Akceptuję
W ramach naszej witryny stosujemy pliki cookies w celu świadczenia państwu usług na najwyższym poziomie, w tym w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Korzystanie z witryny bez zmiany ustawień dotyczących cookies oznacza, że będą one zamieszczone w Państwa urządzeniu końcowym. Możecie Państwo dokonać w każdym czasie zmiany ustawień dotyczących cookies. Więcej szczegółów w naszej Polityce Prywatności

Mały krawiec, wielkie umiejętności: jedwab pajęczy

Streszczenie

Produkcja jedwabnych włókien jest cechą wielu gatunków stawonogów, z których najbardziej znanym jest jedwabnik. Jednakże jedwab produkowany przez pająki charakteryzuje się nadzwyczajnymi właściwościami, jak wytrzymałość, sprężystość, czy wiązkość. Zdolność pająków do wytwarzania materiału mocniejszego od stali i bardziej rozciągliwego niż nylon, sprawiła, że zarówno ten proces, jak i sam jedwab stały się obiektem zainteresowań wielu naukowców. Dokładne poznanie anatomii i mechanizmów działania gruczołów odpowiedzialnych za produkcję jedwabiu oraz analizy biochemiczne i mechaniczne włókien zaowocowały powstaniem technologii wytwarzania tego

materiału. Możliwości, jakie dają metody biotechnologiczne, rodzą nadzieję, że biomateriały, reprezentujące cechy jedwabiu pajęczego będą w przyszłości szeroko wykorzystywane w medycynie i przemyśle.

Słowa kluczowe: jedwab pajęczy, spidroiny, fibroiny, biomateriał

Wstęp

Terminem „jedwab" zwykle określane są splecione wiązki włókien, produkowane przez liczne gatunki należące do stawonogów (Arthropoda), głownie z gromad Lepidoptera (Łuskoskrzydłe) i Arachnida (Pajęczaki). Jedwab produkowany jest przez ponad 113000 gatunków należących do Lepidoptera i ponad 30000 znanych gatunków pająków [5,9]. Jedwab pajęczy, podobnie jak jedwabie produkowane przez inne stawonogi, zbudowany jest z białek o dużej zawartości nieswoistych aminokwasów. Wszystkie jedwabne włókna, z wyjątkiem tych wydalanych przez żuki, powstają w specjalnych gruczołach. Mimo tak licznych podobieństw, zdolność do produkcji jedwabiu nie jest spuścizną po wspólnym przodku, lecz wynikiem konwergencji, co oznacza, że u odrębnych taksonów wyewoluowała ona niezależnie [7,13].

Jedwab produkowany przez stawonogi ma różnorodne zastosowania, jak budowa kokonów (jedwabniki), wabienie (larwy Arachnocampa) i chwytanie ofiar (niektóre chruściki), czy budowa schronienia (mrówki z rodzaju Oecophylla). Jednakże tylko pająki tworzą duże i dobrze zorganizowane pajęczyny [7]. Produkują one kilka rodzajów jedwabiu i wyposażone są w tym celu w odpowiednie gruczoły odpowiedzialne za wytworzenie każdego z nich [12]. Pajęcze nici stosowane są do wielu zadań od budowy pułapek, przez unieruchamiania i przechowywanie ofiar, budowę kokonów, wyścielanie gniazda, asekurację oraz lokomocję, do szeroko pojętej komunikacji [1]. Poszczególne jedwabie pajęcze różnią się od siebie, nie tylko składem aminokwasowym, lecz również właściwościami mechanicznymi [12]. Proces powstawania nici pajęczej zachodzi w gruczołach przędnych. W ich części cewkowatej wydzielane są spidroiny (in. fibroiny), rozpuszczalne w wodzie białka, tworzące jedwabne włókna. Roztwór białkowy magazynowany jest w worku gruczołowym. Formowanie włókien zachodzi bardzo szybko, proces rozpoczyna się w przewodzie, gdzie panują warunki sprzyjające agregacji spidroin. W tym miejscu przebiega szereg reakcji fizyko – chemicznych pozwalających na przejście fazowego ciecz – ciało stałe. Dojrzewanie włókna ma miejsce w chwili przejścia przez ujście znajdujące się na kądziołku przędnym i w ten sposób powstaje, niemal natychmiast wysychająca, zwiewna nić jedwabna [3,7].

Jedwabne nici produkowane przez pająki są wyjątkowo wytrzymałe na rozciąganie i pękanie. Są to niezbędne właściwości, umożliwiające przyjecie siły uderzeniowej owadów wpadających w sieć oraz ich utrzymanie. Oszacowano, że wytrzymałość na ściskanie pajęczych nici jest zbliżona do wytrzymałości stali. Ponadto pajęczy jedwab, mimo kilkukrotnie mniejszej gęstości, jest sześciokrotnie mocniejszy od stali, a przy tym bardziej rozciągliwy niż nylon [11]. Ocenia się, iż nić pajęcza grubości ołówka byłaby w stanie zatrzymać lądujący odrzutowiec wojskowy [3].

Nadzwyczajne właściwości mechaniczne jedwabiu pajęczego, jak również jego biokompatybilność oraz biodegradowalność sprawiły, że stała się on obiektem zainteresowań wielu dziedzin nauki i przemysłu. Sposoby wykorzystania tej substancji w przemyśle, od włókienniczego po motoryzacyjny, w medycynie oraz farmacji są obecnie przedmiotem intensywnych badań. Naukowcy zajmują się poznaniem biologii wytwarzania włókien, ich struktury oraz budowy anatomicznej. Ponadto, nieustannie trwają prace nad doskonaleniem sposobów wytwarzania inżynierowanego jedwabiu na potrzeby nauki i przemysłu [3,6].

Powstawanie jedwabnych włókien, ich rodzaje i właściwości

Owady znalazły wiele sposobów na produkowanie różnych typów jedwabiu, lecz sieć pajęcza jest tworem całkowicie unikalnym, podobnie jak zestaw gruczołów produkujący odrębne rodzaje jedwabiu, niejednokrotnie w tym samym czasie. To zróżnicowanie wynika z bardzo istotnej roli, jaką jedwab odgrywa w życiu pająków oraz ścisłej koewolucji struktur anatomicznych odpowiedzialnych za produkcję jedwabiu z pewnymi cechami behawioralnymi, związanymi ze zdobywaniem pożywienia, budowaniem schronienia, czy reprodukcją. Wszystkie gruczoły przędne u pająków sieciowych, jak np. Nephila, prawdopodobnie powstały w czasie ewolucji z jednego typu gruczołów, mimo to obecnie znacznie się od siebie różnią, zarówno pod względem morfologii i anatomii, jak i zdolności do produkcji różnych typów białek [13]. Pochodzenie samych gruczołów przędnych nie zostało w pełni wyjaśnione. Spekuluje się, że powstały one przy gruczołach płciowych, gdzie produkowały materiał ochronny dla spermy i jaj, gdyż taką rolę pełnią one do dziś u wszystkich pająków [7]. Każdy pająk produkuje przynajmniej jeden rodzaj jedwabiu, a liczba i rodzaje gruczołów przędnych zależne są od gatunku. Na przykład, pająki należące do rodziny krzyżakowatych (Araneidae) produkują 5 – 7 rodzajów pajęczej przędzy [3].

Gruczoły przędne znajdują się w brzusznej części odwłoka, a ich ujścia, przyjmujące kształt rurek lub stożków, zlokalizowane są na końcu odwłoka w tzw. kądziołkach przędnych (brodawkach przędnych). Najlepiej poznanym, a za razem największym, gruczołem przędnym jest gruczoł ampułkowy większy. Na jego podstawie określono anatomię tego typy struktur i wyróżniono cztery główne elementy budowy:

1. część cewkowata gruczołu przędnego, gdzie odbywa się ekspresja i sekrecja białek;
2. worek gruczołowy, stanowiący magazyn do przechowywania roztwory białka;
3. przewód gruczołu przędnego, w którym dochodzi do szeregu przemian fizyko – chemicznych prowadzących do przejścia ciekłego roztworu białka w ciało stałe;
4. ujście przewodu przędnego, przez które włókno opuszcza organizm pająka [3].

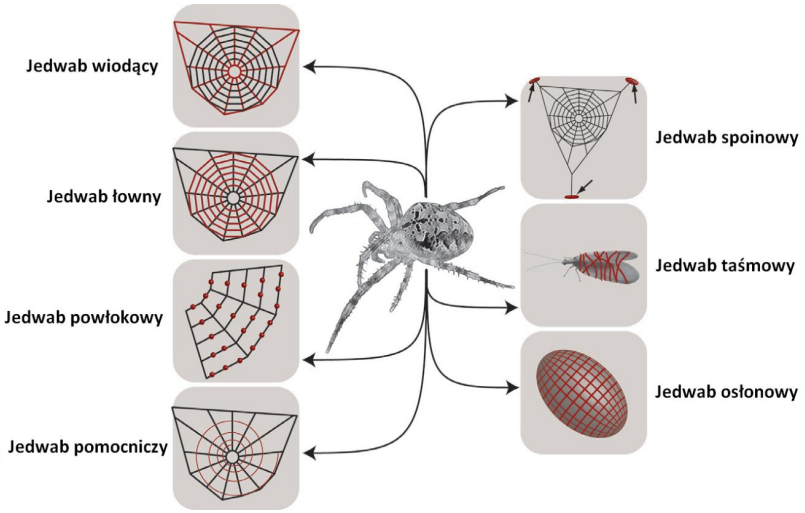
Mechanizm powstawania jedwabiu w organizmach pająków jest bardzo złożony i wysoce wyspecjalizowany. Wszystkie rodzaje jedwabnej przędzy produkowanej przez pająki składają się niemalże wyłącznie z białek, tzw. spidroin (fibroin). Procesy translacji i obróbki spidroin w części cewkowatej gruczołów w bardzo krótkim czasie dostarczają wystarczającej ilości budulca do stworzenia nici, np. w sytuacji zagrożenia życia. Geny kodujące spidroiny są bardzo duże, bogate w sekwencje powtarzające się z przewagą guaniny i cytozyny. Mimo to system replikacji i transkrypcji tych genów jest niebywale sprawny. Komórki nabłonka gruczołów przędnych zdolne są do replikacji swojego materiału genetycznego bez równoczesnych podziałów komórkowych, ponadto zawierają one bardzo dużą pulę tRNA glicyny i alaniny, które przeważają w składzie aminokwasowym spidroin. Dodatkowym atutem pozwalającym usprawnić produkcję tych białek jest występowanie wielu kopii kodujących je genów. Proces formowania włókien podlega ścisłej kontroli, do tego stopnia, że możliwe jest nieprzerwane przędzenie nici [3,13]. W przewodzie gruczołu przędnego zachodzi szereg przemian fizyko – chemicznych, umożliwiających przejście roztworu białka w ciało stałe, dzięki temu powstaje niedojrzałe jedwabne włókno. Wychodzące przez ujście nici dojrzewają poprzez ostateczne odparowanie wody po zetknięciu z powietrzem i w wyniku działania ciśnienia lub/i naprężeń. Ma to znaczący wpływ na właściwości mechaniczne powstających włókien. Pająki mogą regulować proces powstawania dojrzałych nici biernie, wykorzystując swoją masę i siły grawitacji, bądź aktywnie poprzez używanie swoich odnóży do wyciągania i regulowania szybkości przędzenia nici, przy czym najmocniejsze włókna wytwarzane są najwolniej [3].

Najważniejszą, a zarazem najintensywniej badaną i najlepiej scharakteryzowaną, przędzą jedwabna jest jedwab wiodący (MAS – ang. major ampullate silk, dragline silk), produkowany przez gruczoł ampułkowy większy. MAS wykorzystywany jest do tworzenia szkieletu pajęczyny oraz nici asekuracyjnej, umożliwiającej pająkowi ucieczkę w sytuacji zagrożenia. Gruczoł ampułkowy mniejszy

odpowiedzialny jest za produkcję jedwabiu pomocniczego (ang. minor ampullate silk). Jedwab ten pozbawiony jest substancji kleistej i wykorzystywany jest do budowy wewnętrznej spirali sieci, stanowiącej rusztowanie dla właściwej lepkiej spirali łownej. Po wykonaniu swojego zadania przędza ta jest zjadana. Spiralę łowną tworzy jedwab łowny (ang. flagelliform silk) wydzielany przez gruczoł koroniasty. Jego główną zaletą jest ogromna rozciągliwość dochodząca nawet do ponad 500 %. Jedwab łowny może spełniać swoje zadanie, jakim jest wychwycenie i unieruchomienie ofiary dzięki przędzy produkowanej przez gruczoł złożony, czyli jedwabiowi powłokowemu (ang. aggregate silk). Jedwab powłokowy stanowi lepką wydzielinę pokrywającą spirale łowną. Łączenie poszczególnych elementów sieci, jak również przytwierdzenie jej do podłoża możliwe jest dzięki jedwabiowi spoinowemu (ang. pyriform silk), wytwarzanemu przez gruczoły gruszkowate. Gruczoł rurkowaty oraz gronkowaty służą do wytwarzania jedwabnych przędzy służących do tworzenia kokonów chroniących jaja. Pierwszy z nich odpowiedzialny jest za produkcję jedwabiu osłonowego (ang. cylindriform silk) tworzącego zewnętrzną powłokę kokonu, natomiast drugi wytwarza jedwab taśmowy (ang. aciniform silk), wyściełający kokon od wewnątrz. Ponadto, jedwab taśmowy używany jest również przez pająki do owijania schwytanych ofiar (Rys. 1) [2,3,9].

Poszczególne rodzaje jedwabiu różnią się między sobą składem aminokwasowym oraz właściwościami mechanicznymi. Jedwab taśmowy charakteryzuje się największą wiązkością (energię pękania) nie tylko w porównaniu z pozostałymi jedwabiami (np. 10000 razy większą niż jedwabiu wiodącego), ale również w stosunku do wszystkich znanych dotąd materiałów. Największą wytrzymałością, zbliżoną do Kevlaru, cechuje się jedwab wiodący, a przy tym zachowuje 7 razy większą rozciągliwość w stosunku do tego polimeru. Wiązkość jedwabiu wiodącego, mimo, że tak mała w porównaniu z jedwabiem taśmowym, jest 10 – krotnie większa niż Kevlaru i 100 – krotnie większa niż energia pękania ludzkiego ścięgna. Jedwab pomocniczy jest równie wytrzymały, jednak w znacznie mniejszym stopniu elastyczny. Największą sprężystość wykazuje jedwab łowny, jednakże jest tylko w połowie tak wytrzymały jak jedwab wiodący [3].

Prócz różnic pomiędzy włóknami jedwabiu odmiennych rodzajów, jedwab produkowany przez jednego pająka może się różnić właściwościami zależnie od czynników zewnętrznych. Warunki środowiska, takie jak wilgotność powietrza, kwasowość, czy promieniowanie UV mogą wpływać na właściwości mechaniczne poszczególnych jedwabi. Ponadto, na właściwości jedwabnych nici, wpływa temperatura oraz prędkość przędzenia. Pająki należą do zwierząt ektotermicznych, zatem temperatura otoczenia wpływa na ich zachowanie i przebieg życia, zatem także na sposób przędzenia nici. Zaobserwowano, że pająki tworzą sieci wcześnie rano, kiedy panuje stosunkowo duża wilgotność powietrza i niska temperatura. Określono warunki, w których nić pajęcza zachowuje odpowiednie cechy biochemiczne i mechaniczne, ma to miejsce w zakresie temperatury 0 – 30 oC, wilgotności 20 – 100 RH (względna wilgotność) oraz przy prędkości przędzenia 1 – 1000 mm s-1 [14].



Rys. 1. Rodzaje jedwabiu produkowane przez pająki oraz schematyczne ich zastosowanie. Konkretny typ jedwabiu zaznaczony jest kolorem czerwonym [2].

Budowa jedwabnych włókien

Wszystkie jedwabne nici produkowane przez pająki są polimerami, zbudowanymi z jednego lub kilku białek. Ich masa molekularna wynosi ponad 350 kDa na monomer. Pomimo różnorodnych właściwości poszczególnych spidroin, wszystkie charakteryzują się tym samym podstawowym modelem budowy, na który składa się rdzeń, stanowiący ciąg sekwencji powtarzalnych (ok. 90 % aminokwasów wchodzących w skład białka) oraz niepowtarzalne sekwencję flankujące (terminalne). W skład sekwencji terminalnych wchodzi ok. 100 – 140 aminokwasów, tworzących sfałdowane struktury globularne [2]. Sekwencje te są wysoce konserwowane, zarówno u różnych gatunków, jak i w odmiennych rodzajach jedwabiu. Niepowtarzalne domeny końcowe mają kluczowe znaczenie w czasie magazynowania spidroin w gruczołach przędnych, gdyż zapobiegają one niepożądanej agregacji białek, oraz w trakcie formowania jedwabnych nici w przewodzie gruczołu gdzie odpowiedzialne są za grupowanie białek wzdłuż osi włókien. Ponadto, to one czynią proces przędzenia włókien wrażliwym na zmiany czynników środowiskowych, takich jak pH, skład jonowy, czy działające siły [2,3]. Domena N – końcowa wrażliwa jest na zmiany pH. W środowisku zasadowym (pH powyżej 7), panującym w worku gruczołowym, zapobiega ona agregacji spidroin i pozwala im pozostać w postaci rozpuszczalnej, w przewodzie gruczołowym, natomiast, gdzie pH wynosi ok. 6,3, promuje ona agregację białek i formowanie się włókien. Domena C – końcowa współpracuje z domeną N – końcową poprzez stabilizację rozpuszczalnej postaci białek jedwabiu. W trakcie formowania się nici odpowiedzialna jest ona za pozycjonowanie sekwencji powtarzających się między cząsteczkami białka. Koordynacja tego procesu możliwa jest dzięki, wchodzącemu w jej skład, mostkowi disiarczkowemu oraz wrażliwości tej domeny na procesy wysycania białka solami fosforanowymi. Zmiany pH oraz kompozycji soli wzdłuż przewodu gruczołu przędnego sprawiają, że terminalne domeny spidroin działają, jako mediatory przemian. Przepływ wzdłużny i siły ścinające indukują powstanie struktury β – kartki, ostatecznie warunkując formowanie jedwabnego włókna [3].

Sekwencje powtarzalne wchodzące w skład rdzenia białka są dopasowane do indywidualnych funkcji i właściwości mechanicznych poszczególnych typów jedwabiu. Ogólnie rzecz biorąc, rdzeń spidroin składa się z ponad 100 podjednostek, a każda z nich zbudowana jest z 10 – 50 [8] lub 40 – 200 [2] aminokwasów. Porządek sekwencji oraz liczba motywów powtarzalnych mają duże znaczenie dla

struktury przestrzennej, a w konsekwencji właściwości mechanicznych produktu końcowego [2]. Motywy budujące rdzeń spidroin dzielą się na cztery zasadnicze grupy:

1. (GlyProGlyXX)n, (GlyProGlyGlyX)n – tworzące struktury zwrotu β, odpowiedzialne za sprężystość włókien. Dominują one w białku Flag (ang. flagelliform), które buduje jedwab łowny, charakteryzujący się największą rozciągliwością. Jednakże występują również w białkach MaSp2 (ang. major ampullate spidroin 2) jedwabiu wiodącego u pająka jedwabnego Nephila clavipes oraz białkach ADF-3 i ADF-4 (ang. araneus diadematus fibroin) wchodzących w skład jedwabiu wiodącego pająka krzyżaka ogrodowego (Araneus diadematus). Jedwab wiodący nie jest tak rozciągliwy jak jedwab łowny, co koreluje z ilością nieprzerwanych motywów GlyProGlyXX – w jedwabiu wiodącym powtórzone są przynajmniej 9 razy, w łownym przynajmniej 43.

2. (GlyGlyX)n – mogą tworzyć struktury potrójnej helisy lub antyrównoległej β - kartki i prawdopodobnie stanowią substancję amorficzna, również warunkującą rozciągliwość włókien. Motywy te są charakterystyczne dla białek jedwabiu pomocniczego MiSp (ang. minor ampullate spidroin), lecz występują również w MiSp1, ADF-3 oraz Flag.

3. Łańcuchy alaninowe (Ala)n lub (GlyAla)n – tworzące struktury krystaliczne. Przyjmują one strukturę α – helisy w roztworze białek, natomiast β – kartki w włóknie jedwabnym. Zapewniają one twardość i wytrzymałość jedwabiu. Dominują one w strukturach bardzo wytrzymałych typów jedwabiu, jak wiodący i pomocniczy. W białkach Flag, natomiast, nie występują one prawie w ogóle.

4. Unikalne sekwencje rozdzielające – zbudowane są głównie z aminokwasów polarnych, dzielą sekwencje powtarzające na skupiska. Ich funkcja w budowie jedwabnych włókien nie została dotąd poznana. Są one charakterystyczne dla białek MaSp1, MaSp2 i Flag [2,3,8].

Strategie pozyskiwania jedwabiu pajęczego i perspektywy jego wykorzystania

Nadzwyczajne właściwości nici pajęczych, takie jak ich wytrzymałość, rozciągliwość, czy odporność na pękanie, sprawiły, że jedwab pajęczy stał się obiektem zainteresowania wielu naukowców reprezentujących różne dziedziny nauki. Rozpoczęto szczegółowe badania nad jego biologią i właściwościami fizyko – chemicznymi oraz poszukiwanie rozwiązań pozwalających na pozyskiwanie go na szeroką skalę i wytwarzanie z niego biomateriałów [3].

Naukowcy dopatrują się możliwości wykorzystania włókien jedwabnych produkowanych przez pająki, bądź ich substytutów o podobnych właściwościach w wielu dziedzinach życia i przemysłu. Właściwości jedwabnych włókien produkowanych przez pająki dają nadzieję na stworzenie materiału, który wytrzymałością przewyższałby do tej pory istniejące syntetyczne materiały, jak nylon, czy Kevlar. Wykorzystanie spidroin daje możliwości stworzenia ultralekkiego i nadzwyczaj wytrzymałego biomateriału, który mógłby być wykorzystywany do produkcji tkanin, sprzętu sportowego, kamizelek kuloodpornych, spadochronów, a nawet części do samochodów (m. in. poduszek powietrznych) i samolotów [3,4].

Rozwój technologii pozyskiwania tego materiału może przyczynić się do jego wykorzystania w medycynie, do produkcji bardzo wytrzymałych, nietoksycznych nici chirurgicznych, które z upływem czasu uległyby degradacji, czy rozciągliwych opatrunków i bandaży na rany. Upatruje się w nim również rozwiązań tak nowatorskich, jak tworzenie implantów, sztucznych ścięgien i więzadeł, czy też tworzenie trójwymiarowych rusztowań dla wzrostu komórek biorących udział w odbudowie włókien nerwowych, kości, chrząstek, mięśni oraz skóry. Białka jedwabiu pajęczego posiadają zdolność samoorganizacji i ulegają biodegradacji, co stwarza możliwości wykorzystania ich, jako nośnik substancji aktywnych. Obecnie prowadzo¬ne są prace nad stosowaniem białek jedwabiu

pajęczego do produkcji nano- i mikrokapsułek oraz nano- i mikrosfer. Struktury takie mogłyby zawierać nie tylko leki, ale również substancje kosmetyczne i żywnościowe, ponadto, mogą one dostarczać substancje do docelowych komórek organizmu. Mogą również stanowić nośniki do transfekcji DNA [3,6].

Próby uzyskania jedwabiu na skalę przemysłową bezpośrednio od pająków okazały się trudne w realizacji. W przeciwieństwie do jedwabnika morwowego (Bombyx mori), nie da się prowadzić hodowli pająków na szeroką skalę ze względu na ich zachowania kanibalistyczne. Zbieranie jedwabiu pochodzącego z pajęczyn również nie było dobrym rozwiązaniem, pochłaniało, bowiem, wiele czasu oraz nie pozwalało na pozyskiwanie jedynie tego typu jedwabiu, który był obiektem zainteresowania [2]. Brak wystarczającej dostępności tego materiału zaowocował próbami odtworzenia naturalnych włókien pajęczych w laboratoriach. Obecnie badania skupiają się na poznaniu szczegółów budowy oraz zrozumieniu procesu tworzenia jedwabnych nici w celu wytworzenia jej syntetycznego odpowiednika. Ponadto, udoskonalane są strategie produkcji i oczyszczania rekombinowanego jedwabiu pajęczego. Postęp wiedzy na temat struktury i biofizyki jedwabnych włókien pozwolił na rozwój dwóch strategii wytwarzania re¬kombinowanego jedwabiu. Pierwsza wyko¬rzystuje znane fragmenty cDNA kodujące naturalne biał¬ka jedwabiu, druga stosuje techniki inżynierii genetycznej, w celu tworzenia syntetycznych genów kodujących inżyniero¬wany pajęczy jedwab [3]. Biotechnologiczne techniki wytwarzania jedwabi pajęczych wymagają zastosowania systemów ekspresyjnych, inaczej po prostu gospodarza, w którego organizmie geny spidroin mogłyby ulegać ekspresji. Większość białek jedwabi pajęczych produkowanych jest przez bakterie Escherichia coli, która jest bardzo dobrze poznanym gospodarzem dla produkcji wielu białek na skalę przemysłową. System ten pozwala na szybkie pozyskiwanie produktu, po 3 – 4 dniach od rozpoczęcia procesów uzyskuje się kompletne oczyszczone białko. Jednakże istotna wadą są ograniczenia wynikające z właściwości E. coli, które sprawiają, że produkowane przez nią białka (30 – 110 kDa) są znacznie mniejsze niż naturalne spidroiny (300 – 350 kDa) [2]. Dlatego też szeroko testuje się inne systemy ekspresyjne, oparte na drożdżach (np. Pichia pastoris), komórkach owadzich i ssaczych, jak również z wykorzystaniem transgenicznych roślin, np. tytoniu (Nicotiana tabaccum), ziemniaka (Solanum tuberosum) i rzodkiewnika (Arabiopsis thaliana) oraz zwierząt, takich jak mysz (Mus musculum) oraz jedwabnik [3,4,10].

Celem obecnie prowadzonych prac badawczych są białka hybrydowe, dzięki którym inżynierowany jedwab pajęczy stanie się inteligentnym biomateriałem przyszło¬ści. Ostatnie osiągnięcia w dziedzinie optymalizacji me¬tod produkcji i oczyszczania spidroin przełamują barierę dostępności materiału, pozwalając na rozwinięcie techno¬logii pozyskiwania jego różnych postaci morfologicznych (jak hydrożele, włókna, filmy), a co za tym idzie stwarzają ogromne możliwości faktycznego wykorzystania jedwabiu w przemyśli i medycynie [3,6].

Autor: Magdalena Maniecka

Literatura:

1. Dziamałek R. Po co pająkom jedwabne nici? www.terrarium.com.pl
2. Eisoldt L, Shmith A and Scheibel T. 2011. Decoding the secrets of spider silk. Materials Today 14:80-86
3. Florczak A, Piekoś K, Kaźmierska K, Mackiewicz A and Dams – Kozłowska H. 2011. Inżynierowany jedwab pajęczy: inteligentny biomateriał przyszłości. Część I. Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej 65:377-388
4. http://www.redorbit.com/news/science/1112448700/super-silk-from-genetically-modified-silk-worms/
5. Kaplan DL, Adams WW, Viney C and Farmer BL. 1994. Silk: biology, structure, properties and

genetics. Silk polymers - material science and biotechnology. ACS Symposium Series 544:2-16
6. Kaźmierska K, Florczak A, Piekoś K, Mackiewicz A and Dams – Kozłowska H. 2011. Inżynierowany jedwab pajęczy: inteligentny biomateriał przyszłości. Część II. Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej 65:389-396
7. Nowosad M. 2009/2010. Konieczne rozwiązania życia w ujęciu Simona Conwaya Morrisa. Filozoficzne Aspekty Genezy 6/7:7-63
8. Römer L and Scheibel T. 2008. The elaborate structure of spider silk. Structure and function of a natural high performance fiber. Prion 4:154-161
9. Saravanan D. 2006. Spider silk – structure, properties and spinning. Journal of Textile and Apparel. Technology and Management 5:1-20
10. Scheller J, Gührs K-H, Grosse F and Conrad U. 2001. Production of spider silk proteins in tabacco and potato. Nature Biotechnology 19:573-577
11. Szczepaniak – Lalewicz K. 2011. Inteligentne nanostruktury – dużo gadania, mało efektów? Mity i fakty. Prace Instytutu Odlewnictwa 51:65-84
12. Vollrath F. 2000. Strenght and structure of spiders' silks. Molecular Biotechnology 74:67-83
13. Vollrath F and Knight DP. 2001. Liquid crystalline spinning of spider silk. Nature 410:541-548
14. Yang Y, Chen X, Schao Z, Zhou P, Porter D, Knight DP and Vollrath F. 2005. Toughness of spider silk at high and low temperatures. Advanced Materials 17:84-88

https://laboratoria.net/artykul/12636.html

Informacje dnia: Olbrzymie ilości danych o Wszechświecie z wód Morza Śródziemnego Nowe organizmy są odkrywane szybciej niż kiedykolwiek wcześniej Skutki ekspozycji na mikroplastik przechodzą z ojca na syna Statyny pomagają wszystkim cukrzykom Zanieczyszczenie powietrza może mieć związek z wyższym ryzykiem depresji O szpiczaku w badaniach obrazowanych często świadczą „dziury w kościach" Olbrzymie ilości danych o Wszechświecie z wód Morza Śródziemnego Nowe organizmy są odkrywane szybciej niż kiedykolwiek wcześniej Skutki ekspozycji na mikroplastik przechodzą z ojca na syna Statyny pomagają wszystkim cukrzykom Zanieczyszczenie powietrza może mieć związek z wyższym ryzykiem depresji O szpiczaku w badaniach obrazowanych często świadczą „dziury w kościach" Olbrzymie ilości danych o Wszechświecie z wód Morza Śródziemnego Nowe organizmy są odkrywane szybciej niż kiedykolwiek wcześniej Skutki ekspozycji na mikroplastik przechodzą z ojca na syna Statyny pomagają wszystkim cukrzykom Zanieczyszczenie powietrza może mieć związek z wyższym ryzykiem depresji O szpiczaku w badaniach obrazowanych często świadczą „dziury w kościach"

Partnerzy