

# Biodiesel

## – mity i fakty

**Witold Podkówka**

Nadprodukcja płodów rolnych i dążenie do zwiększenia ich produkcji nie powinno powodować obniżenia ceny i stanowić problemu z ich zbytem. Należy zmierzać do zwiększenia produkcji roślinnej z przeznaczeniem na cele techniczne. Płody rolne prawidłowo przetworzone powinny stopniowo zastępować ropę naftową i stanowić cenny półprodukt do wytwarzania tzw. oleochemikaliów wysokowartościowych, niezbędnych dla przemysłu włókienniczego, chemicznego oraz do wytwarzania farb i lakierów, jak również wielu innych związków. W procesie przetwarzania płodów rolnych uzyskuje się produkty uboczne, które są wartościową paszą dla zwierząt gospodarskich.

Ponad 100 lat temu około 85% populacji ludności Europy mieszkało na wsi i pracowało w rolnictwie. Biomasa roślinna produkowana wówczas przez rolnictwo była wykorzystywana głównie przez ludność, której wyżywienie bazowało na własnych produktach, oraz przez zwierzęta gospodarskie. Obecnie wskaźnik ludności zatrudnionej w rolnictwie w większości krajów europejskich nie przekracza 15%, co ma istotny wpływ na wielkość spożycia przez rodziny wiejskie własnych produktów. Ograniczona liczba osób zatrudnionych w rolnictwie spowodowała konieczność zastosowania nowoczesnych, wydajnych maszyn napędzanych paliwem kopalnym. Wprowadzenie nowych odmian roślin uprawnych o dużym potencjale produkcyjnym, przy zastosowaniu nowoczesnej agrotechniki, doprowadziło również do nadprodukcji biomasy roślinnej.

Do prac w rolnictwie wykorzystywano konie, analogiczną rolę spełniały one w transporcie miejskim czy międzynarodowym. Wiele maszyn w rolnictwie czy przemyśle napędzano siłą mięśni ludzkich. W XVIII wieku skonstruowano maszynę parową, opalaną głównie węglem kamiennym, co spowodowało odejście od tradycyjnych źródeł napędu jakim był koń i człowiek. Silniki parowe stworzyły nowe możliwości w komunikacji lądowej i morskiej, jak również w umaszynowaniu zakładów w ośrodkach przemysłowych. W XIX wieku pojawił się silnik spalinowy, który szybko zastąpił silnik parowy. Transport koński okazał się niewydolny w stosunku do wymagań nowoczesnych technologii, ponadto stał się uciążliwy, szczególnie w miastach. Przykry zapach końskiego łajna i moczu powodował różne dolegliwości u ludzi. W 1900 roku Nowy Jork pokrywało 20 000 dt końskiego łajna, ale głównym problemem było wdychanie przez ludzi pyłu unoszącego bakterie, wywołującego rozmaite schorzenia dróg oddechowych. Podobne zjawiska występowały również w innych miastach Europy. W latach dwudziestych ubiegłego wieku konie zastąpiły pojazdami mechanicznymi, napędzanymi paliwem płynnym na bazie ropy naftowej. Jednak szybko stwierdzono, że produkowane spaliny zawierają związki, które nie są obojętne dla organizmu ludzkiego. Dzisiaj wiemy, że z samochodem żyć jest coraz trudniej, jednak bez niego – bardzo trudno.

Silniki spalinowe są obecnie niezastąpionym środkiem napędowym do samochodów, okrętów, samolotów i wielu innych maszyn, jednak jego spaliny zanieczyszczają środowisko. Najważniejszym źródłem zanieczyszczenia atmosfery jest motoryzacja. Ocenia się, że 78% całkowitej emisji tlenków węgla, 60% tlenków azotu i 50% węglowodorów pochodzi z rur wydechowych pojazdów. W miastach najwięcej spalin emitują autobusy i ciężarówki, w porównaniu z samochodami osobowymi emitują one 5-6 razy więcej cząstek stałych (sadzy).

Z jednej strony nadprodukcja biomasy roślinnej, z drugiej wzrost zanieczyszczenia środowiska, jak również ograniczone zasoby ropy naftowej, spowodowało zwrócenie uwagi na możliwość wykorzystania olejów roślinnych do napędu silników spalinowych. Pierwsze próby – przeprowadził je niemiecki inżynier Rudolf Diesel w 1897 roku – potwierdziły możliwość zastąpienia oleju napędowego z ropy naftowej olejami roślinnymi. W 1900 roku na światowej wystawie w Paryżu firma Otto Company prezentowała silnik Diesel, który pracował na oleju arachidowym. Zaledwie kilka osób zwróciło uwagę na ten fakt. Rząd francuski w tamtych czasach rozważał możliwość wykorzystania, jako źródła energii, oleju arachidowego z orzeszków ziemnych, które rosły na dużych obszarach w koloniach afrykańskich. Upłynęło ponad 100 lat od zainteresowania się olejami roślinnymi, jako olejem napędowym do silników wysokoprężnych, jednak paliwo to nie zostało rozpowszechnione, ponieważ było droższe od paliwa ropopochodnego.

W odróżnieniu od oleju napędowego z ropy naftowej (nazwa potoczna diesel), paliwa z olejów roślinnych, jako mieszanina estrów metylowych kwasów tłuszczowych nazywane są potocznie biodieslami. Paliwa z olejów roślinnych, które odzwierciedlają najlepsze cechy i charakterystykę współczesnych olejów napędowych, stały się już rzeczywistością na tyle silną, że ich produkcja i zastosowanie nie zależy wyłącznie od woli polityków, bowiem jako paliwa ekologiczne, pochodzące ze źródeł odnawialnych, będą w coraz większym stopniu zastępować paliwa obecnie stosowane. Paliwa pochodzące z biomasy roślinnej, zwane biopaliwami lub paliwami zielonymi, mają coraz większe zastosowanie (w stosunku do silnika z zapłonem samoczynnym należy rozumieć oleje roślinne przetworzone chemicznie, w celu uzyskania właściwości zbliżonych do oleju napędowego). Przetworzone oleje roślinne, zwane są estrami metylowymi kwasów olejów roślinnych (FAME – fatty acid methyl ester), zaś dla produktów z oleju rzepakowego przyjęto nazwę rzepakowe estry metylowe (RME – rape methyl esters).

W literaturze światowej można znaleźć wiele przykładów wykorzystania różnych olejów i tłuszczów jako paliw do silników, w formie bezpośredniej czy też zmodyfikowanej, np. estrów metylowych kwasów tłuszczowych. O zastosowaniu danego oleju roślinnego do produkcji biopaliwa decyduje wiele czynników, jednak głównie położenie geograficzne (klimat) oraz warunki ekonomiczne. W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej, gdzie soja uprawiana jest powszechnie, podstawowym surowcem jest olej sojowy; w Kanadzie i krajach Europy – olej rzepakowy; w krajach tropikalnych (Malezja, Indonezja, Tajlandia) – olej palmowy. Można wykorzystywać inne oleje, np.: słonecznikowy, rycynowy, bawełniany, kukurydziany, arachidowy, lniany, oliwkowy, dobrym surowcem są tłuszcze zwierzęce. Do produkcji estrów metylowych wyko-

rzystuje się również tłuszcze odpadowe, np. posmażalnice, utylizacyjne i inne. Oleje rybne mają ograniczone zastosowanie ze względu na nieodpowiedni skład kwasów tłuszczowych (o liczbie 24 węgli i więcej), co powoduje, że wyprodukowane estry są mało stabilne.

W Europie podstawowym surowcem do produkcji estrów jest olej rzepakowy. Ze względu na skład chemiczny olej rzepakowy, zawierający około 60% kwasu oleinowego (C 18:1) oraz w sumie około 90% kwasów 18-węglowych (oleinowy, linolowy, linolenowy), stał się pożądanym surowcem do produkcji ekologicznego paliwa RME.

W Polsce zwiększenie produkcji rzepaku na cele energetyczne (czyli do produkcji RME) jest realne, jeżeli weźmie się pod uwagę warunki glebowe i klimatyczne. Zwiększenie produkcji rzepaku spowoduje również zwiększenie zasobów białka paszowego, którego deficyt wynosi około 6 mln dt. Estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, oprócz zastosowania jako paliwo do silnika wysokoprężnego, stanowią cenny półprodukt do wytwarzania ogromnej gamy związków zwanych oleochemikaliami, które mają zastosowanie w różnych dziedzinach chemii gospodarczej i przemysłowej.

Kierunki wytyczone przez władze Unii Europejskiej i zapisane w Białej Księdze z 1997 roku, obligują do przedstawienia własnej strategii rozwoju produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Dla polskich warunków oznacza to dodawanie bioetanolu do benzyny i estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (RME) do oleju napędowego. Oznacza to również dynamiczny rozwój nowego kierunku produkcji i wzrost zapotrzebowania na surowce rolnicze. Jednak różni przedstawiciele życia politycznego i gospodarczego, jak również użytkownicy samochodów i innych maszyn napędzanych silnikiem spalinowym, mają wątpliwości czy takie założenia są słuszne. Swoje wątpliwości tłumaczą tym, że skoro są one droższe od tradycyjnych paliw uzyskanych z ropy naftowej, to dlaczego je produkować. Produkcja energii ze źródeł odnawialnych, z punktu widzenia czysto inwestycyjnego, jest nieopłacalna. Dopiero po uwzględnieniu następujących aspektów ekologicznych i gospodarczych produkcja energii ze źródeł odnawialnych może być interesująca.

♦ Zasoby ropy naftowej są ograniczone, na podstawie wydobycia ropy naftowej i zapotrzebowania można przyjąć założenie, że jej zasoby wystarczą na około 50 lat, zaś Polska jest krajem bez własnych źródeł paliw płynnych.

♦ Ograniczenie wydobycia paliw kopalnych przyczyni się do ochrony środowiska, a głównie atmosfery przed gazami wywołującymi efekt cieplarniany. Wydobyte z głębi ziemi węgiel, gaz, ropa naftowa są spalane na powierzchni ziemi. W procesie spalania uwalniany jest dwutlenek węgla, który uczestniczy w procesie fotosyntezy, krąży na powierzchni ziemi, zasila atmosferę, jednak nie wraca w głąb ziemi, skąd go wydobyto. Ilość dwutlenku węgla w atmosferze ciągle się zwiększa, co powoduje efekt cieplarniany i wzrost temperatury ziemi. Zjawisko to jest niekorzystne. RME produkowane z biomasy roślinnej i spalane w silniku, w podobny sposób uwalniają dwutlenek węgla. Uwolniony dwutlenek węgla rośliny wchłaniają w procesie fotosyntezy, który ponownie wraca do produkcji. Cały proces obiegu dwutlenku węgla odbywa się na powierzchni ziemi i w atmosferze, a ilość gazu jest cały czas stała. Przy spalaniu RME wytwarza się mniej więcej

tyle dwutlenku węgla, ile rośliny pobrały w czasie wzrostu – zamknięty obieg dwutlenku węgla. Nawet jeśli weźmiemy pod uwagę cały proces produkcyjny – od uprawy rzepaku do dostawy RME do stacji paliw – emisja dwutlenku węgla przy spalaniu jest o 60-80% mniejsza niż w przypadku tradycyjnego oleju napędowego. Z badań wynika, że na 1000 litrów oleju napędowego, łącznie z przerobem, emisja dwutlenku węgla wynosi 3200 kg. Wynika z tego, że ograniczenie wydobycia paliw kopalnych może spowodować zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.

♦ Przy stosowaniu RME uzyskuje się lepsze spalanie w silniku, co ma wpływ na zmniejszenie smogu i związków rakotwórczych w atmosferze, szczególnie w dużych miastach, a tym samym na obniżenie kosztów leczenia społeczeństwa.

♦ RME praktycznie nie zawiera siarki, a tym samym ogranicza zjawisko występowania „kwaśnych deszczy”. Ponadto nie zawiera benzolu i innych środków aromatycznych, jest substancją bezpieczną (temperatura zapłonu wynosi około 170°C), łatwo ulega biodegradacji i w przypadku awarii nie zagraża glebie i wodom gruntowym (w normalnych warunkach w ciągu 28 dni mikroorganizmy rozkładają go w 99%).

♦ Produkcja RME przyczyni się między innymi do:

– wzrostu zapotrzebowania na rzepak, co stworzy realne szanse na zagospodarowanie jego nadwyżek, jak również przyczyni się do zagospodarowania gleb odłogowanych (w wyniku skażenia ich przez przemysł) oraz gruntów ugorowanych;

– poprawy bilansu pasz białkowych; przy produkcji RME uzyskuje się bowiem wytloki lub śrutę poekstrakcyjną, które mogą być wykorzystywane jako pasza w żywieniu krów, świń i innych zwierząt gospodarskich, co z kolei wpłynie na ograniczenie importu śruty sojowej;

– rozwoju rolnictwa i przetwórstwa rolnego na wsi – powstawanie nowych inwestycji i miejsc pracy;

– zmniejszenia ujemnego bilansu w handlu zagranicznym z powodu zmniejszenia zakupów ropy naftowej.

Przeciwnicy wysuwają argumenty wskazujące, że RME ma więcej wad niż zalet i należy być ostrożnym w jego powszechnym zastosowaniu. Do najczęściej podnoszonych zastrzeżeń należy zaliczyć:

– większy koszt RME niż oleju napędowego;

– niższa wartość opałowa (od 8 do 17%), co wiąże się z większym zużyciem paliwa przez silnik;

– konieczność modyfikacji systemów wtryskowych z uwagi na wyższą lepkość estrów w porównaniu z olejem napędowym;

– tworzenie się osadów w silniku, zwłaszcza na wtryskach;

– powstawanie w spalinach formaldehydu i akreoliny, które są niebezpieczne dla ludzi;

– zwiększona emisja NO<sub>x</sub> (tlenki azotu wywołujące podrażnienie śluzówki, mające również działanie rakotwórcze);

– mniejsza odporność na utlenianie, co ma szczególne znaczenie przy dłuższym przechowywaniu;

– higroskopijność (samoistne chłonięcie wody);

– zwiększona podatność na rozwój mikroorganizmów;

– możliwość blokowania systemu filtrującego przez wydzielane osady;

- działanie rozpuszczające wobec niektórych materiałów uszczelniających (uszczelki gumowe) i lakierów;
- możliwości rozcieńczania oleju silnikowego, a w efekcie konieczność częstej jego wymiany;
- częstsza wymiana filtra oleju.

Do pośrednich, negatywnych skutków stosowania RME należy zaliczyć możliwość skażenia gleby środkami ochrony roślin, stosowanym przy uprawie rzepaku, jak również zanieczyszczenia metanolem i katalizatorami, produktami ubocznymi z metanolizy.

Jak już wspomniano, spalanie paliw jest nie tylko źródłem energii, lecz również przyczynia się do powstawania zanieczyszczeń atmosfery takimi związkami, jak: tlenki azotu, tlenki siarki, tlenki węgla, cząstki stałe i inne. Nawet dwutlenek węgla emitowany w nadmiarze jest głównym gazem cieplarnianym. Trudno jest obliczyć ilość emitowanego dwutlenku węgla do atmosfery przy stosowaniu biopaliw. Natomiast łatwo jest obliczyć ilość emitowanego dwutlenku węgla przez silnik przy spalaniu oleju napędowego lub RME. Należy jednak uwzględnić emisję dwutlenku węgla związaną z produkcją nawozów, środków ochrony roślin, środków do procesu metanolizy (metanol, katalizator i inne) oraz z przeróbką nasion rzepaku (energia elektryczna). Do wyprodukowania wymienionych produktów zużywa się energię pochodzącą z kopalni (gaz ziemny, węgiel, ropa). Z wielu szacunkowych obliczeń wynika, że można obniżyć o 50-60% ilość emitowanego dwutlenku węgla do atmosfery, wprowadzając biopaliwa w miejsce oleju napędowego. Zakładając, że 5% oleju napędowego zostanie zastąpione przez RME, to całkowita redukcja dwutlenku węgla będzie wynosiła około 3%.

Przedstawione problemy i zagrożenia mogą się pojawić po zastosowaniu RME jako paliwa do silników wysokoprężnych. W wielu publikacjach paliwo to opisywane jest jako paliwo bez wad i traktowane jako panaceum na wiele niedoskonałości obecnego oleju napędowego z ropy naftowej. Każdy proces spalania powoduje powstawanie szkodliwych substancji, które można w mniejszym lub większym stopniu ograniczyć. Należy to traktować jako normalne problemy techniczne, które należy rozwiązać, a nie wyolbrzymiać ich znaczenie. Niższa toksyczność paliw pochodzenia roślinnego w stosunku do paliw z ropy naftowej, jak również ich odnawialność, nie może przesłaniać „ciemniejszych plam” paliw na bazie estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Należy mieć również świadomość, że większość występujących problemów dotyczy stosowania RME, które nie spełniają wymagań jakościowych. Przy zastosowaniu RME nieodpowiedniej jakości negatywne skutki nie występują od razu, lecz po dłuższej i intensywnej eksploatacji silnika. Skutki tych zjawisk można zminimalizować i wyeliminować stosując RME wysokiej jakości. Producenci RME powinni dążyć do jak najwyższej jakości, co związane jest z ciągłą kontrolą produktu i doskonaleniem technologii produkcji.

Niekorzystne cechy RME mogą być niwelowane poprzez stosowanie odpowiednich dodatków do oleju napędowego. Mogą to być detergenty, depresatory, antyutleniające, środki ograniczające korozję i inne. Negatywne skutki stosowania RME wynikają z nieprzystosowania układu zasilania (głównie od strony materiałowej) do kontaktu z estrami metylowymi. Zagrożenia te są ważne, jednak łatwo i niedrogo można je

usunąć poprzez zastosowanie materiałów odpornych na działanie RME. Zagrożenia te nie ograniczają się jedynie do RME, występują również przy stosowaniu nieodpowiednich paliw ropopochodnych. Mniejsza trwałość biopaliw i większa podatność na zanieczyszczenia biologiczne to cena, jaką należy zapłacić za ich biodegradalność i nietoksyczność.

Producenci silników wysokoprężnych wprowadzają nowe technologie, udoskonalają jego sprawność i przystosowują do stosowania estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego. Nowa generacja silników wysokoprężnych jest przystosowana do spalania estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego pod warunkiem, że spełniają one wymagania jakościowe określone normami. Optymizm konstruktorów silników wynika z faktu, że surowiec co roku odradza się, jak również z właściwości finalnego produktu – jest to paliwo czyste, bez węglowodorów aromatycznych, bez siarki, którego spalanie daje w efekcie o wiele czystsze gazy spalinowe, jest biodegradalne, czego nie wykazuje olej napędowy z ropy naftowej.

Należy mieć świadomość, że każdy produkt charakteryzuje się pewnymi cechami, które w zderzeniu z istniejącą rzeczywistością czasami mogą okazać się niekorzystne. Oznacza to, że każde zjawisko o charakterze technicznym, zwyczajnie należy rozwiązać. Przykładowo przy spalaniu estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, spaliny cechują się charakterystycznym zapachem pochodzącym od akreoliny. W celu likwidacji „drażniącej” akreoliny montowany jest w rurze wydechowej reaktor katalizacyjny. Z informacji zamieszczonych w czasopiśmie „Raps” (2000 r., tom 18; nr 2, s. 102 i nr 3, s. 175) wynika, że w przypadku wysokoprężnych jednostek napędowych, produkowanych przez większość firm, montowany jest w silniku nowoczesny katalizator w celu likwidacji nieprzyjemnego i szkodliwego aldehydu akrylowego i formaldehydu. Katalizatory są montowane w silnikach samochodów osobowych, dostawczych i traktorach dla rolnictwa. Dlatego w instrukcjach obsługi podana jest informacja, że można stosować biodiesel lub RME bez żadnych negatywnych konsekwencji związanych z utratą gwarancji.

Problemy związane z wykorzystaniem RME, jako paliwa lub jako komponentu oleju napędowego, wymagają akceptacji przez producentów silników, jak również przez użytkowników. W dyskusji na forum europejskim stwierdzono, że przy zachowaniu odpowiednio wysokiej jakości RME, ich udział nawet do 30% w oleju napędowym nie wpływa istotnie na właściwości paliwa i może być powszechnie stosowany. Należy pamiętać o cenie, która powinna być bodźcem do stosowania takiego paliwa przez użytkownika. Stosowanie RME powinno być korzystne dla wszystkich podmiotów mających z nim kontakt, a więc dla rolnika, producenta, dystrybutora i najważniejsze – dla nabywcy paliwa, tj. właściciela silnika.

Estry metylowe kwasów tłuszczowych, w zależności od kraju w którym są produkowane, mają różne nazwy handlowe. Nazwa może dotyczyć czystych 100% RME lub mieszaniny estrów z olejem napędowym z ropy naftowej. Najczęściej spotykane nazwy handlowe to: BIODIESEL – Austria, BIODIESEL FUEL /B 100/ – USA, DIESTER – Francja, DIESEL-BIO – Włochy, EKODIESEL – Niemcy, EKOESTER, BIONAFTA – Czechy i Słowacja.

W Polsce, w pracach badawczych nad estrami metylowymi kwasów tłuszczowych głównie oleju rzepakowego, stosowano następujące nazwy: A ZONA (wg Adamczyka); EPAL (produkowany w Agrorafinerii Mochetek); EKOL-K, EKOL-MB, EKOL-1, EKOL-2, EKOL-3 (wg różnych technologii produkcji w Zakładach Azotowych w Kędzierzynie-Koźlu); EKOL-S, SOPUR-A, SOPUR-N, SOPUR-T (wg różnych technologii produkcji w SOPUR Bydgoszcz); ROSBIODIESEL (wg technologii PPHU D.D. Rosiak i Rosiak w Krośniewicach – mieszanina estrów metylowych oleju rzepakowego i estrów metylowych „przepracowanego” oleju roślinnego); BIOXDIE-

SEL M1, M2, M3, M4 (wg Strusia z Wyższej Szkoły Oficerskiej we Wrocławiu – mieszaniny złożone z biodiesla, etanolu i oleju napędowego w różnych proporcjach); EMKOR (wg Wiślickiego i Wolańskiego – estry metylowe kwasów oleju rzepakowego); EKOLMIX (wg firmy EKODING z Wrocławia); ROKMET (wg Lotko – nazwa handlowa paliwa – estry metylowe oleju rzepakowego).

Więcej informacji dotyczących omawianych zagadnień można znaleźć w opracowaniu monograficznym pod redakcją Witolda Podkówki pt. „Biopaliwa – gliceryna – pasza z rzepaku”, Wydawnictwo ATR Bydgoszcz (w druku).

## Immunoglobuliny żółtka jaja kurzego w zapobieganiu chorobom przewodu pokarmowego ssaków hodowlanych i człowieka

Antoni J. Furowicz<sup>1</sup>, Horacio R. Terzolo<sup>2</sup>,  
José Andrés Alban Juarez<sup>2</sup>, Anna Peruzińska<sup>1</sup>

<sup>1</sup>AR w Szczecinie

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria,  
Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias,  
Balcarce prov. Buenos Aires, Argentina

### Mechanizmy odpornościowe ptaków

Mechanizmy odpornościowe ptaków różnią się w znacznym stopniu od tych procesów występujących u ssaków [2, 13]. Głównym narządem limfoidalnym, określonym jako pierwotny (centralny), jest u ptaków kaletka Fabrycjusza, stanowiąca workowaty uchyłek terminalnego odcinka przewodu pokarmowego (kloaki), do którego uchodzą drogi moczowe. Wewnątrz kaletki znajduje się około 12 000 tworów zbliżonych do grudek limfatycznych; stanowią je skupiska limfocytów. Zasadniczą funkcją kaletki Fabrycjusza jest nabieranie kompetencji immunologicznej przez limfocyty B. U ssaków za ten mechanizm odpowiedzialna jest wątroba (w okresie płodowym) oraz szpik kostny [3, 5, 13]. Tak więc, kaletka odpowiedzialna jest za zapoczątkowanie procesu odporności humoralnej, związanej z syntezą przez pobudzone limfocyty B przeciwciał (immunoglobulin). Ponadto, w narządzie tym występują makrofagi i tzw. wydzielnicze komórki dendrytyczne [13].

Podstawowym narządem odpowiedzialnym za nabywanie kompetencji immunologicznej przez prekursorowe komórki T (odpowiedzialne za swoistą odporność komórkową) jest grasica. Wtórne (obwodowe) narządy limfatyczne ptaków stano-

wią: śledziona, szpik kostny, tkanka limfoidalna związana z przewodem pokarmowym (GALT), tkanka limfatyczna oskrzeli (BALT), głowy (HALT), spojówek (CALT). Obwodowym narządem limfatycznym jest ponadto gruczoł Hardera (trzeciej powieki), którego zasadniczymi elementami są komórki plazmatyczne, limfocyty B i T oraz komórki limfoidalne. Odnotowano, że w gruczole tym są syntetyzowane przez komórki plazmatyczne głównie immunoglobuliny klasy A [2, 13]. Zasadniczą różnicą rozwoju embrionalnego poszczególnych układów i narządów ptaków i ssaków jest to, że proces ten odbywa się poza organizmem matki. Należy podkreślić, że w krótkim czasie zarodek uzyskuje fizjologiczną sprawność systemu odpornościowego. U kurczątków zaczątki torebki Fabrycjusza stwierdza się już około 8 dnia embriogenezy. Endogenna produkcja immunoglobulin IgG rozpoczyna się między 2 a 7 dniem życia, klasy IgA – między 6 a 13 dniem, a immunoglobulin IgM – między 2 a 4 dniem życia pisklęcia. Wyjątkowo wcześniej zaobserwowano pojawianie się innych elementów odpowiedzialnych za mechanizmy odpornościowe, takich jak dopełniacz. Pełne informacje, dotyczące funkcjonowania innych procesów odpornościowych u różnych gatunków ptaków hodowlanych i dziko żyjących, można znaleźć w opracowaniach Ewerta [2], Furowicza i wsp. [3, 4, 5], Halliwell'a i Gormana [6], Kaspersa i wsp. [8, 9], Outteridge [10] oraz Wernickiego [13].

Odnotowano, że u ptaków wytwarzane są trzy klasy immunoglobulin: IgY (IgG) w formie monomeru, IgM w formie mono- i pentameru oraz IgA jako monomery, dimery (wydzielnicza SIgA) lub agregaty polimeryczne [2, 3, 5, 13]. Nie stwierdzono natomiast obecności IgD i IgE. Najważniejszą „przeciwciażną” immunoglobuliną ptaków jest IgY, określana wcześniej jako ptasia IgG. Budowa jej i szereg właściwości biologicznych odróżniają ją od „klasycznej”, typowej dla ssaków IgG. Najwyższą koncentrację IgY odnotowuje się w żółtku jaja [8, 9, 12]. Fakt ten jest porównywany z koncentracją przeciwciał w siarze samic niektórych gatunków ssaków, w końcowym okresie ciąży. W obu przypadkach mamy do czynienia z naturalną odpornością bierną, tj. koncentracją a następnie transportem przeciwciał do organizmu potomstwa [1].

### Struktura i zasadnicze właściwości IgY

Immunoglobuliny te (yolk - żółtko) są uważane za najstarsze filogenetycznie na świecie; występują także u płazów i gadów [2]. Są to podobnie jak IgG czteropeptydy, monomery zbudowane z 2 łańcuchów lekkich i 2 ciężkich. Łańcuchy lekkie