesis and discharge of the rhoptries: Key organelles for entry and hijack of host cells by the Apicomplexa. *Mol. Microbiol.*, 115(3): 453–465.
- Blake D.P., Knox J., Dehaeck B., Huntington B., Rathinam T., Ravipati V., Ayoade S., Gilbert W., Adebambo A.O., Jatau I.D., Raman M., Parker D., Rushton J., Tomley F.M. (2020). Re-calculating the cost of coccidiosis in chickens. *Vet. Res.*, 51(1): 115.

- Blasco-Costa I., Poulin R. (2017). Parasite life-cycle studies: a plea to resurrect an old parasitological tradition. *J. Helminthol.*, 91(6): 647–656.
- Bowman D.D. (2012). *Parazytologia weterynaryjna* Georgis. Wydawnictwo: Urban & Partner.
- Burrell A., Marugan-Hernandez V., Wheeler R., Moreira-Leite F., Ferguson D.J.P., Tomley F.M., Vaughan S. (2022). Cellular electron tomography of the apical complex in the apicomplexan parasite *Eimeria tenella* shows a highly organised gateway for regulated secretion. *PLoS Pathog.*, 18(7), e1010666.
- Cable J., Barber I., Boag B., Ellison A.R., Morgan E.R., Murray K., Pascoe E.L., Sait S.M., Wilson A.J., Booth M. (2017). Global change, parasite transmission and disease control: lessons from ecology. *Philos. Trans. R Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 372(1719): 20160088.
- Chen X., Deng M., Chen N., Chen X., Li N., Feng Y., Xiao L., Guo Y. (2024). Development of a PCR assay for detection and identification of *Eimeria* spp. in cattle. *Vet. Parasitol.*, 332: 110315.
- Combes C. (1999). *Ekologia i ewolucja pasożytnictwa. Długotrwałe wzajemne oddziaływania*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Cox F. (2010). Classification and introduction to the parasitic protozoa. W: Topley and Wilson's Microbiology and Microbial Infections (monografia). Wakelin D., Cox F.E.G., Gillespie S.H., Despommier D.D. (eds). John Wiley & Sons.
- Czapik A. (1992). *Podstawy protozoologii*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Dauguschies A., Najdrowski M. (2005). Eimeriosis in cattle: current understanding. *J. Vet. Med. B Infect. Dis. Vet. Public Health*, 52(10): 417–427.
- de Macedo L.O., Bezerra-Santos M.A., de Mendonça C.L., Alves L.C., Ramos R.A.N., de Carvalho G.A. (2020). Prevalence and risk factors associated with infection by *Eimeria* spp. in goats and sheep in Northeastern Brazil. *J. Parasit. Dis.*, 44(3): 607–612.
- Demiaszkiewicz A.W., Pyziel A.M. (2009). Występowanie kokcydiów z rodzaju *Eimeria* u żubrów w Puszczy Białowieskiej [Occurrence of coccidia from genus *Eimeria* in European bison in Białowieża Forest, Poland]. *Wiad. Parazytol.*, 55(1): 27–30.
- Disfani R.A., Shadfar F., Mohammadi M.R., Shamsi L., Asghari A., Badri M., Davoodi T., Maleki F. (2025). Systematic review and meta-analysis of the prevalence, species distribution and risk factors of *Eimeria* spp. in Iranian livestock. *Vet. Med. Sci.*, 11(4), e70450.
- Doherty J.F., Milotic M., Filion A., Eriksson A. (2022). Host specificity and the reproductive strategies of parasites. *Parasitology*, 149(4): 534–541.
- Gavelis G., Gile G., Leander B. (2021). Convergent evolution of animal-like organelles across the tree of eukaryotes. W: *Origin and Evolution of Metazoan Cell Types*. Leys S., Hejnowicz A. (red.). CRC Press, ss. 27–46.
- Gawel A., Bobusia K., Bobrek K. (2015). Identification of *Eimeria* spp. occurring in hens and broiler chickens in Poland. *Med. Weter.*, 71(6): 382–385.
- Gibson W. (2021). The sexual side of parasitic protists. *Mol. Biochem. Parasitol.*, 243: 111371.
- Gilbert W., Bellet C., Blake D.P., Tomley F.M., Rushton J. (2020). Revisiting the economic impacts of *Eimeria* and its control in European intensive broiler systems with a recursive modeling approach. *Front. Vet. Sci.*, 7: 558182.
- Gubbels M.J., Duraisingh M.T. (2012). Evolution of apicomplexan secretory organelles. *Int. J. Parasitol.*, 42(12): 1071–1081.
- Gui L., O'Shaughnessy W.J., Cai K., Reetz E., Reese M.L., Nicastro D. (2023). Cryotomography reveals rigid-body motion and organization of apicomplexan invasion machinery. *Nat. Commun.*, 14(1): 1775.
- Guizetti J., Frischknecht F. (2021). Apicomplexans: A conoid ring unites them all. *PLoS Biol.*, 19(3): e3001105.

- Gundlach J.L., Sadzikowski A.B. (2004). Parazytologia i parazytozy zwierząt. PWRiL, Warszawa.
- Haase R., Dos Santos Pacheco N., Soldati-Favre D. (2022). Nanoscale imaging of the conoid and functional dissection of its dynamics in Apicomplexa. *Curr. Opin. Microbiol.*, 70: 102226.
- Harding C.R., Frischknecht F. (2020). The riveting cellular structures of apicomplexan parasites. *Trends Parasitol.*, 36(12): 979–991.
- Klockiewicz M., Kaba J., Tomczuk K., Janecka E., Sadzikowski A.B., Rypuła K., Studzińska M., Małecki-Tepicht J. (2007). The epidemiology of calf coccidiosis (*Eimeria* spp.) in Poland. *Parasitol. Res.*, 101: 121–128.
- Kolářová I., Valigurová A. (2021). Hide-and-seek: A game played between parasitic protists and their hosts. *Microorganisms*, 9(12): 2434.
- Kuligowska I., Demiaszkiewicz A.W., Kowalczyk R. (2014). A new occurrence of *Eimeria alces* (Apicomplexa: Eimeridae) in elk (*Alces alces*) in East Poland. *Ann. Parasitol.*, 60(4): 277–279.
- Lassen B., Lepik T., Bangoura B. (2013). Persistence of *Eimeria bovis* in soil. *Parasitol. Res.*, 112(7): 2481–2486.
- Li D.L., Gong Q.L., Ge G.Y., Wang Q., Sheng C.Y., Ma B.Y., Chen Z.Y., Yang Y., Li J.M., Shi K., Leng X., Du R. (2021). Prevalence and infection risk factors of bovine *Eimeria* in China: a systematic review and meta-analysis. *Parasite*, 28: 61.
- López-Osorio S., Chaparro-Gutiérrez J.J., Gómez-Osorio L.M. (2020). Overview of poultry *Eimeria* life cycle and host-parasite interactions. *Front. Vet. Sci.*, 7, 384.
- Mares M.M., Al-Quraishy S., Abdel-Gaber R., Murshed M. (2023). Morphological and molecular characterization of *Eimeria* spp. infecting domestic poultry *Gallus gallus* in Riyadh City, Saudi Arabia. *Microorganisms*, 11(3): 795.
- Matos L., Muñoz M.C., Molina J.M., Rodríguez F., Pérez D., López A.M., Hermosilla C., Taubert A., Ruiz A. (2018). Age-related immune response to experimental infection with *Eimeria ninakohlyakimovae* in goat kids. *Res. Vet. Sci.*, 118: 155–163.
- Matsubayashi M., Inaoka D.K., Komatsuya K., Hatta T., Kawahara F., Sakamoto K., Hikosaka K., Yamagishi J., Sasai K., Shiba T., Harada S., Tsuji N., Kita K. (2019). Novel characteristics of mitochondrial electron transport chain from *Eimeria tenella*. *Genes (Basel)*, 10(1): 29.
- Mesa-Pineda C., Navarro-Ruiz J.L., López-Osorio S., Chaparro-Gutiérrez J.J., Gómez-Osorio L.M. (2021). Chicken coccidiosis: From the parasite lifecycle to control of the disease. *Front. Vet. Sci.*, 8: 787653.
- Niewiadomska K., Pojmańska T., Machnicka B., Czubaj A. (2001). Zarys parazytologii ogólnej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Nosal P., Kowal J., Wyrobisz-Papiewska A., Murawski M. (2023). Investigation of the sub-clinical parasitic infection of alpacas in Polish herds. *Rocz. Nauk. Zoot.*, 50: 299–309.
- Oakes R.D., Kurian D., Bromley E., Ward C., Lal K., Blake D.P., Reid A.J., Pain A., Sinden R.E., Wastling J.M., Tomley F.M. (2013). The rhoptry proteome of *Eimeria tenella* sporozoites. *Int. J. Parasitol.*, 43(2): 181–188.
- Ola-Fadunsin S.D., Nuhu A.A., Fabiyi J.P., Sanda I.M., Hussain K., Rabiun M., Ganiyu I.A. (2019). Prevalence and associated risk factors of *Eimeria* species in rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in Ilorin, Kwara State, Nigeria. *Ann. Parasitol.*, 65(3): 267–273.
- Padilla L.F.A., Murray J.M., Hu K. (2024). The initiation and early development of the tubulin-containing cytoskeleton in the human parasite *Toxoplasma gondii*. *Molecular Biology of the Cell*, 35(3), ar37.
- Peek H.W., Landman W.J. (2011). Coccidiosis in poultry: anticoccidial products, vaccines and other prevention strategies. *Vet. Q.*, 31(3): 143–161.

- Pilarczyk B., Balicka-Ramisz A., Cisek A., Szalewska K., Lachowska S. (2004). Występowanie kokcydii i nicieni przewodu pokarmowego u dzików na terenie Pomorza Zachodniego [Prevalence of *Eimeria* and intestinal nematodes in wild boar in north-west Poland]. *Wiad. Parazytol.*, 50(3): 637–640.
- Pojmańska T. (2005). Pasożytnictwo, pasożyty i żywicieli. *Kosmos – problemy nauk biologicznych*, 54(1): 5–20.
- Preena P. (2019). Successful management of coccidiosis outbreak in a male chick flock in Kannur, Kerala. *J. Indian Vet. Assoc.*, 17(1): 61–65.
- Rahmani A., Ahmed Laloui H., Kara R., Dems M.A., Cherb N., Klikha A., Blake D.P. (2024). The financial cost of coccidiosis in Algerian chicken production: a major challenge for the poultry sector. *Avian Pathol.*, 53(5): 368–379.
- Russell D.G., Sinden R.E. (1981). The role of the cytoskeleton in the motility of coccidian sporozoites. *J. Cell Sci.*, 50: 345–359.
- Smith A.L., Hayday A.C. (2000). Genetic dissection of primary and secondary responses to a widespread natural pathogen of the gut, *Eimeria vermiformis*. *Infect. Immun.*, 68(11): 6273–6280.
- Studzińska M., Tomczuk K., Sadzikowski A. (2008). Prevalence of *Eimeria leuckarti* in young horses and usefulness of some coproscopical methods for its detection. *Bulletin of the Veterinary Institute in Puławy*, 52: 541–544.
- Svensson C. (1995). Survival of oocysts of *Eimeria alabamensis* on pastures under different climatic conditions in Sweden. *Acta Vet. Scand.*, 36(1): 9–20.
- Tomczuk K., Grzybek M., Szczepaniak K., Studzińska M., Demkowska-Kutrzepa M., Roczek-Karczmars M., Klockiewicz M. (2015). Analysis of intrinsic and extrinsic factors influencing the dynamics of bovine *Eimeria* spp. from central-eastern Poland. *Vet. Parasitol.*, 214(1-2): 22–28.
- Valleau D., Sidik S.M., Godoy L.C., Acevedo-Sánchez Y., Pasaje C.F.A., Huynh M.H., Caruthers V.B., Niles J.C., Lourido S. (2023). A conserved complex of microneme proteins mediates rhoptry discharge in *Toxoplasma*. *The EMBO J.*, 42(23), e113155.
- von Samson-Himmelstjerna G., Epe C., Wirtherle N., von der Heyden V., Welz C., Radeloff I., Beening J., Carr D., Hellmann K., Schnieder T., Krieger K. (2006). Clinical and epidemiological characteristics of *Eimeria* infections in first-year grazing cattle. *Vet. Parasitol.*, 136(3-4): 215–221.
- Watrang E., Thebo P., Lundén A., Dalgaard T.S. (2016). Monitoring of local CD8 β -expressing cell populations during *Eimeria tenella* infection of naïve and immune chickens. *Parasite Immunol.*, 38(8): 453–467.
- Weng S., Tian E., Gao M., Zhang S., Yang G., Zhou B. (2024). *Eimeria*: Navigating complex intestinal ecosystems. *PLoS Pathog.*, 20(11), e1012689.
- Xu L., Xiang Q., Li M., Sun X., Lu M., Yan R., Song X., Li X. (2022). Pathogenic effects of single or mixed infections of *Eimeria mitis*, *Eimeria necatrix*, and *Eimeria tenella* in chickens. *Vet. Sci.*, 9(12): 657.
- Yaeger R.G. (1996). Protozoa: Structure, Classification, Growth, and Development. W: *Medical Microbiology* (monografia). Baron S. (ed.). Galveston (Teksas): University of Texas Medical Branch at Galveston; rozdział 77.
- Zhao D., Suo J., Liang L., Liang R., Zhou R., Ding J., Liu X., Suo X., Zhang S., Tang X. (2024). Innovative prevention and control of coccidiosis: targeting sporogony for new control agent development. *Poultry Sci.*, 103(12): 104246.
- Zhou X., Wang L., Wang Z., Zhu P., Chen Y., Yu C., Chen S., Xie Y. (2023). Impacts of *Eimeria* coinfection on growth performance, intestinal health and immune responses of broiler chickens. *Vet. Parasitol.*, 322: 110019.

Zhu Y., Liu D., Wang L., Feng Q., Wang F., Xue N., Hou Z., Xu J., Hu J., Tao J. (2025). Observations of the fine structural changes associated with merogony and gametogony in *Eimeria necatrix* and localization of two gametocyte proteins. *Microorganisms*, 13(5): 1135.

Zatwierdzono do druku: 4 XII 2025

SELECTED PARASITIC ADAPTATIONS IN SPOROZOANS (APICOMPLEXA) WITH A FOCUS ON THE GENUS *EIMERIA*

Anna Katarzyna Kucharska, Marta Basiaga

SUMMARY

This study critically examines the key adaptations underlying the parasitic success of sporozoans (Apicomplexa), with a particular focus on the genus *Eimeria*. By synthesizing current literature, the paper identifies how specific morphological, biological, and physiological traits enable *Eimeria* spp. to infect a diverse array of hosts and thrive in various environments. Understanding these core adaptations provides essential insights into the mechanisms underlying *Eimeria*'s impact, including the pathogenesis of coccidiosis – a disease characterized by diarrhea, dehydration, and potentially death. This paper distinguishes and discusses two main categories of adaptations: (1) biological adaptations, which include features related to reproduction, development, and life cycle strategies; and (2) morphological adaptations, which encompass structures such as the apical complex, cytoskeletal elements, and the forms of developmental stages. The integration of these categories of adaptations enables the parasites to efficiently locate, colonize, and persist within their hosts. Understanding these adaptations and factors influencing infection is crucial for revealing *Eimeria* pathogenesis and spread. Moreover, this knowledge also helps to disrupt their life cycles and prevent infection.

Keywords: Apicomplexa, *Eimeria* spp., adaptations, parasitism