

dr Daria Bajerlein (autor korespondencyjny)

adiunkt w Zakładzie Taksonomii i Ekologii Zwierząt Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
daria.bajerlein@amu.edu.pl

prof. dr hab. Maria Wojterska

profesor w Zakładzie Ekologii Roślin i Ochrony Środowiska Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

dr Łukasz Grewling

adiunkt w Pracowni Aeropalinologii Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

dr hab. Mikołaj Kokociński

adiunkt w Zakładzie Hydrobiologii Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Botanika sądowa – stan wiedzy i możliwości zastosowania w praktyce śledczej

Streszczenie

Botanika sądowa jest nauką zajmującą się badaniem śladów biologicznych pochodzenia roślinnego pod kątem dowodowym wymiaru sprawiedliwości. W ramach botaniki sądowej największe zastosowanie mają: palinologia, anatomia roślin, diatomologia, ekologia roślin oraz biologia molekularna roślin. Jak wykazano, wiedza o roślinach może zostać wykorzystana do ustalenia powiązania między domniemanym sprawcą, ofiarą i miejscem zdarzenia. W praktyce śledczej metody botaniki sądowej były wykorzystywane do identyfikacji miejsc przetrzymywania porwanych oraz ukrycia zwłok, odróżnienia miejsca, w którym doszło do zdarzenia, od miejsca ostatecznego porzucenia ofiary, identyfikacji sprawcy przestępstwa, określenia przyczyny i czasu zgonu, śledzenia sieci dystrybucji narkotyków, wyjaśniania okoliczności przemytu roślin i zwierząt oraz zbrodni wojennych. Chociaż użyteczność botaniki sądowej w wyjaśnianiu okoliczności przestępstw została wielokrotnie potwierdzona, jej metody są w dużym stopniu niedoceniane i rzadko stosowane. W artykule prezentowane są: stan wiedzy w zakresie botaniki sądowej, charakterystyka poszczególnych jej dyscyplin, możliwości i ograniczenia zastosowania metod botaniki sądowej w praktyce śledczej oraz perspektywy jej rozwoju.

Słowa kluczowe botanika sądowa, palinologia, diatomologia, anatomia roślin, ekologia roślin, biologia molekularna roślin, ślady biologiczne

Wstęp

W postępowaniach śledczych ślady biologiczne pochodzenia ludzkiego, a więc różnego rodzaju wydzieliny, wydaliny oraz tkanki, są jednymi z najczęściej zabezpieczanych potencjalnych materiałów dowodowych na miejscu zdarzenia. Niemniej, biologiczny materiał dowodowy obejmuje również ślady pochodzenia zwierzęcego oraz roślinnego. Ostatnie lata ujawniły wysoką przydatność owadów w wyjaśnianiu okoliczności przestępstw, zwłaszcza w zakresie ustalenia czasu, miejsca oraz przyczyny zgonu. O ile jednak konieczność zabezpieczania materiału biologicznego pochodzenia ludzkiego jest oczywista, a świadomość istnienia entomologicznego materiału dowodowego

wśród osób zaangażowanych w proces śledczy jest coraz większa, o tyle ślady biologiczne pochodzenia roślinnego są często ignorowane. Jak wielokrotnie podkreślano w literaturze specjalistycznej, metody oferowane przez botanikę sądową są ciągle niedoceniane i stosunkowo rzadko stosowane, chociaż ich wysoka przydatność w kryminalistyce została wielokrotnie potwierdzona [1–6]. Główną przyczyną niedostatecznego wykorzystywania metod botaniki sądowej na potrzeby wymiaru sprawiedliwości należy upatrywać w braku świadomości istnienia śladów botanicznych oraz wiedzy w zakresie metod ich ujawniania i zabezpieczania. Aktualnie zaledwie w kilku krajach, między innymi w Nowej Zelandii, Wielkiej Brytanii oraz w USA, praktykowane jest regularne korzystanie z pomocy

botaników. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat botaniki sądowej, możliwości jej zastosowania w praktyce śledczej oraz perspektyw jej dalszego rozwoju.

Botanika sądowa jest nauką, w ramach której prowadzone są badania nad roślinami pod kątem możliwości ich wykorzystania na potrzeby wymiaru sprawiedliwości. W obrębie botaniki sądowej wydziela się kilka dyscyplin: palinologię (badania nad ziarnami pyłku roślin), diatomologię (badania jakościowe i ilościowe okrzemek), anatomię roślin (badania nad budową roślin), ekologię roślin (badania nad związkami organizmów roślinnych ze środowiskiem, ich rozmieszczeniem i liczebnością) oraz biologię molekularną roślin (badania DNA roślinnego). Dotychczasowe badania wykazały, że jednokomórkowe glony i rośliny z większości grup systematycznych, od form o najprostszej budowie aż po rośliny okrytozalążkowe, mogą być użyteczne w wyjaśnianiu okoliczności przestępstw [7–9]. Zakres możliwości wykorzystania botaniki sądowej w kryminalistyce jest szeroki, bowiem jej metody pozwalają na znalezienie odpowiedzi na zasadnicze pytania, jakie pojawiają się w trakcie postępowania śledczego dotyczące określenia czasu, miejsca, przyczyny i sprawcy przestępstwa. W praktyce śledczej metody botaniki sądowej mogą posłużyć do identyfikacji miejsc przetrzymywania porwanych osób oraz ukrycia zwłok, odróżnienia miejsca, w którym doszło do zabójstwa, od miejsca ostatecznego porzucenia zwłok, identyfikacji sprawcy przestępstwa, określenia przyczyny i czasu zgonu, śledzenia sieci dystrybucji narkotyków, wyjaśniania okoliczności przemytu roślin i zwierząt oraz zbrodni wojennych [10–13].

Zasadniczo, wykorzystanie wiedzy botanicznej w praktyce śledczej opiera się na dwóch założeniach. Jednym z nich jest zasada Locarda, zgodnie z którą kontakt dwóch obiektów będzie skutkował wzajemną wymianą substancji. Oznacza to, że ślady botaniczne mogą zostać wykorzystane do powiązania miejsca zdarzenia, ofiary i sprawcy przestępstwa. Przykładowo, ziarna pyłku znalezione na butach lub odzieży podejrzanego mogą pomóc w ustaleniu, czy był on sprawcą zdarzenia [14]. Drugie założenie, na którym bazuje zastosowanie metod botaniki sądowej, związane jest z rozmieszczeniem gatunków roślin na kuli ziemskiej, czyli zagadnieniem z dziedziny fitogeografii. Poszczególne gatunki roślin charakteryzują się różnymi wymaganiami środowiskowymi, zwłaszcza w zakresie warunków glebowych, temperatury, wilgotności powietrza oraz nasłonecznienia. Wiele z nich wykazuje dużą tolerancję na zróżnicowane warunki środowiska, czego efektem jest szeroki zakres ich występowania. Z kolei gatunki charakteryzujące się niską tolerancją na zmienne warunki środowiska będą występowały w ściśle określonych, łatwych do zdefiniowania i odnalezienia miejscach. Znajomość specyfiki geograficznej oraz środowiskowej roślin może również zostać wykorzystana do ustalenia

powiązania między miejscem zdarzenia, podejrzanym i ofiarą. Przykładowo, stwierdzenie na ubraniu ofiary śladów roślin należących do gatunków nietypowych dla środowiska, w którym zwłoki zostały ujawnione, może świadczyć o tym, że zwłoki były po śmierci przenoszone.

Literatura z zakresu botaniki sądowej jest bogata i obejmuje prace oryginalne, metodyczne, przeglądowe oraz opisy przypadków. Najliczniej reprezentowane są artykuły metodyczno-kazusowe oraz przeglądowe. Ponadto, dostępnych jest kilka podręczników [15–17]. Większość literatury z zakresu botaniki sądowej to prace anglojęzyczne, natomiast opracowania w języku polskim są nieliczne [18–21]. Chociaż pierwsze w czasach nowożytnych udokumentowane przypadki wykorzystania metod botaniki sądowej w kryminalistyce pojawiły się już w pierwszej połowie XX wieku, to intensywny rozwój tej nauki rozpoczął się na przełomie XX i XXI wieku [2]. Zasadniczo w ramach poszczególnych dziedzin botaniki sądowej prowadzone są badania w zakresie metod ujawniania, zabezpieczania i sposobu powiązania materiału botanicznego z okolicznościami zdarzenia. Niemniej, dużo uwagi poświęca się również przedstawieniu ograniczeń i trudności związanych z wykorzystaniem śladów botanicznych na potrzeby śledztwa.

Palinologia sądowa

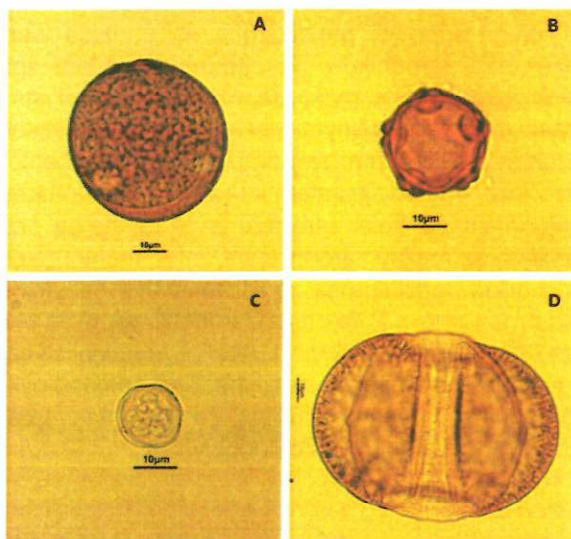
Najdłużej i jednocześnie najintensywniej rozwijającym się działem botaniki sądowej jest palinologia sądowa. Pierwsze wzmianki o możliwości jej wykorzystania w wyjaśnianiu okoliczności przestępstw pochodzą z lat trzydziestych XX wieku [22], jednak dopiero 20 lat później metody palinologiczne zostały po raz pierwszy zastosowane w tym kontekście [23]. W ramach palinologii sądowej prowadzone są badania ziaren pyłku oraz zarodników na potrzeby wymiaru sprawiedliwości. Ziarna pyłku są mikroskopijnymi strukturami (niedostrzegalnymi gołym okiem) o wielkości w zakresie 5–200 µm, zawierającymi męskie komórki rozrodcze, odgrywają zatem kluczową rolę w procesie zapłodnienia. Z kolei zarodniki wytwarzane są przez grzyby oraz rośliny zarodnikowe, m.in. mchy i paprocie, i odpowiedzialne są za rozmnażanie bezpłciowe tych organizmów. Pyłek oraz zarodniki wspólnie określane są mianem palinomorf. Analiza kryminalistyczna w głównej mierze opiera się na badaniu samego pyłku, którego liczne cechy sprawiają, że doskonale sprawdza się on jako materiał dowodowy.

Cechy ziaren pyłku pomocne w analizie kryminalistycznej

Z uwagi na niewielkie rozmiary ziarna pyłku łatwo przenoszą się między obiektami. Wykazano, że pyłek

może osadzać się praktycznie na powierzchniach każdego typu, zarówno pochodzenia organicznego (materiały skórzane, bawełniane), jak i sztucznych (np. lateks) [24]. W praktyce śledczej pyłek ujawniany był m.in. na odzieży [10], na obuwiu, na osadzie z odcisków buta [25] oraz na włosach [11]. Zwłaszcza włosy głowy (oraz brwi) są doskonałą pułapką na ziarna pyłku. Długość okresu zachowania się pyłku na włosach zależy od częstości ich mycia, jak również stosowania różnych produktów kosmetycznych, takich jak lakier do włosów, żeło lub woski (zwiększające przyleganie pyłku do włosów) [11, 26]. Ponadto pyłek ujawniany był zarówno bezpośrednio na powierzchni ciała [26], jak i wewnątrz zwłok podczas autopsji [26–27]. Ziarna pyłku wdychane z powietrzem dostają się do kanału nosowego, w którym zatrzymywane są przez śluz wydzielany w jamie nosowej. Po śmierci, nawet w przypadku zwłok zeszkieletowanych, pyłek może zachować się w obrębie małżowin nosowych. Opis metod zabezpieczania pyłku z ludzkiego ciała został przedstawiony w kilku artykułach [11, 26–27].

Pyłek cechuje się niezwykle odpornością na działanie niekorzystnych czynników. Zewnętrzna warstwa pyłku (egzyna) zbudowana jest z jednej z najbardziej trwałych substancji produkowanej przez organizmy żywe, tzw. sporopoleniny. Warunkuje ona niespotykaną odporność ziaren pyłku, m.in. na działanie silnych kwasów czy wysokiej temperatury. Dzięki temu ziarna pyłku dobrze zachowują się na powierzchniach różnych obiektów i, nawet znajdując się w skrajnie niekorzystnych warunkach, mogą zostać ujawnione i zabezpieczone [28–31]. Ziarna pyłku różnych gatunków roślin charakteryzują się określoną wielkością, kształtem i urzeźbieniem powierzchni, co pozwala na ich identyfikację do poziomu rodzaju lub gatunku (ryc. 1).



Ryc. 1. Ziarna pyłku: A – buka pospolitego (*Fagus sylvatica* L.), B – olszy czarnej (*Alnus glutinosa* Gaertn.), C – pokrzywy zwyczajnej (*Urtica dioica* L.), D – świerku pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.).

Pomyślna identyfikacja ziaren pyłku może być wskazówką do identyfikacji środowiska, z którego pochodzą. Różne obszary charakteryzują się specyficznym dla siebie profilem pyłkowym odzwierciedlającym skład gatunkowy roślin na nim występujących. Jednym z zadań botaniki sądowej jest opracowanie profili pyłkowych różnego typu środowisk, które określa się jako tzw. pyłkowy odcisk palca (*pollen fingerprints*), co jest wysoce przydatne w identyfikacji miejsc zdarzenia [13, 32]. Jak wynika z danych literaturowych, nie wykazano do tej pory dwóch miejsc o dokładnie takim samym profilu pyłkowym [33]. Oprócz możliwości określenia środowiska, z którego pochodzi dany pyłek, poprawna identyfikacja pozwala również wyznaczyć czas, w którym został on uwolniony z rośliny macierzystej. Większość roślin kwitnie w określonych porach w roku, np. przebiśniegi wczesną wiosną, maki latem, a chryzantemy jesienią. Znajomość terminów pylenia roślin, których pyłek został znaleziony, np. na zwłokach, pozwala wyznaczyć orientacyjny czas zgonu. Na bazie stwierdzonych zależności między ujawnionym na zwłokach składem jakościowym pyłku a okresem kwitnienia przygotowuje się tzw. kryminalne kalendarze pylenia (*crime pollen calendar*) [26]. Ponadto, warto podkreślić, że ziarna pyłku różnych gatunków roślin mogą charakteryzować się odmienną trwałością będącą cechą typową dla gatunku [5]. Niektóre gatunki roślin wytwarzają pyłek o bardzo krótkim czasie trwania (np. storczyki), podczas gdy pyłek innych roślin może być długowieczny (np. olszy, lipy). W związku z powyższym, prawdopodobieństwo znalezienia pyłku tych pierwszych będzie niskie, podczas gdy pyłek długowieczny będzie nadreprezentowany w próbie. Fakt istnienia pyłku krótkotrwalego może mieć dwójakiego rodzaju konsekwencje dla wnioskowania w procesie śledczym. Z uwagi na krótki czas trwania pyłek może nie zostać stwierdzony w próbie, nawet gdy na terenie, z którego została pobrana, występują produkujące go rośliny. Z drugiej strony stwierdzenie w analizowanej próbce pyłku krótkotrwalego może być jednoznacznym wskaźnikiem danego gatunku rośliny, a więc ułatwić określenie środowiska, z którego pochodzi, a także świadczyć o krótkim odstępie czasu między zajściem zdarzenia a zabezpieczeniem materiału dowodowego.

Sposób rozprzestrzeniania pyłku a jego przydatność w analizie kryminalistycznej

Pod względem biologicznym podstawowym zadaniem ziaren pyłku jest uczestniczenie w reprodukcji roślin. Aby doszło do zapłodnienia, pyłek musi zostać przeniesiony na żeńskie organy rozrodcze, co może nastąpić przy udziale wiatru, wody, za pośrednictwem zwierząt lub na skutek samozapylenia. Rośliny produkują zwykle dużą ilość pyłku (często kilka/kilkanaście tysięcy na kwiat), co wynika bezpośrednio z jego biologicznej funkcji. Niemniej liczba wytwarzanych ziaren

pyłku zależy w dużej mierze od sposobu ich dyspersji. Najwięcej pyłku produkują rośliny wiatropylne, a najmniej owadopylne oraz samopylne. Obliczono, że jeden kwiat konopi siewnych (roślina wiatropylna) wytwarza ponad 300 tys. ziaren pyłku, a dyni zwyczajnej (roślina owadopylna) około 15 tys. [34]. Dyspersja pyłku za pomocą wiatru jest mało efektywna, ponieważ podlega w znacznej mierze przypadkowi. W związku z tym małe prawdopodobieństwo zajścia zapłodnienia jest zwiększane przez produkcję znacznej ilości pyłku. Mniej pyłku produkują rośliny owadopylne, ponieważ dzięki pośrednictwu zwierząt odwiedzających kwiaty jego przenoszenie jest bardziej efektywne. W praktyce sądowej, najbardziej pomocne w wyjaśnianiu okoliczności przestępstw są właśnie ziarna pyłku roślin owadopylnych i roślin rzadko występujących, zwykle o ograniczonym zasięgu. Pyłek roślin zapylanych przez owady jest stosunkowo duży (zazwyczaj powyżej 40 μm), bogato urzeźbiony, lepki (pokryty kitem pyłkowym) i ciężki, zatem nie jest przenoszony na duże odległości. Ze względu na rozmiary pyłek roślin owadopylnych opada znacznie szybciej niż ten przystosowany do rozprzestrzeniania przez wiatr. Jak wykazano, pyłek niektórych gatunków roślin może opadać z prędkością 2–3 cm/s (np. lekki pyłek trawy), podczas gdy innych nawet kilka razy szybciej [1, 34] i w związku z tym ujawnienie na powierzchniach włók tego typu pyłku wskazuje na bliskie sąsiedztwo rośliny, która go wyprodukowała. Mniejsze znaczenie w kryminalistyce mają ziarna pyłku roślin wiatropylnych, zwłaszcza występujących powszechnie, np. traw. Zaobserwowano, że 95% pyłku przeniesionego przez wiatr opada w odległości od 25 m do 2 km od lokalizacji rośliny macierzystej, w związku z czym ujawnienie takiego pyłku w miejscu zdarzenia nie musi świadczyć o tym, że roślina, która go wyprodukowała również pochodzi z tego miejsca [15].

Ziarna pyłku jako materiał dowodowy

Literatura z zakresu palinologii sądowej jest bogata i obejmuje artykuły oryginalne, kazuistyczne, metodyczne oraz przeglądowe. Wśród nich dominują prace przeglądowe podsumowujące dotychczasową wiedzę, opisujące metody zabezpieczania materiału pyłkowego oraz przedstawiające problemy i ograniczenia wynikające z wykorzystywania analizy pyłkowej pod kątem dowodowym, nierzadko w odniesieniu do konkretnego kraju [5, 6, 32, 35, 36]. Liczne są również prace kazuistyczne dokumentujące przypadki pomyślnego wykorzystania palinologii w wyjaśnianiu okoliczności przestępstw [8, 10–12, 33, 35]. W praktyce śledczej pyłek okazał się użyteczny w identyfikacji miejsca zdarzenia [11], domniemanego sprawcy [8, 14, 37], odróżnieniu miejsca popełnienia przestępstwa (gwałtu, zabójstwa) od ostatecznego miejsca porzucenia ofiary [10, 11, 33], określeniu czasu zgonu

[26, 37], ustaleniu źródła pochodzenia fałszywych leków [38] oraz okoliczności przemytu zwierząt [12].

Prac oryginalnych o charakterze eksperymentalnym jest stosunkowo niewiele. Z punktu widzenia praktyki śledczej są one najbardziej pożądane, ponieważ dostarczają informacji na temat sposobu odkładania się pyłku na powierzchniach różnych obiektów i jego trwałości w odpowiedzi na różne warunki środowiskowe i działanie różnych czynników, często niekorzystnych. W konsekwencji tego typu eksperymenty umożliwiają opracowanie metod zabezpieczania pyłku z różnych obiektów i ocenę możliwości jego wykorzystania jako materiału dowodowego. Dotychczas prowadzone badania w tym zakresie dotyczyły poznania zachowania się pyłku w pomieszczeniach zamkniętych [30], na dokumentach [29], w silnikach pojazdów mechanicznych [28], w spalonych pojazdach mechanicznych [31], na odzieży i obuwiu [14, 24, 39], na odciskach butów [25], bezpośrednio na ludzkich włosach [11, 26–27] oraz na powierzchni gleby [40]. Badania nad przestrzennym i czasowym rozmieszczeniem pyłku w pomieszczeniach zamkniętych wykazały silną tendencję pyłku do zaniku wraz ze zwiększającą się odległością od jego źródła (w konkretnym przypadku były to kwiaty wazonie). Na przestrzenne zmiany ilości pyłku miały wpływ takie czynniki, jak: sposób przepływu powietrza, morfologia ziaren pyłku oraz liczba i rozmieszczenie wazonów z kwiatami. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że badanie rozkładu pyłku w pomieszczeniach może mieć bardzo duże znaczenie w wyjaśnianiu okoliczności przestępstwa, zwłaszcza kradzieży, np. poprzez porównanie pyłku znalezionej na ubraniu podejrzanego, z tym stwierdzonym w pomieszczeniu, w którym dokonano przestępstwa [8, 30]. Interesujących wyników dostarczają również badania nad zachowaniem się pyłku w kontakcie z różnymi materiałami. Analiza pyłku obecnego na papierze może być przydatna m.in. w ustalaniu oryginalności dokumentów, np. poprzez określenie czasu ich powstania na podstawie składu spektrum pyłkowego lub sekwencji zdarzeń prowadzących do powstania dokumentu [29]. Wyniki przeprowadzonych w tym zakresie badań wykazały, że pyłek najlepiej zachowuje się na szorstkim papierze i na atramencie oraz że zarówno koperty, jak i stalówka pióra są miejscami bogatymi w ziarna pyłku [29]. Jeśli czynność pisania nastąpiła przed pojawieniem się na papierze pyłku, to większość jego ziaren gromadziła się w zgięciach papieru. Natomiast, jeśli pojawienie się pyłku poprzedziło czynność pisania, to jego rozkład na dokumencie był nieregularny, spowodowany naciskiem dłoni.

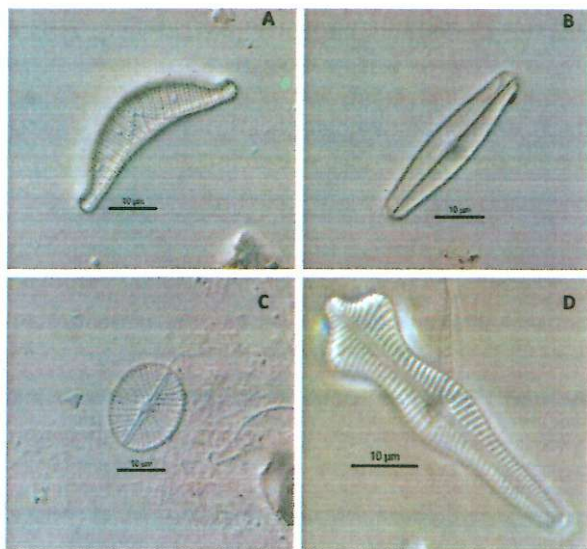
Przeprowadzenie analizy palinologicznej na potrzeby śledztwa wymaga przede wszystkim świadomości istnienia pyłku jako potencjalnego śladu botanicznego. Ponadto, konieczna jest nie tylko wiedza w zakresie morfologii ziaren pyłku i sposobów

ich rozprzestrzeniania, lecz także ich właściwości biologicznych i zachowania się w różnych warunkach. Jednym z zasadniczych problemów, z jakim może spotkać się botanik sądowy, jest znalezienie odpowiedzi na pytanie, czy zabezpieczony materiał nadaje się do analizy na potrzeby śledztwa oraz w jaki sposób może zostać wykorzystany. W tym celu prowadzone są badania eksperymentalne nad zachowaniem się pyłku w skrajnie niekorzystnych warunkach, np. wysokiej temperatury, aby wykazać, czy tego typu materiał będzie mógł zostać wykorzystany jako materiał dowodowy [31].

Chociaż palinologia jest jedną z najstarszych dyscyplin botaniki sądowej, a jej przydatność w kryminalistyce została wielokrotnie potwierdzona, to ma ona wiele ograniczeń uniemożliwiających jej zastosowanie. Do najczęściej wskazywanych należą: trudności w znalezieniu specjalisty, niepoprawnie zabezpieczony materiał, zbyt mała ilość materiału na potrzeby analizy, brak kolekcji referencyjnych oraz kwestie finansowe związane z przeprowadzeniem analizy palinologicznej [1].

Diatomologia sądowa

Stosunkowo młodą dyscypliną botaniki sądowej jest diatomologia sądowa zajmująca się badaniami mikroskopijnych glonów pod kątem potrzeb dowodowych wymiaru sprawiedliwości. Obiektem zainteresowania diatomologii sądowej są jednokomórkowe glony okrzemki, których najbardziej charakterystyczną cechą jest wysycenie ściany komórkowej uwodnioną krzemionką tworzącą wokół komórki sztywny pancerzyk zwany skorupką. Skorupka okrzemek jest dwuczęściowa, zbudowana z wieczka (część górna) i denka (część dolna), które nachodząc na siebie, przypominają pudełko (ryc. 2).



Ryc. 2. Okrzemki: A – *Epithemia sorex* Kütz., B – *Sellaphora pupula* Mereschkovsky, C – *Cavinula scutelloides* Lange-Bertalot, D – *Gomphonema acuminatum* Ehrenb.

Okrzemki są najliczniejszą grupą planktonu roślinnego. Spotykane są w różnych strefach zbiorników wodnych zarówno w środowiskach słodkowodnych, jak i w morzach. Z uwagi na powszechność i wielosezonowość ich występowania, dużą liczebność, znajomość wymagań środowiskowych poszczególnych gatunków oraz dużą odporność pancerzyków na działanie niekorzystnych czynników, okrzemki są użytecznym narzędziem w wyjaśnianiu okoliczności przestępstw. W praktyce sądowej okrzemki mogą być wykorzystane do ustalania przyczyny, czasu i miejsca zgonu [7, 41] oraz identyfikacji domniemanego sprawcy [42–43]. Większość udokumentowanych przypadków zastosowania analizy okrzemkowej w praktyce sądowej dotyczyła przede wszystkim ofiar utonięcia, zwłaszcza w przypadkach, gdy sekcja zwłok pozostawiała wątpliwości wobec ustalenia przyczyny zgonu [7, 44–45]. Tzw. test okrzemkowy pozwala na ustalenie, czy przyczyną zgonu było utonięcie, czy też ciało znalazło się w wodzie dopiero po śmierci. W przypadku utonięcia zgon następuje na skutek uduszenia spowodowanego dostaniem się płynu, najczęściej wody, do dróg układu oddechowego. Fundamentalna zasada wykorzystania okrzemek w potwierdzaniu utonięcia jako przyczyny zgonu opiera się na założeniu, że okrzemki obecne są w ośrodku, w którym nastąpiło domniemane utonięcie. Wchłonięcie wody do dróg układu oddechowego powoduje przedostanie się okrzemek do pęcherzyków płucnych, stamtąd do obiegu krwi i penetrację narządów wewnętrznych. Wykazano, że najwięcej okrzemek kumuluje się w szpiku kostnym oraz w mózgu, następnie w nerkach, żołądku i w płucach. Charakterystyczna jest również mała liczebność okrzemek w mięśniu sercowym [46]. Stwierdzenie obecności okrzemek wyłącznie w obrębie dróg układu oddechowego, przy jednoczesnym ich braku w narządach wewnętrznych, świadczy o tym, że do zgonu doszło z przyczyn innych niż utonięcie, a zwłoki dostały się do środowiska wodnego dopiero po zgonie. W takich przypadkach woda wnika do dróg oddechowych w sposób pasywny, a z powodu zatrzymania pracy układu krążenia, okrzemki mogą dostać się jedynie do płuc, bez osiągnięcia narządów wewnętrznych. Istnieją jednak przypadki stwierdzenia okrzemek w narządach wewnętrznych, chociaż utonięcie nie było przyczyną zgonu. Do takich sytuacji może dojść, gdy woda wraz z okrzemkami wnika do wnętrza ciała przez rany lub w trakcie rozkładu zwłok. Niektóre gatunki okrzemek mogą być przenoszone przez wiatr i razem z wdychanym powietrzem dostać się do płuc. Źródłem okrzemek w organizmie mogą być także woda i pożywienie, a także papier z papierosów [46]. W celu określenia miejsca i czasu zgonu oraz identyfikacji przestępcy wykorzystuje się wiedzę na temat ekologii okrzemek, zwłaszcza w zakresie ich preferencji środowiskowych i sezonowości występowania [41–42]. Opierając się na szerokiej wiedzy z zakresu ekologii wielu dobrze poznanych gatunków wskaźnikowych

okrzemek, wykorzystywanych także w monitoringu wód powierzchniowych, zgrupowania okrzemek można wykorzystać jako wskaźniki środowisk i pory roku. Znajomość struktury takich zgrupowań pozwala na porównanie składu jakościowego i ilościowego okrzemek z materiału dowodowego z próbą kontrolną (materiał z domniemanego środowiska) i w ten sposób uzyskać informację potwierdzającą lub wykluczającą istnienie powiązania. Okazuje się, że okrzemki mogą również posłużyć do określenia czasu zanurzenia posmiertnego (*postmortem submersion interval* – PMSI), a więc czasu, jaki upłynął od momentu zanurzenia ciała do momentu ujawnienia zwłok [47–48]. W tej metodzie wykorzystuje się fakt, że okrzemki są pierwszymi wśród glonów kolonizatorami zwłok w środowisku wodnym i stanowią grupę dominującą na początkowych etapach sukcesji.

Literatura z zakresu diatomologii sądowej obejmuje przede wszystkim opisy przypadków dokumentujących użyteczność okrzemek na potrzeby kryminalistyki oraz prace oryginalne o charakterze eksperymentalnym, pokazujące, w jaki sposób okrzemki mogą być powiązane z okolicznościami zdarzenia. Intensywnie prowadzone są również badania w zakresie technik wykrywania i ekstrakcji okrzemek [43, 49–51]. Niedawno zaproponowano ulepszenie klasycznej formy testu okrzemkowego poprzez zastosowanie metody efektywniejszego pozyskiwania okrzemek przy wykorzystaniu zdolności DNA do wiązania krzemionki obecnej w pancerzykach [52–53]. Wykorzystanie okrzemek pod kątem potrzeb dowodowych wymiaru sprawiedliwości wymaga równoległego prowadzenia badań nad ekologią tej grupy glonów. Skład jakościowy i ilościowy okrzemek zmienia się w czasie i przestrzeni, a ponadto jest efektem działalności człowieka. W związku z tym badania nad strukturą zgrupowań okrzemek powinny uwzględniać zmiany jakości zbiorników wodnych na skutek zanieczyszczenia i eutrofizacji.

Zastosowanie anatomii roślin w kryminalistyce

Również wiedza na temat budowy i sposobu wzrostu roślin może być wykorzystana pod kątem potrzeb dowodowych wymiaru sprawiedliwości. Klasycznym przykładem takich zastosowań w praktyce śledczej są metody dendrochronologii, czyli określania wieku drzew na podstawie liczby słoików, a zatem rocznych przyrostów drzewa na grubość. Pierwszy w czasach nowożytnych przypadek wykorzystania roślinnego materiału dowodowego na potrzeby śledztwa dotyczył ustalenia pochodzenia drabiny, która posłużyła do porwania dziecka, co wiązało się z ustaleniem gatunku i wieku drzewa z którego została wykonana [2].

W ostatnich latach zwrócono uwagę na możliwość wykorzystania różnych gatunków mszaków do ustalania czasu zgonu [9, 54]. Znajomość tempa i sposobu wzrostu tych roślin umożliwia ustalenie minimalnego

PMI (*postmortem interval*), a więc czasu, jaki na pewno musiał upłynąć od momentu zgonu do momentu ujawnienia zwłok. Analizowane gatunki mchów charakteryzowały się wzrostem monopodialnym, czyli wzrostem pędu głównego, co pozwoliło na ustalenie liczby rocznych jednostek przyrostu. Następnie, biorąc pod uwagę wiek mchów oraz fakt, że nie pojawiają się na tkankach miękkich, udało się określić moment zeszkieletování zwłok. W przypadku opisanym przez Cardoso i in. [9] do szacowania czasu zgonu wykorzystano również wiedzę na temat kolonizacji zwłok przez glony oraz ich obrastanie przez korzenie krzewów.

Mszaki były również obiektem badań o charakterze metodycznym. Testowano użyteczność DNA mszaków na potrzeby analiz genetycznych po 18 miesiącach przechowywania materiału roślinnego w papierowych torebkach w warunkach zmieniającej się temperatury powietrza w zakresie od +25°C do -28°C. Ponadto sprawdzano, czy mszaki przyczepiają się do obuwia oraz w jaki sposób zachowują się na obuwiu po kilkugodzinym spacerze. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że DNA mszaków może zostać wykorzystane do analiz, nawet jeśli było izolowane z okazów przechowywanych przez kilkanaście miesięcy w niekorzystnych warunkach temperaturowych, oraz że mszaki przyczepiają się do obuwia i pozostają na nim, nawet jeśli osoba nosząca buty chodziła przez kilka godzin po suchym i twardym podłożu [55].

Zastosowanie wiedzy z zakresu ekologii roślin w kryminalistyce

Badania ekologiczne prowadzone w ramach botaniki sądowej skupiają się głównie na poznaniu reakcji zbiorowisk roślinnych na wystąpienie czynnika zakłócającego stabilność ekosystemu, jakim są zakopane zwłoki. W praktyce śledczej uzyskana wiedza może zostać wykorzystana na potrzeby poszukiwania miejsc ukrytych zwłok lub grobów. Jak wykazały dotychczas prowadzone badania, zakopanie zwłok w ziemi powoduje miejscowe zmiany w strukturze pokrywy roślinnej, które mogą utrzymywać się nawet przez dłuższy czas [56, 57]. Z punktu widzenia praktyki śledczej istotny jest fakt, że te miejscowe zmiany w pokrywie roślinnej są łatwo odróżnialne wzrokowo od roślinności występującej na sąsiadujących miejscach niezakłóconych kopaniem, a więc mogą stać się one wskazówką przydatną do lokalizacji ukrytych zwłok. W zależności od okoliczności, zakłócenie w pokrywie roślinnej może manifestować się na różne sposoby [56]. W miejscu zakopania zwłok może rozwinąć się bardziej bujna roślinność, tj. wyraźnie wyższa i bardziej zielona od tej występującej w sąsiadującym niezakłóconym miejscu. Jest to związane ze zwiększeniem się w glebie ilości związków mineralnych pochodzących z rozkładających się zwłok, co sprzyja wzrostowi roślin. Rozwój bujniejszej roślinności może nastąpić także w efekcie

lepszego napowietrzenia i rozluźnienia struktury gleby spowodowanych kopaniem, co z kolei wpływa pozytywnie na rozwój systemu korzeniowego. Z drugiej strony, czynność kopania może wpłynąć destrukcyjnie na roślinność poprzez całkowite zniszczenie systemu korzeniowego. W takim przypadku miejsce pochowania zwłok będzie wyróżniało się słabszym wzrostem roślinności w porównaniu z roślinnością jego otoczenia lub nawet całkowitym zniszczeniem pokrywy roślinnej. Jak zauważono, zasadniczym czynnikiem mającym wpływ na tego typu zmiany jest głębokość grobu [56]. Przykładowo, zwłoki świni domowej, będące klasycznym substytutem zwłok ludzkich w tego typu badaniach, zakopane poniżej strefy korzeniowej nie spowodują zmian w gatunkach roślin pojawiających się na wczesnym etapie sukcesji roślinności, takich jak trawy i rośliny zielne [56]. Podczas kopania może także dojść do mechanicznych uszkodzeń roślin znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie grobu. Często obserwowanym zakłóceniem w miejscu pochowania zwłok jest zmiana w składzie gatunkowym pokrywy roślinnej [56, 57] związana z zanikiem dotychczas występujących gatunków lub pojawieniem się gatunków nietypowych dla tego miejsca, co czyni je wskaźnikami grobów (*grave indicators*, *post-burial indicators*). Watson i Forbes [56] w badaniach prowadzonych na terenie pokrytym roślinnością zielną na południu Ontario (Kanada), wykazali, że miejsce pochowania zwłok oraz miejsca niezakłócone wyraźnie różnią się składem gatunkowym roślin. Na grobie pojawiły się dwa gatunki – palusznik krwawy (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.) oraz proso włosowate (*Panicum capillare* L.), które uznane zostały za wskaźniki lokalizacji grobów. Z kolei Caccianiga i in. [57] w badaniach prowadzonych na terenie otwartym pokrytym roślinnością zielną w północnych Włoszech, zauważyli, że w miejscu, w którym wykopano grób, zwiększyła się liczba gatunków ruderalnych, tj. typowych dla terenów silnie przekształconych przez człowieka. Z kolei zmniejszeniu uległa liczba gatunków odpornych na stres, takich jak: turzycza wiosenna (*Carex caryophylla* Latourr.), ożanka właściwa (*Teucrium chamaedrys* L.), czy strzęplica piramidalna (*Koeleria pyramidata* (Lam.) (P. Beauv.). Zmiany te były obserwowane zarówno w przypadku grobów pełnych, jak i pustych (kontrola). Pozwoliło to na stwierdzenie, że zasadniczym czynnikiem zakłócającym zbiorowisko roślinne w tym przypadku był sam czynnik mechaniczny – proces kopania, a nie obecność rozkładających się zwłok. Wyniki tych badań jednoznacznie wskazały na potencjał botaniki sądowej w zakresie poszukiwania ukrytych grobów. W ramach badań z zakresu ekologii roślin prowadzone są również obserwacje nad wpływem rozkładającej się na powierzchni ziemi padliny na jej bezpośrednie otoczenie. Badania te koncentrują się na poznaniu właściwości chemicznych gleby pod rozkładającą się padliną oraz zmian w składzie gatunkowym roślinności. W obserwacjach tych uwzględniany jest aspekt przestrzenny

i czasowy badanego zjawiska. Sprawdzana jest wielkość obszaru objęta zakłóceniem oraz czas potrzebny do powrotu zbiorowiska roślinnego do stanu przed wystąpieniem zakłócenia. Dotychczas przeprowadzone badania wykazały, że zmiany roślinności w miejscu rozkładu padliny eksponowanej na powierzchni gleby są wyraźne w ekosystemach o stosunkowo prostej strukturze, to jest o niskiej zwartej roślinności, takich jak preria [58] czy tundra [59], natomiast stosunkowo trudne do zaobserwowania w środowiskach o bardziej złożonej strukturze, takich jak lasy klimatu umiarkowanego [60]. Czynniki mającymi wpływ na zasięg zakłócenia okazały się wielkość padliny oraz pora roku, w której odbywał się jej rozkład. Czas potrzebny na powrót zbiorowiska roślinnego do stanu przed wystąpieniem zakłócenia okazał się różny w przypadku różnych typów ekosystemów roślinnych. Na prerii łąkowej zaburzenie struktury roślinności obserwowano do pięciu lat po wyłożeniu padliny, a w przypadku tundry utrzymywało się ono jeszcze dłużej ze względu na spowolniony rozkład padliny w warunkach niskiej temperatury.

Zastosowanie biologii molekularnej w botanice sądowej

Botanika sądowa z powodzeniem wykorzystuje narzędzia biologii molekularnej pozwalające na wiarygodną identyfikację materiału roślinnego na podstawie analiz DNA. Pierwszy w historii opis zastosowania analizy DNA roślinnego w wyjaśnieniu okoliczności przestępstwa dotyczył powiązania domniemanego sprawcy z miejscem zdarzenia. Przeprowadzona analiza wykazała, że DNA nasion drzewa, pod którym ujawniono zwłoki kobiety, było zgodne z DNA nasion znalezionych w ciężarówce podejrzanego [61]. Zastosowanie molekularnych metod identyfikacji roślin jest szczególnie użyteczne w przypadkach, gdy klasyczne metody identyfikacji, tj. bazujące na analizie cech morfologicznych, są niejednoznaczne lub gdy materiał roślinny jest szczątkowy lub zniszczony. Techniki biologii molekularnej pozwalają na szybkie i dokładne oznaczenie rośliny do określonego poziomu taksonomicznego (gatunku, rodzaju, rodziny), powiązanie części osobnika, np. liści lub nasion z osobnikiem macierzystym, oraz ustalenie jej pochodzenia geograficznego. W praktyce śledczej oznaczenie materiału botanicznego metodami molekularnymi może przyczynić się do ustalenia powiązania między miejscem zdarzenia, sprawcą i ofiarą [62] oraz wyjaśniania spraw związanych z przemytem oraz nielegalnym obrotem środkami odurzającymi i substancjami psychotropowymi [63].

W celu umożliwienia szybkiej i dokładnej identyfikacji gatunkowej opracowywane są barkody DNA [64–68]. Barkody DNA to fragmenty DNA wykazujące relatywnie małą zmienność w obrębie gatunku (zmienność wewnątrzgatunkowa) oraz znacznie wyższą

między różnymi gatunkami (zmiennosc międzygatunkowa). Ponadto fragmenty genomu będące barkodami charakteryzują się kilkoma innymi cechami, takimi jak: oflankowanie konserwatywnymi domenami pozwalającymi na zaprojektowanie starterów, niewielka długość (około 700 pz), występowanie w dużej liczbie kopii w genomie oraz stosunkowo niewielka liczba mutacji typu delekcje i insercje. W analizach molekularnych genomu roślinnego na poziomie międzygatunkowym najczęściej wykorzystywane jest DNA plastydowe ze względu na jego wysoką konserwatywność i niską zmienność wewnątrzgatunkową. Niemniej, poznanie jednej sekwencji, która spełniałaby warunki „kodu paskowego” u roślin, okazało się bardziej problematyczne niż w przypadku organizmów zwierzęcych. Różne sekwencje, zarówno DNA jądrowego (ITS1, ITS2), jak i plastydowego (trnH-psbA, trnL-trnF, rbcL, atpB, ndhF, matK) były rozważane jako barkody [67, 68]. W 2009 roku Ferri i in. [64] do identyfikacji botanicznych śladów dowodowych zaproponowali analizę dwóch regionów chloroplastowego DNA: trnH-psbA oraz trnL-trnF. W kolejnych latach ich badania uwzględniły również analizę regionu matK+rbcL [67]. Ostatecznie, na potrzeby analiz sądowych, zalekomendowano następującą kombinację regionów plastydowego DNA: rbcL+trnH-psbA [67]. Badania nad barkodami DNA roślinnego są przedmiotem intensywnych badań grupy ds. roślin (Plant Working Group) działającej w ramach Konsorcjum Barcode of Life (CBOL – The Consortium for the Barcode of Life).

W ramach botaniki sądowej intensywnie prowadzone są również badania nad polimorfizmem DNA. Fragmenty genomu charakteryzujące się dużą zmiennością wewnątrzgatunkową mogą zostać wykorzystane jako markery molekularne pełniące funkcję tzw. genetycznego odcisku palca (*genetic fingerprinting*). W praktyce oznacza to możliwość powiązania fragmentu rośliny z osobnikiem macierzystym. W badaniach nad polimorfizmem roślin wykorzystywane były różnego rodzaju techniki analiz molekularnych. Do najwcześniej stosowanych można zaliczyć metody bazujące na hybrydyzacji DNA, jak np. polimorfizm długości fragmentów restrykcyjnych (RFLP – Restriction Fragment Length Polymorphism) [69]. Zasadnicze zastosowanie w badaniach nad polimorfizmem DNA roślinnego mają jednak techniki bazujące na reakcji PCR, skierowane na amplifikację jednego lub wielu fragmentów genomu. Jak podają Nybom i in. [69], w latach 2006–2009 przy identyfikacji polimorfizmu DNA roślinnego najczęściej wykorzystywano mikrosatelitarny polimorfizm krótkich tandemowych powtórzeń (SSR – Simple Sequence Repeats). Markery SSR znalazły zastosowanie w badaniach, których wyniki przedstawiono w 36% artykułów, jakie ukazały się w tym czasie. Częsty wybór markerów SSR w badaniach polimorfizmu wynika z faktu, że dobrze sprawdzają się one w pracy ze zniszczonym DNA, a sama analiza nie

jest czasochłonna. Przykładowo, wysoki stopień polimorfizmu sekwencji mikrosatelitarnych DNA jądrowego, analizowanych pod kątem potrzeb dowodowych wymiaru sprawiedliwości, wykazano dla gatunków z rodzaju *Quercus* [62] oraz gatunku *Aquillaria crassna* Pierre ex Lecomte [70]. Innymi technikami wykrywania polimorfizmu DNA roślinnego zaliczonymi przez Nyboma i in. [69] do często stosowanych są: losowa amplifikacja polimorficznego DNA (RAPD – Random Amplification of Polymorphic DNA), którą zastosowano w 27% analizowanych artykułów, polimorfizm sekwencji międzymikrosatelitarnych (ISSR – Inter Simple Sequence Repeats) (13%) oraz polimorfizm długości amplifikowanych fragmentów (AFLP – Amplified Fragment Length Polymorphism) (11%).

Od 2005 roku w badaniach nad polimorfizmem stosowane jest tzw. sekwencjonowanie nowej generacji (NGS – New Generation Sequencing). Mianem NGS określa się różne techniki sekwencjonowania wysokoprzepustowego DNA, które pozwalają na analizę nawet całych genomów. Przykładem może być technika genotypowania przez sekwencjonowanie (GBS – Genotyping by Sequencing) oraz wieloskalowe sekwencjonowanie metodą RAD tag (Restriction Site Associated DNA Tags). Popularne jest również stosowanie polimorfizmu pojedynczych nukleotydów (SNP – Single Nucleotide Polymorphism), a markery SNP zostały poznane dla większości gatunków roślin uprawnych [69]. Na popularności zyskuje również metoda metabarkodingu DNA pozwalająca na jednoczesną identyfikację genomu wielu różnych organizmów (bakterii, pierwotniaków, roślin, grzybów, zwierząt) obecnych w analizowanych próbach, np. glebowych [71].

Obiektem szczególnego zainteresowania botaniki sądowej w kontekście zastosowania narzędzi biologii molekularnej do identyfikacji są między innymi rośliny występujące powszechnie, a więc będące potencjalnie częstym materiałem dowodowym, jak np. rdest ptasi (*Polygonum aviculare* L.) [72] czy trawy [73] oraz te, które z uwagi na specyficzne właściwości – narkotyczne lub użytkowe – mogą stać się przedmiotem nielegalnego handlu. W takich przypadkach konieczne staje się odróżnienie osobników roślin pochodzących z legalnego źródła od tych będących przedmiotem przemytu, co wiąże się z określeniem obszaru geograficznego, z którego pochodzą. Osobniki tego samego gatunku występujące w odmiennych rejonach geograficznych mogą wykazywać różnice w genomie i właśnie analiza polimorfizmu umożliwia wyszukanie tych różnic.

Dotychczas gatunkiem, któremu poświęcono szczególnie dużo uwagi w zakresie identyfikacji molekularnej, są konopie siewne (*Cannabis sativa* L.) [74–77]. Przedmiotem badań były również odmiany roślin uprawnych mające walory istotne pod względem ekonomicznym i/lub zarejestrowane jako chroniona nazwa pochodzenia (PDO), np. odmiany truskawki [78],

winogron [79], oliwek [80] czy ryżu [81]. W obszarze zainteresowania botaniki sądowej są również rośliny ograniczone swoim występowaniem do ściśle określonych obszarów kuli ziemskiej, które mogą stać się przedmiotem przemytu z uwagi na ich zastosowanie w medycynie tradycyjnej, np. *Aquilaria crassna* Pierre ex Lecomte [70].

Zastosowanie metod botaniki sądowej w praktyce śledczej

Procedura zastosowania botaniki sądowej w praktyce śledczej obejmuje kilka etapów: 1) ujawnienie śladu botanicznego, 2) zabezpieczenie śladu botanicznego, 3) identyfikacja zebranego materiału, 4) ustalenie powiązania śladu botanicznego z okolicznościami zdarzenia. Pierwsze dwa etapy są często jednymi z bardziej problematycznych, co związane jest bezpośrednio z doświadczeniem osoby dokonującej ujawnienia i zabezpieczenia śladu botanicznego, którą może być biegły sądowy w zakresie botaniki lub technik kryminalistyki. Optymalne dla powodzenia postępowania śledczego jest powołanie na miejsce zdarzenia biegłego botanika sądowego, który reprezentuje nie tylko wiedzę czysto akademicką, ale ma umiejętność rozpoznawania istotnych z punktu widzenia śledztwa śladów botanicznych. Ta ostatnia kwestia jest często zasadniczą trudnością, ponieważ materiał botaniczny może być mikroskopijnej wielkości, a więc niezauważalny dla oka, czego najlepszym przykładem są ziarna pyłku. Ujawnienie takich śladów wymaga zarówno świadomości możliwości ich pojawienia się na miejscu zdarzenia, jak i znajomości technik ich zabezpieczania. Jak wynika z dotychczasowej praktyki, biegły botanik sądowy jest rzadko powoływany na miejsce zdarzenia, a taka procedura jest praktykowana tylko w niewielu krajach. Ujawnienia i zabezpieczenia śladu botanicznego może dokonywać także technik kryminalistyki, jednak powinien on odbyć podstawowe szkolenie w zakresie botaniki. Szkolenie takie powinno obejmować podstawowe zagadnienia z zakresu budowy, rozwoju i ekologii roślin, sposobu w jaki materiał botaniczny może być powiązany z miejscem zdarzenia, osobami i przedmiotami oraz metody jego zabezpieczania. Umiejętne zabezpieczenie materiału botanicznego jest warunkiem koniecznym do jego dalszego wykorzystania, a ponadto umożliwia jego przechowywanie przez dłuższy okres i wykorzystanie nawet po wielu latach od momentu ujawnienia. Szybki rozwój nauki powoduje, że stale opracowywane są nowe narzędzia i metody pozwalające na wykorzystywanie śladów biologicznych różnego pochodzenia pod kątem dowodowym. Oznacza to, że ślad biologiczny, który przy obecnym stanie wiedzy nie może zostać powiązany z okolicznościami zdarzenia, może stać się użyteczny w aspekcie dowodowym w przyszłości. Jednym z podstawowych błędów popełnianych przy

zabezpieczaniu śladów botanicznych jest dopuszczenie do ich zanieczyszczenia. W przypadkach wykorzystywania materiału botanicznego do wykazania powiązania między osobami i miejscami, jego zanieczyszczenie automatycznie uniemożliwia przeprowadzenia dalszego wnioskowania.

Kolejnym etapem pracy botanika sądowego jest identyfikacja zebranego materiału do możliwie najniższego poziomu taksonomicznego, którym w większości przypadków jest poziom gatunku. Analiza śladów botanicznych może się jednak zakończyć identyfikacją do poziomu rodziny lub rodzaju. Pojawienie się tego typu trudności może mieć różne przyczyny. Po pierwsze, zabezpieczony materiał może reprezentować rośliny trudne do oznaczania jedynie na podstawie cech morfologicznych. W przypadku, gdy zabezpieczony zostanie jedynie fragment rośliny, np. liść lub łodyga, oznaczenie może być trudne lub niemożliwe ze względu na brak struktur, na podstawie których możliwa jest pełna identyfikacja. Trudności związane z identyfikacją śladów botanicznych mogą być spowodowane również ich nieprawidłowym zabezpieczeniem, co skutkuje ich zniszczeniem i niemożliwością wykorzystania w dalszych analizach. W przypadkach pojawienia się trudności w prawidłowym oznaczaniu materiału roślinnego klasycznymi metodami taksonomicznymi, pomocne okazują się metody biologii molekularnej.

Podsumowanie

Wiedza o roślinach może być użyteczna w ustaleniu powiązania między miejscem zdarzenia, ofiarą i domniemanym sprawcą. Metody botaniki sądowej pozwalają na identyfikację miejsca zdarzenia, wykrycie sprawcy, ustalenie czasu i przyczyny zgonu, odróżnienie miejsca zgonu od miejsca ujawnienia zwłok, wyjaśnienie okoliczności zbrodni wojennych oraz okoliczności przemytu gatunków roślin i zwierząt. Niemniej, jak wielokrotnie podkreślano w literaturze fachowej, botaniczny materiał dowodowy jest ciągle jedynie w znikomym stopniu wykorzystywany w postępowaniu śledczym. Wprawdzie w ostatnich latach pojawiło się wiele prac o charakterze przeglądowym, metodycznym oraz dokumentujących konkretne przypadki zastosowania metod botaniki sądowej w praktyce, jednak niewiele jest oryginalnych prac dających podstawy do wykorzystania roślin w postępowaniu śledczym. Przede wszystkim brakuje wiedzy na temat tego, jak materiał botaniczny zachowuje się w różnych warunkach i w jaki sposób może być powiązany z okolicznościami zdarzenia. Ta informacja jest niezbędna do wykorzystania materiału roślinnego pod kątem dowodowym. Najdłuższą historię w wyjaśnianiu okoliczności przestępstw mają palinologia oraz anatomia roślin, ze szczególnym uwzględnieniem dendrochronologii. Stan wiedzy w zakresie palinologii sądowej można uznać za najbardziej zaawansowany spośród

różnych dyscyplin botaniki sądowej, czego dowodem są liczne prace o charakterze przeglądowym. Duży potencjał, zwłaszcza w zakresie potwierdzania utonięcia jako przyczyny zgonu, mają metody oferowane przez diatomologię sądową. Zarówno w przypadku palinologii, jak i diatomologii przyszłe badania powinny koncentrować się na opracowaniu baz danych i kolekcji referencyjnych, z których będzie można korzystać przy wnioskowaniu na potrzeby śledztwa. Stworzenie tego typu zasobów musi być jednak poprzedzone badaniami z zakresu ekologii i rozmieszczenia roślin oraz glonów. Szybki rozwój metod biologii molekularnej w ostatnich latach doprowadził do opracowania nowych narzędzi identyfikacji gatunkowej, które okazały się przydatne w kryminalistyce do szybkiego i dokładnego rozpoznania przynależności taksonomicznej, a nawet osobniczej materiału roślinnego.

Zasadniczą przeszkodą w stosowaniu metod botaniki sądowej pod kątem dowodowym na szerszą skalę wydaje się brak świadomości istnienia śladów botanicznych u osób zaangażowanych w proces śledczy. Tylko świadomość możliwości ich występowania na miejscu zdarzenia może doprowadzić do ich zabezpieczenia. Problemem wydaje się także stosunkowo niewielka liczba biegłych z zakresu botaniki sądowej. Może być ona spowodowana brakiem chęci przeprowadzania ekspertyz, kwestiami natury finansowej, jak również słabą współpracą z organami uprawnionymi do prowadzenia śledztwa. Należy mieć również na uwadze, że wyniki uzyskane w efekcie analizy materiału botanicznego muszą być interpretowane w kontekście całego procesu śledczego, tj. przy uwzględnieniu pozostałych materiałów dowodowych. Optymalne dla powodzenia śledztwa jest równoległe zastosowanie technik analizy różnorodnego materiału dowodowego. Jak bowiem pokazuje praktyka, podejście interdyscyplinarne w wyjaśnianiu okoliczności przestępstw daje najlepsze efekty.

Autorzy artykułu składają podziękowania anonimowemu recenzentowi oraz dr Elizie Głowskiej (Zakład Morfologii Zwierząt, UAM) i dr hab. Szymonowi Matuszewskiemu (Pracownia Kryminalistyki, UAM) za cenne uwagi dotyczące manuskryptu.

Źródła rycin

Ryc. 1: Łukasz Grewling

Ryc. 2: Mikołaj Kokociński

Bibliografia

1. Bryant V.M., Mildenhall D.C.: Forensic palynology: A new way to catch crooks; In: Bryant V.M., Wrenn J.W. (eds.), New developments in palynomorph sampling, extraction, and analysis. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Contributions Series Number 1998, 33: 145.
2. Coyle H.M., Ladd C., Palmbach T., Lee H.C.: The green revolution: botanical contributions to forensics and drug enforcement, Croatian Medical Journal 2001, 42: 340.
3. Coyle H.M., Lee C. L., Lin W.Y., Lee H. C., Palmbach T. M.: Forensic botany: using plant evidence to aid in forensic death investigation, Croatian Medical Journal 2005, 46: 606.
4. Mildenhall D.C., Wiltshire P.E.J., Bryant V.M.: Forensic palynology: Why do it and how it works, Forensic Science International 2006, 163: 163.
5. Wiltshire P.E.J.: Consideration of some taphonomic variables of relevance to forensic palynological investigation in the United Kingdom, Forensic Science International 2006, 163: 173.
6. Walsh K.A.J., Horrocks M.: Palynology: its position in the field of forensic science, Journal of Forensic Sciences 2008, 53: 1053.
7. Pollanen M.S.: Diatoms and homicide. Forensic Science International 1998, 91: 29.
8. Mildenhall D.C. *Hypericum* pollen determines the presence of burglars at the scene of a crime: An example of forensic palynology Forensic Science International 2006, 163: 231.
9. Cardoso H.F.V., Santos A., Dias R., Garcia C., Pinto M., Sérgio C. Magalhães T.: Establishing a minimum postmortem interval of human remains in an advanced state of skeletonization using the growth rate of bryophytes and plant roots, International Journal of Legal Medicine 2010, 124: 451.
10. Mildenhall D.C.: An unusual appearance of a common pollen type indicates the scene of the crime, Forensic Science International, 2006, 163: 236.
11. Wiltshire P.E.J.: Hair as a source of forensic evidence in murder investigations, Forensic Science International 2006, 163: 241.
12. Morgan R.M., Wiltshire P., Parker A., Bull P.A.: The role of forensic geoscience in wildlife crime detection, Forensic Science International 2006, 162: 152.
13. Brown A.G.: The use of forensic botany and geology in war crimes investigations in NE Bosnia, Forensic Science International 2006, 163: 204.
14. Bull P.A., Parker A., Morgan R.M.: The forensic analysis of soil and sediment taken from the cast of a footprint, Forensic Science International 2006, 162: 6.
15. Coyle H.M. Forensic botany: Principles and applications to criminal casework, Taylor Francis Inc. 2004, United States.

16. Hall D.W., Byrd J.: *Forensic botany: A practical guide*, Wiley-Blackwell 2012, United Kingdom.
17. Roberts J., Marquez-Grant N.: *Forensic ecology handbook: from crime scene to court*, Wiley-Blackwell 2012, United Kingdom.
18. Tomaszewska M., Włodarczyk Z., Szeląg M., Sotyszewski I.: Ślady pochodzenia botanicznego w ekspertyzach kryminalistycznych, *Problemy Kryminalistyki* 2003, 242: 16.
19. Hołyst B.: *Kryminalistyka*, LexisNexis, Warszawa 2010.
20. Grzybowski T.: Roślinny dowód, czyli rzecz o botanice sądowej, *Genetyka i Prawo* 2010, 1: 10.
21. Skonieczna K.: Roślina prawdę Ci powie..., *Genetyka i Prawo* 2010, 1: 4.
22. Locard E.: The analysis of dust traces (second part), *The American Journal of Police Science* 1930, 1: 401.
23. Erdtman G.: *Handbook of palynology: Morphology – Taxonomy – Ecology. An introduction to the study of pollen grains and spores*, Hafner Publishing Co., New York 1969.
24. Boi M.: Pollen attachment in common materials, *Aerobiologia* 2015, 31: 261.
25. Horrocks M., Coulson S.A., Walsh K.A.J.: Forensic palynology: variation in the pollen content of soil on shoes and in shoeprints in soil, *Journal of Forensic Sciences* 1999, 44: 119.
26. Montali E., Mercuri A.M., Grandi G. T., Accorsi C.A.: Towards a „crime pollen calendar” – pollen analysis on corpses throughout one year, *Forensic Science International* 2006, 163: 211.
27. Wiltshire P.E.J., Black S.: The cribriform approach to the retrieval of palynological evidence from the turbinates of murder victims, *Forensic Science International* 2006, 163: 224.
28. More S., Thapa K.K., Bera S.: Potential of dust and soot from air-filters of motor vehicle engines as a forensic tool: first experimental palynological approach in India, *Journal of Forensic Research*, 2013, 4: doi: 10.4172/2157-7145.1000177.
29. Morgan R.M., Davies G., Balestri F., Bull P.A.: The recovery of pollen evidence from documents and its forensic implications, *Science & Justice* 2013, 53: 375.
30. Morgan R.M., Allen E., King T., Bull P.A.: The spatial and temporal distribution of pollen in a room: forensic implications, *Science & Justice* 2014, 54: 49.
31. Morgan R.M., Flynn J., Sena V., Bull P.A.: Experimental forensic studies of the preservation of pollen in vehicle fires, *Science & Justice* 2014, 54: 141.
32. Bryant V.M., Jones G.D.: Forensic palynology: current status of a rarely used technique in the United States of America, *Forensic Science International* 2006, 163: 183.
33. Wiltshire P.E.J., Hawksworth D.L., Webb J.A., Edwards K.J.: Palynology and mycology provide separate classes of probative evidence from the same forensic samples: A rape case from southern England, *Forensic Science International* 2014, 244: 186.
34. Szczepanek K.: Wytwarzanie i rozprzestrzenianie spor i ziaren pyłku, [w:] Dybowa-Jachowicz S.I., Sadowska A., *Palinologia* (red.), Instytut Botaniki im. W. Szafera, PAN, Kraków 2003.
35. Horrocks M., Walsh K.A.J.: Forensic palynology: assessing the value of the evidence, *Review of Palaeobotany and Palynology* 1998, 103: 69.
36. Mathewes R.W.: Forensic palynology in Canada: an overview with emphasis on archaeology and anthropology. *Forensic Science International* 2006, 163: 198.
37. Szibor R., Schubert C., Schöning R., Krause D., Wendt U.: Polen analysis reveals murder season, *Nature* 1998, 395: 449.
38. Mildenhall D.C.: Civil and criminal investigations. The use of spores and pollen, *SIAK-Journal-Zeitschrift für Polizeiwissenschaft und polizeiliche Praxis* 2008, 4: 35.
39. Jantunen J., Saarinen K.: Pollen transport by clothes, *Aerobiologia* 2011, 27: 339.
40. Bruce R.G., Dettmann M.E.: Palynological analyses of Australian surface soils and their potential in forensic science, *Forensic Science International* 1996, 81: 77.
41. Ludes B., Coste M., North N., Doray S., Tracqui A., Kintz P.: Diatom: analysis in victim's tissues as an indicator of the site of drowning, *International Journal of Legal Medicine* 1999, 112: 163.
42. Siver P.A., Lord W.D., McCarthy D.J.: Forensic limnology: The use of freshwater algal community ecology to link suspects to an aquatic crime scene in Southern New England, *Journal of Forensic Sciences* 1994, 39: 847.
43. Uitdehaag S., Dragutinovic A., Kuiper I.: Extraction of diatoms from (cotton) clothing for forensic comparisons, *Forensic Science International* 2010, 200: 112.
44. Gruspier K.L., Pollanen M.S.: Limbs found in water: investigation using anthropological analysis and the diatom test, *Forensic Science International* 2000, 112: 1.
45. Kumar A., Malik M., Kadian A.: Role of diatom test in forensic science for examination of drowning cases, *Report and Opinion* 2011, 3: 1.
46. Krstic S., Duma A., Janevska B., Levkov Z., Nikolova K., Noveska M.: Diatoms in forensic expertise of drowning – a Macedonian experience, *Forensic Science International* 2002, 127: 198.
47. Casamatta D.A., Verb R.G.: Algal colonization of submerged carcasses in a mid-order woodland stream, *Journal of Forensic Sciences* 2000, 45: 1280.

48. Zimmerman K.A., Wallace J.R.: The potential to determine a postmortem submersion interval based on algal/diatom diversity on decomposing mammalian carcasses in brackish ponds in Delaware, *Journal of Forensic Sciences* 2008, 53: 935.
49. Díaz-Palma P.A., Alucema A., Hayashida G., Maidana N.I.: Development and standardization of a microalgae test for determining deaths by drowning, *Forensic Science International* 2009, 184: 37.
50. Hu S., Liu C., Wen J., Dai W., Wang S., Su H., Zhao J.: Detection of diatoms in water and tissues by combination of microwave digestion, vacuum filtration and scanning electron microscopy, *Forensic Science International* 2013, 226: e48.
51. Scott K.R., Morgan R.M., Jones V.J., Cameron N.G.: The transferability of diatoms to clothing and the methods appropriate for their collection and analysis in forensic geoscience, *Forensic Science International* 2014, 241: 127.
52. Seo Y., Ichida D., Sato S., Kuroki K., Kishida T.: An improved method for the diatom test utilizing DNA binding ability of silica, *Journal of Forensic Sciences* 2014, 59: 779.
53. Seo Y., Sato S., Kuroki K., Kishida T.: A simple DNA coprecipitation method for the detection of diatoms in heart blood, *Forensic Science International* 2013, 232: 154.
54. Lancia M., Conforti F., Aleffi M., Caccianiga M., Bacci M., Rossi R.: The use of *Leptodictium riparium* (Hedw.) Warnst in the estimation of minimum postmortem interval, *Journal of Forensic Sciences* 2013, 58: 239.
55. Virtanen V., Korpelainen H., Kostamo K.: Forensic botany: Usability of bryophyte material in forensic studies, *Forensic Science International* 2007, 172: 161.
56. Watson C.J., Forbes S.L.: An investigation of the vegetation associated with grave sites in southern Ontario, *Canadian Society of Forensic Science Journal* 2008, 41:199.
57. Caccianiga M., Bottacin S., Cattaneo C.: Vegetation dynamics as a tool for detecting clandestine graves, *Journal of Forensic Sciences* 2012, 57: 983.
58. Towne E.G.: Prairie vegetation and soil nutrient responses to ungulate carcasses, *Oecologia* 2000, 122: 232.
59. Danell K., Berteaux D., Bråthen K.A.: Effect of Muskox carcasses on nitrogen concentration in Tundra vegetation, *Arctic* 2002, 55: 389.
60. Melis C., Selva N., Teurlings I., Skarpe C., Linnell J. D. C., Andersen R.: Soil and vegetation nutrient response to bison carcasses in Białowieża Primeval Forest, Poland, *Ecological Research* 2007, 22: 807.
61. Yoon C.K.: Forensic science. Botanical witness for the prosecution, *Science* 1993, 260: 894.
62. Craft K.J., Owens J.D., Ashley M.V.: Application of plant DNA markers in forensic botany: genetic comparison of *Quercus* evidence leaves to crime scene trees using microsatellites, *Forensic Science International* 2007, 165: 64.
63. Ogata J., Uchiyama N., Kikura-Hanajiri R., Goda Y.: DNA sequence analyses of blended herbal products including synthetic cannabinoids as designer drugs, *Forensic Science International* 2013, 227: 33.
64. Ferri G., Alù M., Corradini B., Beduschi G.: Forensic botany: species identification of botanical trace evidence using a multigene barcoding approach, *International Journal of Legal Medicine* 2009, 123: 395.
65. Bruni I., De Mattia F., Galimberti A., Galasso G., Banfi E., Casiraghi M., Labra M.: Identification of poisonous plants by DNA barcoding approach, *International Journal of Legal Medicine* 2010, 124: 595.
66. Ferri G., Corradini B., Alù M.: Capillary electrophoresis of multigene barcoding chloroplast markers for species identification of botanical trace evidence, *Methods in Molecular Biology* 2012, 830: 253.
67. Ferri G., Corradini B., Ferrari F., Santunione A.L., Palazzoli F., Alù M.: Forensic botany II, DNA barcode for land plants: Which markers after the international agreement? *Forensic Science International Genetics* 2015, 15: 131.
68. Li X., Yang Y., Henry R. J., Rossetto M., Wang Y., Chen S.: Plant DNA barcoding: from gene to genom, *Biological Reviews* 2015, 90: 157.
69. Nybom H., Weising K., Rotter B.: DNA fingerprinting in botany: past, present, future, *Investigative Genetics* 2014, 5:1.
70. Eurlings M.C., van Beek H.H., Gravendeel B.: Polymorphic microsatellites for forensic identification of agarwood (*Aquilaria crassna*), *Forensic Science International* 2010, 197: 30.
71. Giampaoli S., Berti A., Di Maggio R. M., Pilli E., Valentini A., Valeriani F., Gianfranceschi G., Barni F., Ripani L., Romano Spica V.: The environmental biological signature: NGS profiling for forensic comparison of soils, *Forensic Science International* 2014, 240: 41.
72. Koopman W.J.M., Kuiper I., Klein-Geltink D.J.A., Sabatino G.J.H., Smulders M.J.M.: Botanical DNA evidence in criminal cases: Knotgrass (*Polygonum aviculare* L.) as a model species, *Forensic Science International Genetics* 2012, 6: 366.
73. Ward J., Peakall R., Gilmore S. R., Robertson J.: A molecular identification system for grasses:

- a novel technology for forensic botany, *Forensic Science International* 2005, 152: 121.
74. Hsieh H.M., Liu C.L., Tsai L.C., Hou R.J., Liu K.L., Linacre A., Lee J. C.: Characterization of the polymorphic repeat sequence within the rDNA IGS of *Cannabis sativa*, *Forensic Science International* 2005, 152: 23.
75. Jagadish V., Robertson J., Gibbs A.: RAPD analysis distinguishes *Cannabis sativa* samples from different sources, *Forensic Science International* 1996, 79: 113.
76. Linacre A., Thorpe J.: Detection and identification of cannabis by DNA, *Forensic Science International* 1998, 91: 71.
77. Hsieh H.M., Hou R.J., Tsai L.C., Wei C.S., Liu S.W., Huang L.H., Kuo Y.C., Linacre A., Lee J.C.: A highly polymorphic STR locus in *Cannabis sativa*, *Forensic Science International* 2003, 131: 53.
78. Congiu L., Chicca M., Cella R., Rossi R., Bernacchia G.: The use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers to identify strawberry varieties: a forensic application, *Molecular Ecology* 2000, 9: 229.
79. Rodríguez-Plaza P., González R., Moreno-Arribas M.V., Polo M.C., Bravo G., Martínez-Zapater J.M., Martínez M. C., Cifuentes A.: Combining microsatellite markers and capillary gel electrophoresis with laser-induced fluorescence to identify the grape (*Vitis vinifera*) variety of musts, *European Food Research Technology* 2006, 223: 625.
80. Martins-Lopes P., Gomes S., Santos E., Guedes-Pinto H.: DNA markers for Portuguese olive oil fingerprinting, *Journal of Agricultural Food Chemistry* 2008, 56: 11786.
81. Archak S., Lakshminarayanareddy V., Nagaraju J.: High-throughput multiplex microsatellite marker assay for detection and quantification of adulteration in Basmati rice (*Oryza sativa*), *Electrophoresis* 2007, 28: 2396.