

**ZNAJOMOŚĆ BIOLOGII BŁONKÓWEK
ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM IMMUNOCHEMII ICH JADÓW
MA ISTOTNE ZNACZENIE
WE WSPÓŁCZESNEJ MEDYCYNIE ŚRODOWISKOWEJ***
Część III. Rodzina: *Formicidae* – mrówkowate

**THE KNOW HOW OF *HYMENOPTERA* BIOLOGY PARTICULARLY COVERING
IMMUNOCHEMISTRY OF THEIR VENOM IS OF VITAL IMPORTANCE IN CONTEMPORARY
ENVIRONMENTAL MEDICINE. Part III. Family *Formicidae***

Piotr Z. Brewczyński^{1,2,3,4}, *Edmund Anczyk*⁵, *Joanna Kasznia-Kocot*^{1,4},
Anna Hom^{2,3}, *Maja Muszyńska-Graca*¹, *Beata Dąbkowska*¹, *Magda Skiba*¹,
*Adam Brewczyński*⁶, *Renata Złotkowska*¹

Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu (IMPiZŚ):

¹ *Zakład Zdrowia Środowiskowego i Epidemiologii (ZZŚiE)*

² *Oddział Chorób Zawodowych, Wewnętrznych i Alergologii (OChZWiA)*

³ *Pracownia Diagnostyki Alergologicznej (PDA)*

⁴ *Poradnie Alergologiczne dla Dorosłych i Dzieci*

⁵ *Zakład Polityki Zdrowotnej (ZPZ)*

Dyrektor Instytutu: Dr n. med. Piotr Z. Brewczyński

Kierownik ZZŚiE: Dr hab. n.med. Renata Złotkowska

Ordynator OChZWiA: Lek. med. Anna Hom

Kierownik ZPZ: Dr n.med. Edmund Anczyk

⁶ *Śląski Uniwersytet Medyczny – student Wydziału Lekarskiego*

* Artykuł stanowi ostatnią część pracy kontynuującą poprzednie dwie publikacje w *Medycynie Środowiskowej – Environmental Medicine* 2008 (11) 2, 97-115 (37) oraz 2009 (12) 1, 93-102 (38)

Streszczenie

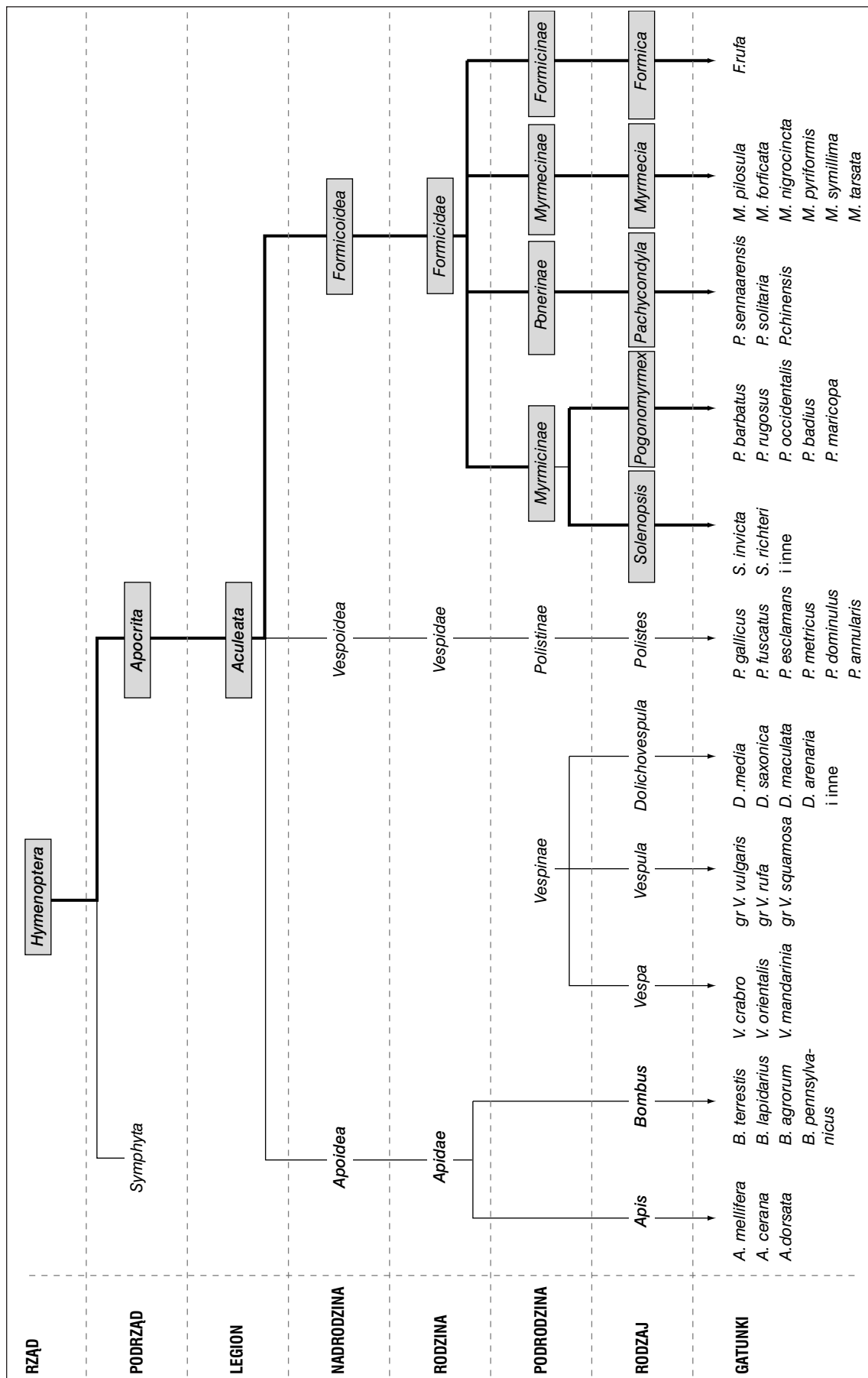
Załączona publikacja kończy trzyczęściowe opracowanie podsumowujące współczesną wiedzę na temat istotnych medycznie owadów błonkoskrzydłych. Poświęcono ją rodzinie mrówkowatych. Podobnie jak w opublikowanych wcześniej dwóch częściach i tutaj przedstawiono przydatne w badaniach medycznych i środowiskowych aspekty biologii wybranych podrodziny tych owadów. Szczegółowo wyjaśniono rolę i znaczenie składników ich jadów. W ich kontekście omówiono celowość potencjalnych działań diagnostycznych i leczniczych. Zwrócono uwagę na zachowania mrówek. Przedstawiając podrodziny *Formicidae*, zarysowano nie tylko wywoływane przez nie reakcje alergiczne u ludzi ale również inne niebezpieczne zaburzenia zdrowotne i istotne ekonomicznie zakłócenia w środowisku.

Abstract

The enclosed publication completes the set of three parts of manuscript summarising the present know how of medically important *Hymenoptera* insects. It is devoted to *Formicidae* family. Similarly to published two parts before the present one introduces medically effective biological aspects and environmental studies of selected subfamilies of these insects. The role and importance of their venom components has been discussed in detail including the purpose for potential modern diagnostic and therapeutic aspects. Attention was paid to their behaviour. In presentation of *Formicidae* subfamilies one proved not only human allergic reactions caused by them (*Formicidae*) but also other dangerous health disorders and economically important environmental disturbances.

Nadesłano: 10.11.2009

Zatwierdzono do druku: 2.03.2010



Rycina 1. Taksonomia owadów błonoskrzydłych z wyszczególnieniem gatunków uznanych dotąd za wywołujące odczyn alergiczny u ludzi [1, 2, 12]
 Figure 1. Taxonomy of Hymenoptera listing of species recognized for causing allergic reaction in people [1, 2, 12]

Mrówki – podobnie jak opisane wcześniej pszczoły, osy i trzmiele – należą do rzędu błonkoskrzydłych i są owadami społecznymi [1, 2]. Stanowią one istotne zagrożenie dla zdrowotności ludności w rejonach endemicznego występowania pojedynczych gatunków [3–9, 11, 16, 43], a wywoływanie przez nie odczynów alergicznych u ludzi jest w skali całego świata rzadsze ale i też słabiej poznane w porównaniu z alergią na jady os i pszczół [11–13].

Najważniejszymi cechami budowy, wykorzystywanymi w taksonomii mrówek jest stylik łączący odwłok z tułowiem składający się z jednego lub dwóch członów oraz silne żuwaczki mające najczęściej na wewnętrznej powierzchni zęby służące do ćwiartowania łupu, przenoszenia poczwerek, gromadzenia budulca itp. [12].

Jedynie prymitywniejsze podrodziny mrówek zachowały żądło – najdalej wysuniętą część aparatu jadowego. Mrówki bezżądłe nadal posiadają zazwyczaj aparat jadowy, kąsają przeciwników szczękami, po czym spryskują zadane rany żrącą wydzieliną zawierającą kwas mrówkowy. Potrafią też tryskać wspomnianym kwasem bezpośrednio na wroga. Mrówki są w większości owadami bezskrzydłymi. Robotnice są zawsze pozbawione skrzydeł. Osobniki męskie są uskrzydłone. Królowe początkowo mają skrzydła, a po odłamaniu pozostają im w życiu osobniczym ślady ich zawiązków na segmentach tułowia.

W stosunku do pozostałych błonkówek, mrówki są owadami małymi. Można je znaleźć w bardzo wielu środowiskach. Z wyjątkiem rejonów polarnych żyją na wszystkich kontynentach. Zależnie od gatunku są drapieżnikami, społecznymi pasożytami innych mrówek, polifagami lub monofagami o ścisłej specja-

lizacji pokarmowej. Karmią się materią pochodzenia zwierzęcego i roślinnego zawierającą białka, tłuszcze i cukry. Między innymi chętnie zjadają mięso, inne owady, spadź produkowaną przez mszyce, czerwce, czy koniki polne. O wyrafinowanym sposobie zdobywania pożywienia świadczy fakt, iż niektóre spośród mrówek potrafią interesownie czuć nad bezpieczeństwem producentów wspomnianej spadzi. Mrówki zjadają także nasiona roślin i grzyby.

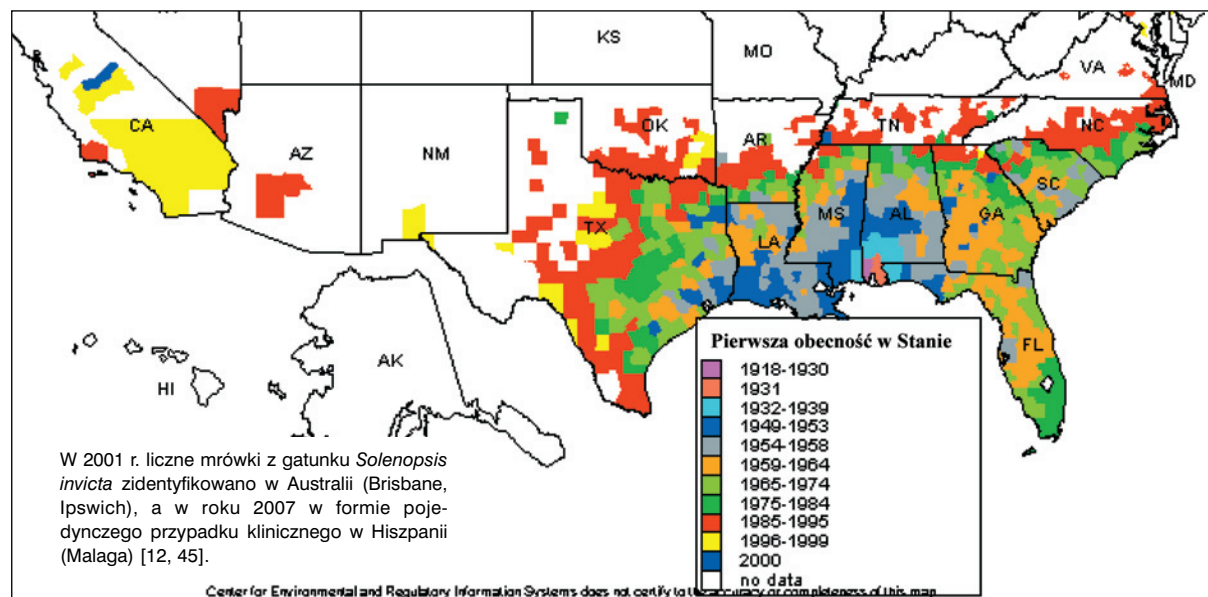
Wszystkie należą do jednej rodziny *Formicidae* składającej się z jedenastu podrodziny. Pomimo występowania na świecie ponad 14.000 gatunków mrówek tylko niektóre (ryc. 1) mają znaczenie jako wywołujące reakcje alergiczne u ludzi. W następstwie ukąszeń lub użądleń mrówek, mieszkańcy pozostałych kontynentów znacznie częściej niż mieszkańcy Polski, mogą być narażeni na wystąpienie zarówno lokalnych jak i układowych objawów alergicznych o charakterze IgE-zależnym. Są one podobne do powstających po użądleniach pszczół i os (tab. 3, cz. I, str. 104).

Podrodzina *Myrmicinae*

Przedstawiciele rodzaju *Solenopsis*

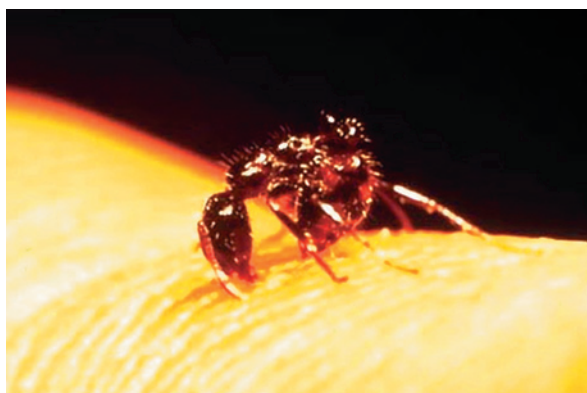
Termin „importowane mrówki ogniste” dotyczy dwóch istotnych z punktu widzenia alergologicznego gatunków *Solenopsis invicta* i *Solenopsis richteri* oraz ich hybrydy – często ujmowanej w piśmiennictwie jako *Solenopsis invicta x richteri*.

Potoczna nazwa tych mrówek wiąże się z historią ich przypadkowego zawleczenia do USA z Ameryki Południowej oraz bolesnych piekących ukąszeń z następującymi po nich, często wielokrotnymi użądleniami, jakie wywołują one atakując swe ofiary



Rycina 2. Stopniowe rozprzestrzenianie się mrówek z rodzaju *Solenopsis* na kontynencie amerykańskim
Figure 2. Expansion of imported fire ants on North American Continent commencing 1918

(ryc. 3, 4, 5). Mrówki *S. richteri* rozprzestrzeniły się ostatecznie na niewielkim terytorium położonym wzdłuż północnej granicy stanów Missisipi oraz Alabama. *S. invicta* zaadoptowała się lepiej i w ciągu minionych 60 lat rozprzestrzeniła się znacznie na terenach południowo-wschodnich stanów, zajmując powierzchnię ponad 124 mln ha [ryc. 2]. Oblicza się że *S. invicta* rozprzestrzenia się po kontynencie północnoamerykańskim w tempie 5–12 mil na rok, a jedyną z istotnych naturalnych przyczyn ograniczających jej podbój są warunki klimatyczne. Okazało się również, że hybryda *S. invicta x richteri* jest lepiej zaadoptowana do chłodniejszego klimatu od każdego z przedstawicieli obu wspomnianych gatunków z osobna. Stąd owady te kontynuują migrację na północ [3, 4].



Rycina 3. Mrówka robotnica z gatunku *Solenopsis invicta* w trakcie ataku kąsania i żądlenia (fot. Tx Dept. Agric. file photo)

Figure 3. Fire ant *Solenopsis invicta* during attack is biting and stinging

Atak jest z reguły procesem dwuetapowym. Najpierw mrówka przyczepia się do skóry za pomocą szczęk co wywołuje krótkotrwały ból. Następnie łukowato wygina ciało i po umocowaniu wprowadza do powierzchniowej warstwy naskórki lancetowate żądło długości zaledwie 0,5 mm. Jeśli nie zostanie szybko usunięta jest w stanie w ciągu kilku sekund użądlić wielokrotnie. Używając głowy jako osi obrotu, mrówki te są zdolne do wycofywania żądła i poprzez obrót własnego ciała do ponownego wbijania go w różnych miejscach. Najczęściej zakreślają w ten sposób charakterystyczny i starannie wykonany kolisty wzór. W przypadkach konieczności ratowania się ucieczką, przemieszczając się szybko po skórze atakowanego, mrówki z rodzaju *Solenopsis* mogą żądlić bez fazy wstępnego kąsania. W miejsce okrężnego, pozostawiają wówczas linijny wzór poużądleniowych zmian skórnych.

Mrówki z rodzaju *Solenopsis* są małymi błonkówkami o długości 2 do 5 mm i zabarwieniu od czerwonawo-brązowego po czarne. Cechą charakterystyczną pozwalających na ich identyfikację jest budowa stylika, złożonego z dwóch członów. W porównaniu z ojczystymi mrówkami północno-amerykańskimi są to owady wyjątkowo ruchliwe, agresywne i zdolne do aktywnego żądlenia (nie tylko w przypadku ich niepokojenia).



Rycina 4. Mnogie pęcherzyki i krosty utworzone w następstwie wielokrotnych użądleń mrówek ogniistych *Solenopsis invicta* w okolicy ramienia i przedramienia. W lewym dolnym rogu widoczne zbliżenie zmian (fot. Tx Dept. Agric. file photo)

Figure 4. Blisters and pimples resulted from manifold stings of fire ants around the arm and forearm. In the bottom left-hand corner approximation of changes.



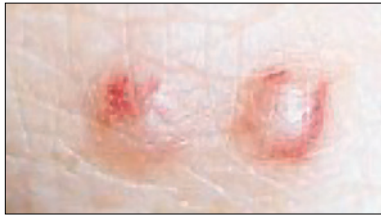
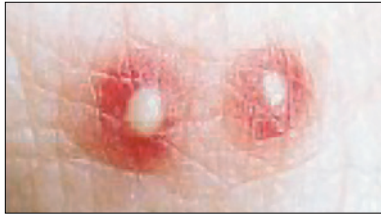




Rycina 5. Rozległe owrzodzenie na dłoni jako następstwo wtórnej infekcji wywołanej użądleniem mrówki ogniistej z rodzaju *Solenopsis* (fot. Tx Dept. Agric. file photo)

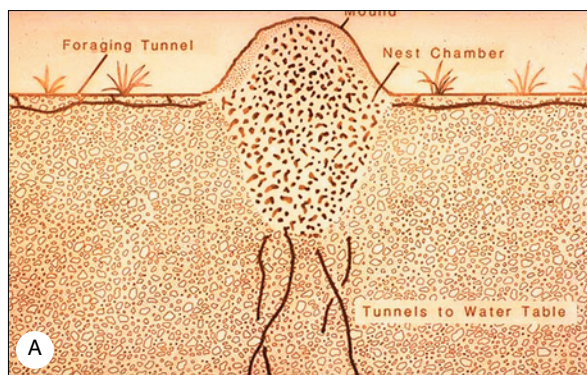
Figure 5. Large and deep hand ulceration as the consequence of secondary infection caused by fire ant sting

Tabela I. Kliniczny i histopatologiczny obraz odczynu poużądleniowego wywołanego przez mrówki z rodzaju *Solenopsis*. Przedstawiono zmiany typowe dla osób zdrowych nie cierpiących na alergię (wg Goddarda J, Jarratta J i de Castro F.R. JAMA 2000; 284, 17: 2162-2163) [14]

Table I. Clinical symptoms and histopathologic findings after fire ant (*Solenopsis invicta*) sting. Presented data are representative for healthy not allergic people

Czas od momentu użądlenia		Ocena kliniczna	Ocena histopatologiczna
30 minut		Centralnie ułożona obrzękowa grudka otoczona różową obwódką	Obrzęk skóry powierzchniowej z wczesnym obrzękiem międzykomórkowym
60 minut		Silniejsze zaczerwienienie obwódki	Rozszerzenie naczyń powierzchniowych skóry
24 godziny		Przekształcenie się centralnej grudki w krostę o średnicy 4 mm (bez uwzględnienia obwódki)	Naciek skóry powierzchniowej neutrofilami wraz z objawami wczesnej martwicy tkanki łącznej
72 godziny		Wybitne uwidocznienie centralnej krosty	Intensywnie rozprzestrzeniający się naciek neutrofilii wraz z rozwiniętą martwicą tkanki łącznej
1 tydzień		Powierzchniowe owrzodzenie (powstałe z przekształcającej się krosty) wciąż otoczone rumieniową obwódką	Powierzchniowa martwica skórna
1 miesiąc		Powierzchniowe blizny	Przejaśniałe w centrum plamy zanikowe skóry

Mrówki z rodzaju *Solenopsis* wywołują u wszystkich żądlnych określone uszkodzenie tkanki. W powyższej tabeli przeanalizowano jego powstawanie i ustępowanie po przeprowadzeniu wielokrotnej oceny klinicznej oraz histopatologicznej. Obserwację udokumentowano przy pomocy serii zdjęć. Badany ochotnik został użądlny dwukrotnie przez tego samego owada. Przez cały miesiąc nie zastosowano u niego ani leków, ani opatrunku. Będąc sam z zawodu lekarzem, rozmyślnie unikał jakiegokolwiek dotykania, drapania czy wycierania uszkodzenia. Zadbano o to, by zdjęcia wykonywane były na tym samym sprzęcie, w tych samych warunkach oświetlenia i z zachowaniem takich samych procedur fotograficznych.



Rycina 6. Gniazda mrówek ognistych z rodzaju *Solenopsis*.

- A. Przekrojowy schemat budowy (Tx Agric Ext. Serv. file photo);
- B. Przykład licznych kopców występujących na pastwisku (fot. B. Drees);
- C. Naziemna część gniazda usytuowana w pobliżu krawężnika szosy i pod płytami chodnika (fot. S.C. Vinson)

Figure 6. Fire ant nests *Solenopsis* spp.

- A. Cross-section of a nest (building schema)
- B. Illustration of numerous nests on pasture
- C. Overground nest part situated in the vicinity of a road curb and under pavement tiles.

Tunele służące szeroko pojętym kontaktom z otoczeniem są budowane na głębokości 2–8 cm pod powierzchnią gleby. Specjalna – podobna na przekroju do plastra miodu – konstrukcja kopca przyczynia się do faktu, że gleba w której jest zbudowany ogrzewa się i wysusza szybciej niż jej otoczenie. Kopce mogą osiągać do 1 metra średnicy i pół metra wysokości.

Żyją w koloniach o liczebności 100.000 do 500.000 robotnic i nie więcej niż kilkuset osobników uskrzydłych wraz z królowymi. Królowe mogą żyć 7 i więcej lat, okres życia robotnic nie przekracza zwykle 5 tygodni, chociaż może trwać znacznie dłużej.

Mrówki te budują kopce z długimi, promieniście od nich odchodzącymi, podziemnymi tunelami. Kopce mogą być znacząco większe na terenach o cieplejszym klimacie.

Istnieją dwa rodzaje zachowania mrówek *S. invicta*: jedne związane z pojedynczą i jedyną królową – prezentujące reakcje terytorialne; inne pochodzące z kolonii tworzonych przez większą ilość królowych, potrafiące swobodnie wędrować z kopca do kopca – co jest jedną z przyczyn wybitnego zwiększania się mrówczej populacji tego gatunku w USA. I tak obliczono [11], że na terenach objętych koloniami z jedynymi królowymi występuje na powierzchni 1 akra (równiej ok. 0,40 ha) od 40 do 150 kopców (tj. rzadko więcej niż 7 milionów mrówek w całej populacji). Z kolei na terenach z koloniami zawierającymi większą liczbę królowych, na tej samej powierzchni może występować ponad 200 kopców. Wiąże się to z obecnością ponad 40 milionów mrówek. Tunele pomiędzy kopcami mogą mieć długość ponad 40 metrów (rys. 6).

W rejonach rolniczych *S. invicta* i *S. richteri* zamieszkują pastwiska oraz łąki z koniczyną i trawą. Odżywiają się także nasionami bawełny, zbóż, prosa afrykańskiego (sorgo). Na terenach zurbanizowanych można je znaleźć na trawnikach i w parkach. Coraz częściej docierają do domostw ludzkich atakując obłożnie chore osoby w wieku starszym [4, 15]. Często niszczą wyposażenie farm, instalacje elektryczne, systemy nawadniające wreszcie grunty rolne. Mogą dziesiątkować płazy, gady i ptactwo (ryc. 7).

Jak wynika z badań entomologicznych mrówki z rodzaju *Solenopsis* zazwyczaj nie przemieszczają się w lotach godowych na duże odległości. Uprawione jest więc twierdzenie, że do ich rozprzestrzenienia się w Stanach Zjednoczonych musiało dojść za pomocą mechanizmów biernych wynikających zarówno z działalności człowieka (przenoszenie płodnych królowych w glebie i na roślinach) jak i zachowania się kolonii w czasie powodzi.

Jady i ich alergeny

Jady mrówek z rodzaju *Solenopsis* istotnych zarówno z punktu widzenia alergologicznego jak i szeroko pojętego zdrowia środowiskowego różnią się zasadniczo od bogatych w białka jadów osich i jadu pszczoł [14].

O ich wyjątkowości stanowi niska, bo zaledwie ok. 0,1%, zawartość białek alergicznych przy jed-



Rycina 7. Społeczno-gospodarcze zagrożenia wynikające z rozprzestrzeniania się mrówek z rodzaju *Solenopsis* [12].

Figure 7. Social-economic threats due to *Solenopsis spp.* ants spreading [12].

nocześnie wysokim stężeniu toksyn piperydynowych. Te ostatnie składają się w 90–95% z nierozpuszczalnych w wodzie alkaloidów n-alkyl i n-alkenyl piperydynowych i są odpowiedzialne za tworzenie jałowych krost. Alkaloidy hamują pracę pompy sodowo-potasowej błon komórek mięśniowych i blokują funkcjonowanie płytek motorycznych [15]. Ponadto stwierdzono, że wywołują one zaburzenia cytotoksyczne, hemolityczne i neurologiczne [15, 43].

Z jadu *S. invicta* wyizolowano i dokonano charakteryzacji czterech, a z jadu *S. richteri* trzech alergenów odpowiedzialnych za wyzwalanie mediowanych przez swoiste przeciwciała klasy E rozległych, lokalnych oraz układowych reakcji alergicznych [18, 19, 21].

Zgodnie z kryteriami przyjętymi przez IUIS/WHO (Międzynarodową Unię Nauk Immunologicznych Światowej Organizacji Zdrowia), do wspomnianych alergenów należą:

***Sol i 1*, *Sol i 2*, *Sol i 3*, *Sol i 4* oraz *Sol r 1*, *Sol r 2*, *Sol r 3*.**

Sol i 2 ma masę cząsteczkową ok. 26 kD a punkt izoelektryczny (pI) = 9,63 i stanowi 67% wszystkich białek jadu. W formie natywnej jest dimerem składającym się z dwóch homologicznych podjednostek, połączonych wiązaniami dwusiarczkowymi. Każdy monomer składa się ze 119 aminokwasów, wśród których stwierdzono obecność 7 cząsteczek cysteiny. W pozycji 70 tego białka występuje wiązanie peptydowe między asparginą i proliną, wrażliwe na hydrolityczne działanie kwasów. W monomerach *Sol i 2* występują pojedynczo cząsteczki aminokwasów aromatycznych: tryptofanu i tyrozyny, co powoduje względnie niską absorbancję fal UV w analizie spektrofotometrycznej. W 1993 roku poznano sekwencję genu kodującego białko *Sol i 2* [21]. Zsyntetyzowano, a następnie sklonowano komplementarny DNA (cDNA) z użyciem baculowirusa. Poznaną sekwencję nukleotydów w genie kodującym *Sol i 2* potwierdziły wyniki badań budowy tego alergenów uzyskane metodami klasycznymi [19].

Monomer ***Sol i 3*** ma masę cząsteczkową ok. 24 kD a pI) = 8,24 i stanowi 20% wszystkich białek jadu mrówek tego gatunku. Analiza struktury

pierwszorzędowej ***Sol i 3*** ujawniła obecność 212 aminokwasów z ośmioma cząsteczkami cysteiny [19]. Jednocześnie wykazano istotne – bo 44–50% – podobieństwo tego alergenu do poznanych wcześniej białek antygeny 5 pochodzących od os *Vespula spp.*, *Dolichovespula spp.* i *Vespa crabo*. Największe podobieństwo odnotowane zostało w budowie ***Sol i 3*** oraz ***Ves v 5***. Wyniosło ono 44% całkowitej zgodności i 37% fragmentów o małej zmienności, w których wykryto obecność regionów różniących się zaledwie pojedynczymi nukleotydami [23, 25].

Sklonowano komplementarne DNA (cDNA) dla ***Sol i 3***, a jego zrewidowana metodą sekwencjonowania białka sekwencja aminokwasów jest porównywalna do sekwencji w antygenie 5 pochodzącym z *Vespula vulgaris* [25]. Pomimo istotnej homologii w zakresie sekwencji aminokwasowej Hoffman i wsp. nie byli w stanie wykazać zgodnej immunologicznej reaktywności krzyżowej między ***Sol i 3*** i osim antygenem 5 [15, 19, 22, 23].

Monomer ***Sol i 4*** ma masę cząsteczkową ok. 13 kD i stanowi około 9% wszystkich białek jadu. Składa się ze 117 aminokwasów z sześcioma resztami cysteinowymi [19]. Chociaż ***Sol i 4*** ma częściową, sięgającą ok. 35%, homologię w zakresie składu i struktury z podjednostkami ***Sol i 2***, cząsteczki tych alergenów różnią się od siebie antygenowo i immunologicznie, tj. nie wykazują reakcji krzyżowej. Tryptofan nie występuje w składzie ***Sol i 4***, którego cząsteczka ma dwie odmienne formy różniące się zaledwie dwoma aminokwasami.

Sol i 1 ma największą masę cząsteczkową spośród wszystkich czterech alergenów głównych *Solenopsis invicta*, wynoszącą ok. 37 kD. Natywna cząsteczka ***Sol i 1*** nie jest trwała [15]. Przy pomocy chromatografii jonowymiennej wykazano istnienie trzech izoform ***Sol i 1***. Chociaż alergen ten stanowi jedynie 2–5% białek całego jadu, jest szczególnie interesującą cząsteczką. Ma aktywność fosfolipaz A i B spotykanych w jadach osich [3, 24]. Hoffman podał sekwencję ***Sol i 1*** od N-końca oraz sekwencje pewnej ilości uzyskanych drogą proteolizy fragmentów peptydowych. Następnie porównując je z sekwencją

fosfolipazy pochodzącej z jadu *Vespula maculifrons* autor ten odnotował obszary całkowitej lub prawie całkowitej między nimi zgodności w obrębie reszt aminokwasowych w pozycjach: 40–52; 75–88 oraz 130–143 [3, 19, 23, 25].

Nie jest wykluczone, że stąd może pochodzić obserwowana wcześniej reaktywność krzyżowa między *Sol i 1* a głównymi alergenami osimi będącymi fosfolipazami [19, 24].

Z tego powodu niektóre spośród osób, które są nadwrażliwe na jad pszczoły lub osi reagują na pierwsze użądlenie „importowanej mrówki ognistej” [3, 12, 15, 22].

Obecnie, podejmuje się próby pełnego sklonowania komplementarnego DNA (cDNA) dla *Sol i 1* [15].

Zarówno *Sol i 2* jak i *Sol i 4* są niepowtarzalne – niepodobne do żadnych z poznanych dotąd białek.

Odkrycie, że zarówno *Sol i 1* jak i *Sol i 3* są homologiczne w stosunku do białek znalezionych w jadach osich, potwierdza stanowisko nowoczesnej taksonomii, która umieszcza mrówkowate (*Formicidae*) w tej samej nadrodzinie żądłówek (*Vespoidea*) co osy z rodziny *Vespidae* (ryc 1). Mysie przeciwciała monoklinalne rozpoznają gatunkowo swoiste determinanty na alergenach *Sol i 2* oraz *Sol i 3*. Jak dotąd nie potwierdzono, aby jakiegokolwiek inne frakcje jadu mrówek *Solenopsis invicta*, poza opisanymi powyżej, miały istotną zdolność wiązania ludzkiego IgE. Wykazano również, że wszystkie omówione wyżej alergeny główne nie reagują między sobą krzyżowo. Donosi się o występowaniu reaktywności krzyżowej między jadem mrówki *S. invicta* i jadami innych gatunków rodzaju *Solenopsis*, najsilniejszej pomiędzy *S. invicta* a *S. richteri* oraz pomiędzy *S. invicta* a *S. xyloni* i *S. aurea*. Obserwowana była również reaktywność krzyżowa pomiędzy *S. invicta* i przedstawicielami rzędu błonkoskrzydłych (osy, pszczoły).

Badając białka jadu *Solenopsis richteri* okazało się, że wyizolowano spośród nich trzy homologiczne do białek *S. invicta* alergeny główne (*Sol. r 1*, *Sol. r 2*, *Sol. r 3*).

Jednocześnie w jadzie *S. richteri* nie stwierdzono białka odpowiadającego *Sol i 4*. Jad hybrydy *S. invicta richteri* zawiera alergeny obu gatunków [23].

W laboratorium Hoffmana przeprowadzono całkowite sekwencjonowanie *Sol r 2* i *Sol r 3* oraz uzyskano N-końcową sekwencję *Sol r 1* i stwierdzono, że jest ona identyczna z *Sol i 1*. *Sol r 2* jest tożsamy z *Sol i 2* w 78%, zaś *Sol r 3* jest znacznie bliżej spokrewniony z *Sol i 3*.

Z dalszych badań Hoffmana [3] wynika, że alergeny jadu „importowanej mrówki ognistej” należą do grupy najmocniejszych spośród dotąd poznanych. Świadczy o tym bardzo niewielka porcja biał-

ka zawarta w równie niewielkiej, bo wynoszącej zaledwie 0,04 do 0,11 μ l objętości jadu uwalnianego przy pojedynczym użądleniu. Porcja białka, której ilość waha się każdorazowo w przedziale od 10 do 100 ng jest u silnie uczulonych chorych, wystarczająca do wyzwolenia alergicznych reakcji układowych, a nawet objawów anafilaksji.

Alergiczne reakcje układowe mogą być prowokowane zaledwie pojedynczym użądleniem. Dla porównania jednostkowe użądlenie pszczoły wiąże się ze wstrzyknięciem około 50 μ g, zaś w przypadku osy od 1,7 do 17 μ g białka.

U około 25% pierwotnie nie uczulonych, użądlnionych przez mrówkę *S. invicta*, obserwowana odpowiedź immunologiczna zależy od przeciwciał typu IgE.

Pomimo, że większość pacjentów reaguje jednocześnie na wszystkie cztery omawiane alergeny główne *Solenopsis invicta*, zdarza się, że niektórzy ludzie reagują jedynie na pojedyncze spośród nich. Podobne zjawisko spostrzec można w odniesieniu do innych owadów błonkoskrzydłych [1, 2]. Obecnie stosowana jest metoda immunoelektroforezy (westerblotting). Pozwala ona na precyzyjne określenie, na który z alergenów jadu uczulony jest pacjent [1, 23]. Wynik tego badania jest wykorzystywany w celowanej immunoterapii mieszaninami peptydów stanowiących epitopy rozpoznawane przez limfocyty T.

Przedstawiciele rodzaju *Pogonomyrmex*



Rycina 8. Robotnice mrówek z rodzaju *Pogonomyrmex* (fot. B. Drees)

Figure 8. Ant workers from *Pogonomyrmex* species

Rodzaj ten liczy co najmniej 22 gatunki [Cole 1968]. „Mrówki żniwne” (*harvester ants*) zawdzięczają swoją nazwę zwyczajowi zbierania i odżywiania się ziarnem. Mają szerokie żuwaczki, które umożliwiają robotnicom przenoszenie ziaren i przyczyniają się do niszczenia przez te mrówki rozległych połaci roślinności. Budują zwykle gniazda w piasku lub w glebie; często w rejonach, gdzie



Rycina 9. Gniazdo mrówek z rodzaju *Pogonomyrmex* (fot. B. Drees)

Figure 9. *Pogonomyrmex* ants' nest

mogą być w pełni eksponowane na słońce (ryc. 9). Gniazdo „mrówek żniwnych” może mieć ponad 5 m głębokości i może być zamieszkane przez 20.000 osobników. Występowanie rodzaju *Pogonomyrmex* w Ameryce Północnej dotyczy znacznej części zachodnich i południowych rejonów Stanów Zjednoczonych rozpościerających się od Kanady po Meksyk.

Jady i wywodzące się z nich alergeny

Jady przedstawicieli rodzaju *Pogonomyrmex* są mieszaninami typu wodnego. Cechują się pewnymi podobieństwami do jadu pszczoł i os [1, 2, 27, 28].

Zawierają histaminę i inne aminy biogenne. Główne ich składniki (stanowiące około 70% suchej masy) są biologicznie czynnymi białkami i peptydami. W jadzie *Pogonomyrmex badius* wykryto wiele aktywnych enzymów. Należą do nich fosfolipazy A₂ i B, hialuronidaza, esterazy, kwaśna fosfataza i lipaza. Doniesiono również o występowaniu w składzie jadów mrówek z tego rodzaju peptydów o aktywności kininopodobnej, zbudowanych z 10–20 reszt aminokwasowych [27, 28].

Niewiele wiadomo na temat alergenów „mrówek żniwnych”. Istnieją wstępne przesłanki by uważać, że nadwrażliwość na „mrówki żniwne” z rodzaju *Pogonomyrmex* ma charakter rodzajowo swoisty. Hipotezę tę potwierdza fakt, iż jednocześnie wykazano znaczącą reaktywność krzyżową wśród dziewięciu gatunków wywodzących się z tego rodzaju.

Jad mrówek z rodzaju *Pogonomyrmex* cieszy się opinią jednego z najmocniejszych wśród wszystkich błonkówek. Powoduje hemolizę, degranulację ko-

mórek tucznych i jest 100 razy mniej toksyczny dla stawonogów niż dla ssaków, co sugeruje że został ukształtowany na drodze naturalnej selekcji jako czynnik obronny, właśnie przeciwko ssakom.

Podrodzina Myrmecinae

Przedstawiciele rodzaju *Myrmecia*

Mrówki te są prawdopodobnie najprymitywniejszymi jakie przetrwały do naszych czasów. Choć na ich szersze występowanie w przeszłości istnieją dowody w postaci skamieniałości, 89 spośród żyjących obecnie gatunków z rodzaju *Myrmecia* występuje na terytorium Australii i Nowej Kaledonii. Żądła często, a alergia na ich jad w tym rejonie świata jest pospolita i niebezpieczna (stosunkowo wysoki odsetek reakcji układowych) [5–7].

Myrmecia pilosula (potocznie: „Jack jumper ant”, „Jumper ant”, „Jumping jack”, „Hopper ant”) występuje licznie na Tasmanii oraz na południowym-wschodzie kontynentu australijskiego.



Rycina 10. Mrówka z gatunku *Myrmecia pilosula* (A). Powiększenie głowy owada z uwidocznionymi żółto-pomarańczowymi żuwaczkami (B) (fot. V. Draffin)

Figure 10. Jumper ant (*Myrmecia pilosula*) (A) Enlargement of Yellow jumper ant's (*Myrmecia pilosula*) head with yellow-orange jaws (B)

Podobna do niej – najpewniej spokrewniona – mrówka występuje w górach Darling w Zachodniej Australii. *Myrmecia pilosula* ma przeciętnie od 10 do 12 mm długości, jest kruczoczarna, z żółto-pomarańczowymi kończynami i niektórymi częściami aparatu gębowego. Można ją zatem stosunkowo łatwo odróżnić od 30 mm zupełnie czarnej *Myrmecia pyriformis* (potocznie: „Bull ant”, „Bulldog ant”).



Rycina 11. Mrówka z gatunku *Myrmecia pyriformis* (fot. V. Draffin)

Figure 11. Bull ant (*Myrmecia pyriformis*)

Ponadto, o ile *Myrmecia pyriformis* żądli jedynie z powodu jej mechanicznego podrażnienia czy uszkodzenia to *Myrmecia pilosula* jest z natury znacznie agresywniejsza i w celu pokąsania i pożądlenia swojej ofiary zdolna jest do wykonania skoku na odległość około 10 cm. W warunkach normalnych mrówki tego gatunku przemieszczają się skacząc na odległość do 5 cm. Uważa się, że *M. pilosula* są aktywne w nocy i wykazują aktywność w zimie. Ich gniazda mają różnorodną budowę. W swej części naziemnej mogą przybierać postać kopca o średnicy 20–60 cm, ale przy ulokowaniu całego gniazda pod kamieniem czy skałą mogą również okazać się, nie rzucającym się w oczy, niewielkim otworem czy szczeliną, stanowiącą w istocie jedynie wejście do podziemnego gniazda. Warto wiedzieć, że obecność gniazd mrówek z rodzaju *Myrmecia* zaznaczona jest rozrzuconymi w ich pobliżu stosami drobnoziarnistego żwiru lub gleby o średnicy ok. 6 cm z centralnie położonym otworem o średnicy ok. 1 cm. *M. pilosula* jest mięsami i kałożerna. Chwyta ofiarę za pomocą żuwaczek i żądli używając zmodyfikowanego pokładełka (*ovipositor*). Tak więc struktury anatomiczne zaangażowane w proces żądlenia są tu analogiczne do tych, które wykorzystują inne błonkoskrzydłe (pszczoły czy osy). Mrówki z rodzaju *Myrmecia* są ważnym ogniwem łańcucha pokarmowego dla małych ssaków, do których należy między innymi kolczatka.

Rozpowszechnienie wielu innych mrówek z rodzaju *Myrmecia* jest znaczne, a niektóre spośród licznie występujących gatunków mają swoje potoczne nazwy np „mrówki całowe” lub „mrówki bycze” i wszystkie one są zdolne do żądlenia w razie prowokacji. Jak dotąd anafilaksja na te ostatnie mrówki była opisywana rzadko.

Jady i wywodzące się z nich alergeny

Jady mrówek *Myrmecia pilosula* i *Myrmecia pyriformis*, zawierają dużo histaminy. Stanowi ona 1–3% ich suchej masy [23, 25, 26]. Oprócz zawartości endogennej histaminy [23, 25, 26], jad jest zdolny do uwalniania histaminy z własnych zasobów żądzonej ofiary [44]. Nie znaleziono dowodów na to, żeby jad tych mrówek zawierał acetylocholinę, bradykininę lub 5-hydrokso-tryptaminę. Obecne są w nim również hialuronidaza i wrażliwe na podgrzewanie składniki o aktywności hemolitycznej. Jad *M. pyriformis* posiada również aktywność fosfolipazy A₂ [44]. Ponadto stwierdzono, że powoduje on uwalnianie produktów cyklooksygenazy. Z kolei jad pochodzący od *Myrmecia gulosa* hamuje łańcuch oddechowy w mitochondriach owadów.

Wyciąg z jadu *M. pilosula* okazał się podatny na badanie techniką SDS-PAGE. W wyniku czego

ujawniono 17 prążków o masie cząsteczkowej wahającej się między 5000–200.000 daltonów. Spośród 17 rozpuszczonych polipeptydów jedynie 3 (o masach cząsteczkowych 14.000, 12.000 i 10.000) mają zdolność wiązania się z przeciwciałami IgE. Zbadano to na panelu 50 surowic pochodzących od pacjentów, którzy ujawniali objawy nadwrażliwości na jad tych mrówek. Z wyjątkiem dwóch pacjentów, wszyscy mieli przeciwciała IgE wiążące się zarówno ze składnikami o masie cząsteczkowej 14.000 jak i 12.000; zaś 39% surowic wykazało zdolność wiązania się ze składnikiem o masie 10.000 [32].

W dalszych badaniach [30–33, 44] peptydy te zostały zidentyfikowane, sklonowane i scharakteryzowane jako: *Myr p I*, *Myr p II* i *Myr p III*.

Sekwencja aminokwasowa *Myr p II* jest podobna z *Myr p I*. Różnią się one jedynie 3 aminokwasami w zakresie pierwszych 47 reszt aminokwasowych.

Baldo i wsp. dokonali sklonowania i zdefiniowali strukturę determinanty alergenu [30, 31]. Okazało się, że w przypadku *Myr p I* jest nią składający się z 14 reszt aminokwasowych peptyd usytuowany w pobliżu końcówki C cząsteczki, mający masę cząsteczkową 7500 daltonów, a w alergenie *Myr p 2* fragment o masie cząsteczkowej 8500 daltonów. Autorzy ci stwierdzili, że jad zawierał co najmniej, pięć składników wiążących IgE.

Również w 1994 [30, 33] badając jady sześciu gatunków z rodzaju *Myrmecia* (*M. pilosula*, *M. pyriformis*, *M. nigrocincta*, *M. tarsata*, *M. gulosa*) stwierdzono, że wszystkie one są zdolne do indukowania przeciwciał IgE; 4 z 6 składników wiążących IgE miały ciężar cząsteczkowy od 2000 do 25.000 daltonów i zostały rozpoznane w każdym z jadów. Jeden z tych składników – alergen *Myr p. 1* został w roku 1993 zidentyfikowany, sklonowany i scharakteryzowany.

Podobieństwa w masach cząsteczkowych i pokrewieństwo taksonomiczne między wspomnianymi sześcioma gatunkami rodzaju *Myrmecia* sugeruje, że wspólne lub podobne peptydy mogą być obecne w różnych jadach [32].

Zsyntetyzowano największy spośród polipeptydów jadu *Myrmecia pilosula*. Nosi on nazwę pilosulina 1. Jego cząsteczka składa się z 56 aminokwasów. Wyniki wstępnych badań opartych przeprowadzonych w oparciu o cytometrię przepływową wskazują, że polipeptyd ten wykazuje aktywność hemolityczną (działa silniej niż melityna) oraz hydrolityczną wobec proliferujących limfocytów B. Stwierdzono, że pilosulina 1 niszczy te krwinki w ciągu kilku minut. Zarówno pilosulina 1 jak i melityna oddziałują mocniej na leukocyty jednojądrzaste niż na granulocyty [34, 35].

Podrodzina *Ponerinae*

Przedstawiciele rodzaju *Pachycondyla*

Pachycondyla sennaarensis jest szeroko rozpowszechniona na Półwyspie Arabskim oraz w tropikalnej Afryce pod nazwą miejscową „Samsum ant”. Ta mała mrówka jest znana z powodu bolesnych użądleń i utrzymującego się po nich lokalnie, przez okres do trzech dni, świądu. Użądlenia nie prowadzą jednak do tworzenia się krost ani zbliznowaceń.

W roku 1992 w Zjednoczonych Emiratach Arabskich opisano grupę 40 pacjentów, u których w wyniku użądleń *P. sennaarensis* doszło do ujawnienia układowych reakcji alergicznych [10]. Do roku 2000 łącznie udokumentowano pięć przypadków zgonów wywołanych użądleniami tej mrówki, z czego jeden dotyczył śmierci wewnątrzmacicznej płodu w wyniku oderwania się łożyska [38].

Innymi występującymi na terenie Azji gatunkami mrówek z rodzaju *Pachycondyla* zdolnymi do wywoływania anafilaksji w wyniku użądleń są *Pachycondyla chinensis* i *Pachycondyla solitaria* [11, 40]. Wszystkie opisane przypadki anafilaksji pochodzą z Korei. Jak się wydaje, alergię na jad mrówek występują tam jednak o wiele rzadziej niż na Półwyspie Arabskim.

Jady i ich alergeny

Mimo tego, że jad mrówek „Samsum” znacznie różni się od jadu „mrówek ognistych”, u ponad połowy pacjentów wykazano dodatnie testy skórne, a u prawie jednej trzeciej oznaczalne miana swoistych IgE skierowanych właśnie przeciw alergenom pochodzącym od mrówek z rodzaju *Solenopsis* [10]. Ostatnie wyniki sugerują istnienie reaktywności krzyżowej między alergenami obydwu owadów. Wydaje się to tym bardziej prawdopodobne, że członkowie podrodziny *Ponerinae* mają w składzie swych jadów fosfolipazę A, której obecność wykazano również w jadzie *S. invicta*.

W roku 1995 sporządzono alergenowy wyciąg z całego ciała mrówek *P. sennaarensis*, który posłużył do skutecznego przeprowadzania zarówno diagnostycznych testów skórnych jak i oznaczenia mian swoistych IgE techniką RAST [39]. Obecnie kontynuowane są badania nad identyfikacją alergenów jadu tego gatunku.

Na podstawie badań wcześniejszych [10] i danych opublikowanych w 2001 roku [40] dowiedziano, że do rozwoju anafilaksji indukowanej użądleniami przez *P. chinensis* jak i *P. solitaria* również przyczyniają się reakcje mediowane przez IgE (dodatnie testy skórne, oznaczalne miana swoistych IgE).

W wyniku zastosowania 12% SDS-PAGE i analizy immunoblotingowej w jadzie *P. chinensis* zidentyfikowano 8 składników wiążących przeciwciała klasy E o masach cząsteczkowych: 58, 46, 31, 29, 27, 25, 22 i 12 kD. Składnik o masie cząsteczkowej 12 kD wiązał się z 85% zbadanych surowic i okazał się najczęściej znajdowanym alergenem jadu *P. chinensis*. Zgodnie z nomenklaturą przyjętą przez IUIS/WHO, określono go mianem alergenu głównego. U części uczulonych wykryto również miana sIgG4. Wyjaśnienie ich roli w patogenezie alergii na mrówki z rodzaju *Pachycondyla* wymaga dalszych badań (40). Podobnie, ustalenia wymagają zależności alergenowe pomiędzy jadami tych mrówek a głównymi alergenami pszczelimi i osimi.

Na podstawie testu zahamowania ELISA wykluczono istnienie reaktywności krzyżowej między wyciągami *P. chinensis* i *P. solitaria* oraz mrówek z rodzaju *Solenopsis*. Jednocześnie potwierdzono dużą reaktywność krzyżową pomiędzy gatunkami *P. chinensis* i *P. solitaria* [10].

Podrodzina *Formicinae*

Przedstawiciel rodzaju *Formica*



Rycina 12. Przedstawiciel rodzaju *Formica* [41]
Figure 12. *Formica* ant representative

Formica rufa – mrówka rudnica występuje w lasach Europy Środkowo-Wschodniej w tym w Polsce. W niektórych krajach określana jest mianem czerwonej mrówki leśnej.

F. rufa należy do mrówek średniej wielkości. Głowa, tułów i stylík odwłokowy u samic i robotnic są czerwono-brunatne; odwłok czarny. Ciało samca jest w całości czarne.

Robotnice mierzą od 4 do 9 mm. Długość ciała samic i samców waha się od 9 do 11 mm. Rudnica buduje gniazda w formie kopców z podziemnymi galeriami. Prowadzi drapieżny tryb życia. *Formica rufa* należy do mrówek pozbawionych w toku przemian ewolucyjnych żądła. Wyposażona jest jednak w narząd jadowy [1] (ryc. 3 cz. I), a w składzie produkowanego przez nią jadu przeważa kwas mrówkowy,

choć stwierdzono w nim również znikome występowanie aminokwasów i peptydów. Podobnie jak mrówki innych gatunków kąsa ofiary za pomocą szczęk, a następnie wtryskuje jad do powstałej rany.

Na podstawie kazuistycznych doniesień o przebiegu reakcji chorobowej po ukąszeniach przez mrówkę rudą *Formica rufa*, wśród mieszkańców Europy możliwe są następujące hipotetyczne warianty rozwoju reakcji alergicznych [29, 42]:

1. Pierwotna alergia na jad „mrówek ognistych”. Wywołwana jest na drodze uczuleń podczas pobytu w amerykańskich rejonach endemicznego występowania *Solenopsis invicta* lub *Solenopsis richteri*.

Z jednej strony u chorych istnieją miana krzyżowo reagujących przeciwciał na jad „mrówek ognistych” przy istniejącym latentnym uczuleniu na jad os i w jednym przypadku doszło do wywołania reakcji anafilaktycznej po pierwszym w życiu użądleniu przez mrówkę z rodzaju *Solenopsis*. Z drugiej jednak strony hipotezę tę potwierdza przypadek siedmioletniego chłopca, który dzieciństwo spędził w Brazylii, gdzie miał kontakt z mrówką *Solenopsis invicta*, a po zamieszkaniu w Europie ujawniły się u niego układowe odczyny alergiczne po ukąszeniach przez mrówki europejskie *Formica rufa*.

2. Pierwotna alergia na jad mrówek rudych. Może o tym świadczyć obecność swoistych IgE w surowicy krwi chorych, którzy wcześniej nie mieli kontaktu z tymi owadami oraz stwierdzone w jednym tylko przypadku układowe objawy alergiczne spowodowane z całą pewnością (badanie entomologiczne) przez *Formica rufa* [29, 42].

3. Pierwotna alergia na jad osi. W przypadku jej zaistnienia możliwe jest ujawnienie reakcji uczuleniowych na jad *Formica rufa*. Świadczą o tym reakcje krzyżowe pomiędzy jadami tych owadów.

Aktualny stan wiedzy na temat budowy chemicznej jadu mrówek europejskich jest fragmentaryczny [1, 2, 12, 29, 42]. Uzyskanie oczyszczonych składników jadu pozwoli na potwierdzenie lub obalenie powyższych hipotez, a tym samym ostatecznie zaowocuje dokładniejszą oceną epidemiologiczną alergii na jad *Formica rufa*.

Na zakończenie warto podkreślić, że opracowano już sposoby leczenia objawowego [(mieszanina roztworów 0,5% kamfory i 0,5% mentolu), antyhistaminiki, sterydy miejscowe i układowe] i leczenia przyczynowego [immunoterapia alergenowa] reakcji poukąszeniowych i poużądleniowych wywołanych przez przedstawicieli omówionych podrodzin [12].

Jak uczy doświadczenie, pomimo stałego doskonalenia metod chemicznego zwalczania mrówek uzyskanie praktycznego postępu w walce z zagrażającymi ludziom przedstawicielami staje się możliwe

dopiero po uwzględnieniu ich biologii i właściwym respektowaniu istotnych dla ich życia parametrów środowiskowych. Taktyka ta zaowocowała już wprowadzeniem wielu praktycznych zaleceń [12]. Współczesne działania opierają się zarówno na mechanizmie przynęt jak i substancji działających kontaktowo. Wytwarzane insektycydy występują w postaci różnych preparatów zewnątrz i wewnątrz-mieszkalnych.

Podsumowanie

Współczesna wiedza na temat medycznie przydatnych aspektów biologii *Hymenoptera* ze szczególnym uwzględnieniem biochemicznych, farmakologicznych i immunologicznych własności ich jadów, środowiska ich występowania coraz częściej pozwala na lepsze zrozumienie patogenezы odczynów po użądleniach i po ukąszeniach u ludzi. Z roku na rok daje też podstawę do doskonalenia zarówno metod diagnostycznych jak i sposobów leczenia osób poszkodowanych przez owady.

Piśmiennictwo:

1. Brewczyński P.Z., Anczyk E., Kasznia-Kocot J., Hom A., Dąbkowska B., Muszyńska-Graca M., Pypno B., Skiba M., Złotkowska R.: Znajomość biologii błonkówek ze szczególnym uwzględnieniem immunochemii i ich jadów ma istotne znaczenie we współczesnej medycynie środowiskowej. Cz. I Rodzina *Apidae* – pszczołowate. Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine 2008, 11 (2) 97-115
2. Brewczyński P.Z., Anczyk E., Kasznia-Kocot J., Hom A., Dąbkowska B., Muszyńska-Graca M., Pypno B., Skiba M., Złotkowska R.: Znajomość biologii błonkówek ze szczególnym uwzględnieniem immunochemii i ich jadów ma istotne znaczenie we współczesnej medycynie środowiskowej. Cz. II Rodzina *Vespidae* – osowate. Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine 2009, 12 (1) 93-102
3. Hoffman DR. Fire ant venom allergy. Allergy 1995; 50: 535-544.
4. Stafford ChT. Hypersensitivity to fire ant venom. Annals of Allergy, Asthma, Immunology. 1996; 77: 87-95.
5. Clarke PS. The natural history of sensitivity to jack jumper ants (*Hymenoptera formicidae Myrmecia pilosula*) in Tasmania Med. J. Aust. 1986; 145,11-12: 564-566.
6. Brown SGA, Qi Xuan Wu, Kelsall GRH, Heddle R.J., Baldo B.A.: Fatal anaphylaxis following jack jumper ant sting in southern Tasmania MJA 2001; 175: 644-647
7. Brown SGA, Franks R.W., Baldo B.A., Heddle R.J.: Prevalence, severity, and natural history of jack jumper ant venom allergy in Tasmania. J. Allergy Clin Immunol 2003; 87-92
8. Cho YS, Lee Y-M., Lee C-K., Yoo B., Park H-S., Moon H-B: Prevalence of *Pachycondyla chinensis* venom allergy in an ant-infested area in Korea. J. Allergy Clin Immunol 2002; 110: 54-57
9. Dumpert K. The social biology of ants. Boston: Pitman Advanced Publishing brak rocznika
10. Dib G, Freguson RK, Sljivic V. Hypersensitivity to samsum ant The Lancet. 1992; 339: 552-553.
11. Yun YY, Ko SH, Park JW, Hong CS. Anaphylaxis to venom of the *Pachycondyla* species ant. J. Allergy Clin Immunol. 1999; 104 (41): 879-882.

12. Brewczyński PZ. Alergia na użądlenia i ukąszenia przez mrówkę *Formicidae* w: Alergia na jad owadów błonkoskrzydłych red. Marita Nittner-Marszalska, Mediton, Łódź 2003: 119-144. Seria: Alergologia w praktyce t. II.
13. Brewczyński PZ. Uczulenia na owady w: Choroby alergiczne red. Edward Zawisza i Bolesław Samoliński, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1998: 277-326.
14. Goddard J, Jarrat J, de Castro F.R.: Evolution of the Fire Ant Lesion JAMA, 2000;284.17, 2162-2163
15. Ralston J.P., Rapini R.P., Fire ant Bites. eMedicine Journal 10.11.2009: <http://www.emedicine.com/derm/topic607.htm>
16. Solley G.O., Vandervoude C., Knight G.K., Anaphylaxis due to Red Imported fire Ant sting. MJA 2002: 176: 521-523
17. Stafford C.T.: Fire ant allergy. Allergy Procs 1992; 13(1): 6-11
18. Hoffman DR, Dove DE, Jacobson RS. Allergens in Hymenoptera venom XX. Isolation of four allergens from imported fire ant (*Solenopsis invicta*) venom. J Allergy Clin Immunol. 1988; 82: 818-827.
19. Hoffman DR. Allergens in Hymenoptera venom XXIV. The amino acid sequence imported fire ant venom allergens Sol i II, Sol i III and Sol i IV. J.Allergy Clin Immunol. 1993; 91: 71-78
20. De La Lande, Thomas, Tyler. „Pharmacological analysis of the venom of the bulldog ant (*Myrmecia forficata*). Proc Second Int Pharmacol Meet, Prague, 9:71 brak roku
21. Schmidt M, Walker RB, Hoffman DR, Mc Connele TJ. Nucleotide sequence of cDNA encoding the fire ant venom protein Sol i II. FEBS Leit. 1993; 319: 138-140
22. Stafford C.T., Wise L.s., Robinson D.A. Crosby B.L., Hoffman D.R.: Safety and efficacy of fire ant venom in the diagnosis of fire ant allergy. J Allergy Clin Immunol 1992; 90: 653-61
23. Hoffman DR, Dove DE, Moffitt JE, Stafford CT. Allergens in Hymenoptera venom. XXI. Cross-reactivity and multiple reactivity between fire ant venom and bee and wasp venoms. J. Allergy Clin Immunol. 1988; 82: 828-834
24. Shipolini RA, Callewaert GL, Cottrell RS, Vernon CA. The amino acid sequence and carbohydrate content of phospholipase Eur. J. Biochem.1974; 48: 465 -76.
25. Hoffman DR Allergens in hymenoptera venom. XXV the amino acid sequences of antigen 5 molecules and the structural basis of antigenic cross-reactivity. J. Allergy Clin Immunol. 1993; 92: 707-716
26. De Shazo R D, Butcher BT, Banks WA. Reactions to the stings of the imported fire ant. NE J Med. 1990; 323: 462-466.
27. Schmidt JO, Blum MS. A harvester ant venom; chemistry and pharmacology Science 1978; 200: 1064-1066.
28. Pinna JL, Strunk RC, Wang TM, Thompson HC. Harvester ant sensitivity: in vitro and in vivo studies using whole body extracts and venom. J.Allergy Clin Immunol. 1977; 59 (1): 10-16.
29. Schmid-Gredelmeier P, Lundberg M, Wuthrich B. Anaphylaxis due to a red harvest ant bite Allergy. 1997; 52: 230-231.
30. Street MD, Donovan GR, Baldo BA, Sutherland S. Immediate allergic reactions to *Myrmecia* ant stings: immunochemical analysis of *Myrmecia* venoms Clin Exp Allergy 1994; 24 (6): 590-597.
31. Street MD, Donovan GR, Baldo BA: Molecular cloning and characterization of the major allergen Myr p II from the venom of the jumper ant *Myrmecia pilosula*: Myr p I and Myr p II share a common protein leader sequence. Biochim Biophys Acta 1996; 1-2: 1305: 87-97 Erratum in: Biochim Biophys Acta 1996; 15: 1307: 351
32. Donovan GR, Street MD, Baldo BA, Alewood D, Alewood P, Sutherland S. Identification of an IgE-binding determinant of the major allergen Myr p I from the venom of the Australian jumper ant *Myrmecia pilosula*. Biochimica et Biophysica Acta.1994; 1204: 48-52.
33. Baldo BA, Donovan GR, Street MD. Molecular cloning and allergenic determinant structure of major venom allergens Myr p I and Myr p II from the jumper ant. Allergy and Clinical Immunology News. w: Poster Session-Experimental Research: Basic Mechanisms. Conventional allergens. XV International Congress of Allergology and Clinical Immunology. Annual Meeting of European Academy of Allergology and Clinical Immunology. June 26-July 1 Stockholm 1994; 305.
34. Wu QX, King MA, Donovan GR, Alewood D, Alewood P, Sawyer WH, Baldo BA. Cytotoxicity of pilosulin 1, a peptide from the venom of the jumper ant *Myrmecia pilosula* Biochim Biophys Acta. 1998; 16:1425(1): 74-80.
35. King MA, Wu QX, Donovan GR, Baldo BA. Flow cytometric analysis of cell killing by the jumper ant venom peptide pilosulin 1. Cytometry 1998; 1: 32 (4): 268 -273.
36. Matusek MA, Hodgson WC, Sutherland SK i wsp. Pharmacological studies of jumper ant *Myrmecia pilosula* venom: Evidence for the presence of histamine, and haemolytic and eicosanoid-releasing factors. Toxicon. 1992; 30: 1081-1091.
37. Ford SA, Baldo BA, Weiner J, Sutherland S. Identification of jack-jumper ant *Myrmecia pilosula* venom allergens Clin Exp Allergy. 1991; 21 (2): 167-171
38. Rizk DE, Mensah-Brown E, Lukic M. Placental abruption and intrauterine death following an ant sting. Int J Gynaecol Obstet. 1998; 63: 71-72.
39. Dib G, Guerin B, Banks WA, Leynadier F. Systemic reactions to the Samsun ant: an IgE-mediated hypersensitivity J. Allergy Clin. Immunol. 1995; 96: 465-472.
40. Kim SS, Park HS, Kim HY, Lee SK, Nahm DH. Anaphylaxis caused by new ant, *Pachycondyla chinensis*: demonstration of specific IgE and IgE-binding components. J. Allergy Clin Immunol. 2001; 107: 1095-1099.
41. Gębicki C., Szewo J.; Owady Polski. Atlas i klucz, Qubajak, Krzeszowice 2000, s. 40
42. Seebach JD, Bucher Ch, Anliker M, Schmid-Gredelmeier P, Wutrich B. Ameisengift: eine seltene Ursache für allergische Reaktionen in der Schweiz. Schweiz Med. Wochenschr 2000; 130: 1805-1813.
43. Fox RW, Lockey RF, Bukantz SC. Neurologic sequelae following the imported fire ant sting. J.Allergy Clin Immunol. 1982; 70: 120-124.
44. Toia E. Chemical investigations of the ant genus *Myrmecia*: a review. w: red: Baldo BA, Harle DG, wyd. Proceedings of the Sydney allergen group, Sydney. University of Sydney 1988; 6: 70 -77.
45. Fernández-Meléndez S, Miranda A, Garcia-González JJ, Barber D, Lombardero M. Anaphylaxis Caused by Imported Red Fire Ant Stings in Málaga, Spain. Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology. 2007; 17 (1): 48-49

Autorzy dziękują dr. Bastiaanowi Dreesowi – koordynatorowi Fire Ant Project z Wydziału Entomologii Uniwersytetu A&M w Teksasie za wyrażenie zgody na wykorzystanie archiwalnego materiału zdjęciowego.

Adres do korespondencji:
 Dr n. med. Piotr Z. Brewczyński
 Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego
 41-200 Sosnowiec, Kościelna 13
 tel. 032 266 08 85
 e-mail: p.brewczynski@imp.sosnowiec.pl