



Ryc. 17. Współczesne zwierzę elektroniczne – pies Aibo (źródło: [http://www.asimo.pl/image/galerie/aibo/aibo\\_02.jpg](http://www.asimo.pl/image/galerie/aibo/aibo_02.jpg), dostęp lipiec 2011).

■ Prof. zw. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz, Prezes Krakowskiego Oddziału PAN, Kierownik Katedry Automatyki AGH, Absolwent AGH 1971, informatyk, automatyk, biocybernetyk. W latach 1998–2005 Rektor AGH. Doktor Honoris Causa 12 uczelni krajowych i zagranicznych. Pełne dane: [www.Tadeusiewicz.pl](http://www.Tadeusiewicz.pl)

## WIEŚCI ZE ŚWIATA FEROMONÓW LUDZKICH

Agata Miska (Kraków)

Węch jest jednym z podstawowych zmysłów biorących udział w komunikacji międzygatunkowej i wewnątrzgatunkowej. Istotną rolę odgrywa u organizmów żyjących w środowisku słabo oświetlonym lub prowadzących nocny tryb życia. Węch u ssaków służy do odszukiwania pokarmu, identyfikacji osobników, ustalenia hierarchii socjalnej w populacji, sygnalizacji niebezpieczeństwa i orientacji w terenie. Bódcze węchowe biorą także udział w regulacji rozrodu, umożliwiając między innymi identyfikację płci, stymulację układu hormonalnego osobników przeciwnej płci, dobór płciowy, a także komunikację między matką a potomstwem. Wśród bodźców węchowych na szczególną uwagę zasługują feromony.

Słowo „feromon” wywodzi się z języka greckiego. Jest połączeniem słów *pherein* oznaczającego przekazywanie, oraz *harmao* oznaczającego pobudzanie. Feromony są to związki chemiczne lub mieszaniny kilku substancji, które produkowane i wydzielane przez jednego osobnika, stymulują układ węchowy innego osobnika tego samego gatunku. U biorcy wywołują określoną reakcję behawioralną bądź hormonalną. Pierwsze badania dotyczące efektów działania tych związków były prowadzone przez Piotra Karlsona i Martina Lúchera w 1959 roku na bezkręgowcach i potem lawinowo rozpoczęły się badania na kręgowcach, a w szczególności na gryzoniach. Według Karlsona i Lúchera feromonem jest „substancja wydzielana przez jednego osobnika a odbierana przez drugiego osobnika tego samego gatunku, efektem

Aibo jest autonomiczny, odczuwa swoje środowisko oraz jest w stanie uczyć się podobnie jak dojrzewający pies. Pierwszy model pojawił się 1999 r. Za projekt wyglądu zewnętrznego robota odpowiedzialny był artysta Hajime Sorayama, a dźwięki wydawane przez Aibo zostały stworzone przez japońskiego kompozytora Nobukazu Takemure. Niestety na początku roku 2006 koncern Sony ogłosił oficjalnie rezygnację z prac nad nowymi wersjami elektronicznego psa Aibo, oraz zaprzestanie jego sprzedaży. Ale innych elektronicznych zwierząt na rynku nie brakuje, chociaż żadne z tych urządzeń nie będzie nigdy tak sławne, jak opisane wyżej żółwie Greya Waltera.

czego jest specyficzna reakcja behawioralna, czy rozwojowa”.

Wśród gryzoni, szczególnie dużo uwagi poświęcono myszy laboratoryjnej. Obserwowano między innymi reakcję na zapachy zwierząt tej samej jak i przeciwnej płci, osobników spokrewnionych i niespokrewnionych. Wykazano, iż samiec myszy mając do wyboru zapach samicy rujowej i nierujowej, wybiera samicę w rui, co więcej wykazuje wyraźne preferencję wobec samic niespokrewnionych, co w konsekwencji prowadzi do zróżnicowania genetycznego potomstwa. Jak czuły jest węch w doborze partnera świadczą wyniki Yamazaki (1991). Samce szczepu wsobnego mając do wyboru samice tego samego szczepu i samice ze szczepu kongenicznego, różniącego się od genotypu samców tylko jednym allelem w kompleksie MHC, wybierają te o różnym genotypie od własnego. U młodych samic myszy pierwsza ruja pojawia się około 35 dnia życia, natomiast u samic poddanych działaniu substancji zapachowych dorosłego samca pierwsza ruja pojawia się znacznie wcześniej, bo około 28 dnia życia. Substancje zapachowe regulują także cykl estralny samic; te produkowane przez samce skracają cykl, a te produkowane przez samice przyspieszają – szczególnie u zwierząt hodowanych w zagęszczeniu.

Zapach emitowany przez osobniki jest efektem współpracy genów, stanu hormonalnego danego osobnika oraz rodzaju spożywanego pokarmu. Feromony są produkowane pod ścisłą kontrolą hormonów

sterydowych. Wydzielane są wraz z moczem, kałem, śliną oraz wydzielinami gruczołów skórnych.

Człowieka od dawien dawna interesowało czy u ludzi również zachodzą oddziaływania substancji zapachowych typu feromonalnego, oraz czy można stwierdzić efekty działania feromonów analogicznie do tych opisanych dla zwierząt. Badano ewentualne oddziaływania substancji zapachowych osób jednej płci jak i przeciwnych płci, a także relację pomiędzy matką a potomstwem. Zauważono, iż w kontaktach pomiędzy:

- *noworodkiem a matką*; noworodki już zaraz po urodzeniu są zdolne do rozpoznawania zapachów; niemowlęta odwracają głowę w stronę zapachu matki. Dzieci kobiet, którym podczas ciąży podawano anyż z jedzeniem i napojami, wykazywały pozytywną reakcję na zapach anyżu, w przeciwieństwie do pozostałych noworodków, dla których ten zapach był odpychający. Podobna reakcja została opisana w przypadku zapachu mleka naturalnego i syntetycznego gdzie noworodki rozróżniały dwa zapachy mleka.
- *matką a noworodkiem*; matka rozpoznaje po zapachu swoje dziecko. To właśnie ten zapach jest uważany przez wielu badaczy za źródło miłości macierzyńskiej.

Badania opierające się na kontaktach pomiędzy kobietami i mężczyznami wykazały, iż:

- w relacji między *mężczyzną a kobietą*; mężczyźni wydzielający z potem większą ilość androstenolu (potencjalnie główny feromon męski) posiadają większe powodzenie u kobiet. Poza tym, istotnym czynnikiem w wyborze partnera jest główny układ zgodności tkankowej (MHC - *Major Histocompatibility Complex*). Geny MHC odgrywają istotną rolę w układzie immunologicznym (prezentują obce antygeny limfocytom T) oraz w układzie olfaktorycznym (determinują zapach danego osobnika), charakteryzują się dużą zmiennością. Geny kodujące ten kompleks u człowieka znajdują się na 6 chromosomie. Udowodniono, iż zapachy wydzielane przez mężczyzn o jak najbardziej odmiennych genach MHC są bardziej atrakcyjne dla kobiet, niż te wydzielane przez mężczyzn o zbliżonych genach MHC. W konsekwencji powoduje to duże różnicowanie tych genów u potomstwa.

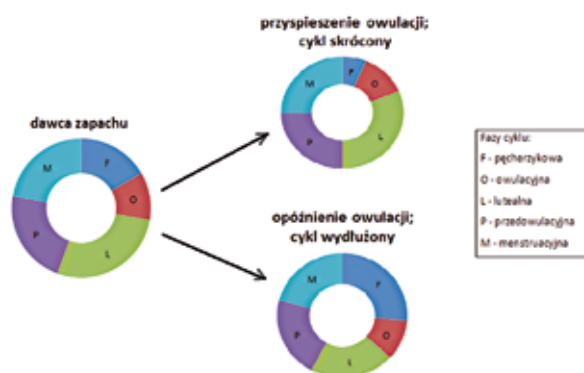
Ponadto, uważa się również, iż substancje zapachowe wydzielane przez mężczyzn wpływają na przyspieszenie dojrzewania płciowego dziewcząt jak również determinują po części zachowanie kobiet. Pacjentki gabinetu stomatologicznego mając do wyboru w poczekalni krzesło czyste i oznakowane

androstenolem, wybierały to, które zostało wcześniej oznaczone potencjalnie męskim feromonem.

- w relacji między *kobietą a mężczyzną* zauważono, że kobiety badane w różnych fazach cyklu menstruacyjnego wydają się być dla mężczyzn w różnym stopniu atrakcyjne; najbardziej atrakcyjne są te w okresie owulacji i tuż przed nim, natomiast najmniej w czasie menstruacji, za co odpowiedzialne są prawdopodobnie feromony. Prawdopodobnym jest również, że to właśnie feromony wzmagają przywiązanie mężczyzny do kobiety w okresie ciąży. Substancjami odbieranymi przez mężczyzn są najprawdopodobniej estrogeno-podobne steroidy, które zidentyfikowano między innymi w moczu kobiet.

Badania pomiędzy osobami jednej płci wykazują, iż:

- w relacjach pomiędzy *kobietą a kobietą* obserwuje się synchronizację cykli menstruacyjnych, szczególnie wśród kobiet przebywających razem w tym samym miejscu i w tym samym czasie. Istotnym czynnikiem jest fakt wspólnego uprawiania sportu, gdyż przy tej okazji następuje wzmożona produkcja potu. Podobnie jak u mężczyzn, pot wydaje się mieć najistotniejsze znaczenie w przekazywaniu feromonów. Zjawisko to zostało opisane przez M. McClintock (1971). U kobiet, którym dostarczano do wąchania wyekstraktowane substancje chemiczne z potu innych kobiet w fazie folikularnej (przedowulacyjnej) zaobserwowano skracanie cyklu menstruacyjnego, natomiast u kobiet, którym dostarczano zapach kobiet z okresu owulacji cykle wydłużały się. Należy zaznaczyć, iż wydłużeniu lub skróceniu ulegała tylko i wyłącznie faza przedowulacyjna cyklu (Ryc. 1). Efekt synchronizacji zależy w znacznym stopniu od fazy cyklu w której jest kobieta – dawca zapachu.



Ryc. 1. Regulacja cyklu menstruacyjnego u ludzi.

- w relacji pomiędzy *mężczyzną a mężczyzną* zauważono, iż substancje zapachowe typu

feromonalnego mogą wzmacniać agresję, lub wymuszać uległość wobec innych mężczyzn.

Substancje zapachowe percepcyjne są przez układ węchowy. U człowieka główny narząd węchowy rozpoczyna się receptorami zlokalizowanymi w nabłonku wyściełającym jamę nosową. Zajmuje przeciętnie powierzchnię od 2 do 5 cm<sup>2</sup>. W nabłonku węchowym oprócz komórek receptorowych dominują trzy typy komórek: podstawowe, neurony czuciowe z rzęskami oraz komórki podporowe. Nabłonek pokryty jest śluzem produkowanym przez gruczoł Bowmana. W śluzie tym substancje zapachowe ulegają rozpuszczeniu i są odbierane przez białkowe receptory na rzęskach czuciowych neuronów.



Ryc. 2. Autor: Marcin Kacper Miska.

cDNA kodujące receptory węchowe zidentyfikowano pod koniec ubiegłego wieku. Określono ponad 1000 genów rodziny receptorów węchowych (RW) w pełni funkcjonalnych u myszy i szczura oraz około 350 u człowieka. Ponadto ludzki genom posiada około 500 pseudogenów RW zawierających mutacje uniemożliwiające tworzenie prawidłowych receptorów węchu. W każdym receptorze węchowym ekspresji ulega tylko jeden losowy gen RW w wyniku, czego jest produkowane białko. Ekspresja pozostałych genów zostaje zablokowana poprzez sprzężenie zwrotne.

Szlak przekazywania sygnału zapachu zapoczątkowują wiązania substancji zapachowych z receptorami węchowymi. By informacja z receptora została przekazana, konieczna jest obecność podjednostki  $\alpha$  białka G, które jest zbudowane z podjednostki  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\alpha$  połączonej z GDP. Jednostka ta aktywuje specyficzną cyklazę adenylogową, co prowadzi do zwiększenia wewnątrzkomórkowego stężenia cAMP, konsekwencją czego jest aktywacja niespecyficznego kanału kationowego, który umożliwia przedostanie się wapnia i innych kationów do komórki.

Jony depolaryzują błonę komórek receptorowych inicjując powstanie potencjału czynnościowego przeniesionego przez kolejne neurony do mózgu, co w konsekwencji wywołuje powstanie odczucia specyficznego zapachu (Berg i in. 2009). Szacuje się, że człowiek jest w stanie odróżnić ponad 10 000 różnych ligandów zapachowych.

Za percepcję feromonów u gryzoni odpowiedzialny jest dodatkowy układ węchowy (Jacobsona/ vomeronasalny/ VNO). Na układ ten składają się komórki receptorowe zamknięte w kapsule kostnej zlokalizowanej u podstawy przegrody jamy nosowej. Ich aksony tworzą nerw vomeronasalny – niezależny od nerwu biegnącego z głównego układu węchowego, który przechodząc przez kość sitową przewodzi informacje do dodatkowych opuszek węchowych (Ryc. 3). Obecność układu vomeronasального u ludzi budzi kontrowersje. Na początku lat 90. XX w. wykazano jego obecność u ludzkich płodów w wieku pomiędzy dwunastym, a dwudziestym trzecim tygodniem życia płodowego. Narząd ten przypuszczalnie występuje u dorosłych ludzi, natomiast niewiadomą stanowi sposób jego powstania. Powstawanie każdego narządu w naszym organizmie jest kodowane przez konkretne geny. Jednakże geny odpowiedzialne za powstanie narządu vomeronasального w naszej linii rodowej, należą do pseudogenów, czyli sekwencji



Ryc. 3. Diagram ilustrujący ścieżki przekazu informacji zapachowych u gryzoni.

nukleotydowych przypominających geny, lecz transkrypcyjnie nieaktywnych. U dorosłego człowieka narząd vomeronasalny najprawdopodobniej występuje w postaci ślepo zakończonych kanałów o długości 2-8 mm i średnicy poniżej 1 mm. Zbudowany jest z komórek przypominających komórki podstawowe, podporowe, mikrorzęskowe z rzęskami głównego narządu węchowego. Substancje zapachowe wdychane wraz z powietrzem do jamy nosowej nie są odbierane bezpośrednio przez narząd vomeronasalny. Dopiero wybrane molekuly zawieszone w śluzie zostają zasane do światła narządu. Z boku światła narządu znajdują się naczynia krwionośne wraz z zatokami. Unerwia je autonomiczny układ nerwowy, który w tym przypadku indukuje rozszerzanie i kurczenie naczyń krwionośnych. Taki system daje możliwość stworzenia czegoś w rodzaju „pompy”, która zapewnia

bodźcowi węchowemu dostęp do światła narządu vomeronasalnego.

Do tej pory nie udało się opisać, w jaki sposób informacja z VNO jest przekazywana do mózgu, bowiem nie udowodniono istnienia nerwu vomeronasalnego, który mógłby w tym uczestniczyć. Obecnie badacze skłaniają się ku teorii mówiącej o zaangażowaniu zarówno głównego narządu węchowego jak i dodatkowego w percepcję potencjalnych feromonów u ludzi.

Należy pamiętać, iż badania na człowieku, są niezwykle utrudnione. Anatomiczna analiza mechanizmów percepcji feromonów u zwierząt wiąże się często z koniecznością uśmiercenia, co u ludzi z moralnego i prawnego punktu widzenia jest niemożliwe. Badania dotyczące roli feromonów w życiu człowieka bazują na obserwacji zachowania, lub też analizie zwłok osób, które wyraziły na to zgodę przedśmiertnie lub pośmiertnie za pośrednictwem rodziny. Dzięki rozwojowi techniki badawczej, możliwe jest wykonywanie nieinwazyjnych badań przyżyciowych. Taką techniką jest np. funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI). Wykorzystując tę metodę dowiedziono, że u kobiet pod wpływem męskich związków „androgeno-podobnych” aktywowane jest pole przedwzrokowe oraz jądra brzuszno-przyśrodkowe podwzgórza. U mężczyzn natomiast, pod wpływem estrogeno-podobnych związków aktywowane są jądra przykomorowe i grzbietowo-przyśrodkowe podwzgórza, ale nie tej części centralnego systemu nerwowego, która reguluje fizjologię rozrodu i zachowania seksualne.

Dokładny mechanizm tej reakcji nie jest jednak znany. W ostatnich pięciu latach wysunięto 3 niezależne hipotezy (L. Stowers i D. Logan 2010, Current Opinion i Neurobiology) dotyczące mechanizmu przekazywania informacji z receptorów układu węchowego do mózgu człowieka.

**Hipoteza 1:** mówi o anatomicznej segregacji neuronów czuciowych. Wśród tych odpowiedzialnych za odbiór zapachów, wyróżnia się kilka rodzajów neuronów. Hipoteza ta zakłada percepcje substancji zapachowych z udziałem neuronów GG (Grueneberg ganglion) oraz narządu vomeronasalnego. Ciała neuronów GG leżą poza nabłonkiem głównego układu węchowego, w przednio-grzbietowym obszarze jamy nosowej, „w rogach” stworzonych przez przegrodę nosową i górną część nosa. W 2005 roku neurony GG zakwalifikowano do dodatkowego układu węchowego. W odróżnieniu od innych chemoreceptorów tworzą one niewielkie skupiska zbudowane z komórek glejowych oraz rzęskowych. Są subpopulacją neuronów naszyjnikowych (necklace glomeruli). U człowieka obecność neuronów GG została dowiedziona

tylko na etapie życia płodowego, natomiast w miarę rozwoju płodowego neurony te prawdopodobnie zanikają. Również nie została potwierdzona obecność neuronów naszyjnikowych u ludzi. Jako że neurony naszyjnikowe są aktywowane podczas ssania matki przez młode, sugerowano, że neurony GG odpowiadają za reakcję noworodka na zapach. Jednakże ostatnie badania odrzuciły tę hipotezę, wskazując na inną funkcję neuronów GG. Sugeruje się, iż substratami dla tych neuronów są feromony alarmowe oraz inne substancje lotne wydzielane przez osobnika w sytuacji niebezpiecznej.

**Hipoteza 2:** wskazuje na molekularną specjalizację neuronów głównego nabłonka węchowego, które umożliwiałyby odbiór feromonów. Prawdopodobnie w tym mechanizmie zaangażowane są receptory TAAR (ang. *trace amine associated receptors*). Neurony posiadające te receptory wykorzystują powyższy mechanizm. Ekspresja tej grupy receptorów, (pełniących prawdopodobnie również istotną rolę w ostrzeganiu) jest wykazana jedynie na wybranych neuronach. Receptory TAAR występują na neuronach wychodzących z nabłonka głównego układu węchowego. Co ciekawe, na pojedynczym neuronie występuje ekspresja genu dla tylko jednego receptora TAAR. Są one w stanie wiązać lotne substancje zapachowe, m.in. aminy z wysoką selektywnością. Sugeruje się, że to złożone aminy mogą przenosić informację socjalną o stresie. Pomimo, że nie jest poznane do końca działanie receptorów TAAR, niemniej jednak wydaje się być prawdopodobne, iż odgrywają rolę detektorów feromonów.

**Hipoteza 3:** Alternatywą do dwóch powyższych hipotez, które wskazują na anatomiczną lub molekularną specyfikację neuronów sensorycznych jest hipoteza, która bazuje na rozróżnieniu samych połączeń synaptycznych w węchowych regionach opuszki węchowej. Połączenia synaptyczne to miejsca komunikacji błony kończącej akson z błoną komórkową drugiej komórki – nerwowej lub efektorowej. Postęp badań molekularnych umożliwił stworzenie genetycznego narzędzia do selektywnego usuwania dużych części kłębuszków nerwowych, tworząc w ten sposób „platformę” do testowania znaczenia każdej z części opuszki węchowej głównego układu węchowego. Te badania w przyszłości najprawdopodobniej pozwolą określić dokładne właściwości grzbietowej części opuszki głównego układu węchowego w generowaniu wrodzonego zachowania. W ten sposób można będzie znaleźć odpowiedź na pytanie czy za zachowanie odpowiadają „kanoniczne” neurony czy też molekularnie wyspecjalizowane neurony z poszczególnych stref. Analizowano na przykładzie

myszy, możliwości percepcji i odpowiedzi behawioralnych na serię zapachów z natury awersyjnych (m.in. kwas 2-metylomasłowy, zapach zepsutego jedzenia czy chemiczny odpowiednik ostrego zapachu lisów). Autorzy tego doświadczenia stwierdzili, iż określona liczba kłębuszków w grzbietowej części jest niezbędna do wrodzonej awersyjnej odpowiedzi, natomiast brzuszne kłębuszki są wystarczające dla układu węchowego.

Problem roli węchu w życiu człowieka nadal stawia wiele znaków zapytania. Jednak należałoby się zastanowić czy faktycznie w dzisiejszym świecie, gdzie higiena osobista w krajach cywilizowanych stoi na bardzo wysokim poziomie, ma szanse przetrwać komunikacja chemiczna pomiędzy ludźmi? W tych mniej rozwiniętych regionach naszego globu taka komunikacja istnieje. Podobieństwo zapachów członków plemienia „Desena” z Amazonii czy „Batek Negrito” z Półwyspu Malajskiego świadczy o przynależności do danej grupy społecznej. Zawarcie małżeństwa jest możliwe tylko pomiędzy osobami różniącymi się zapachami. Ma to związek najprawdopodobniej z dążnością do zapewnienia heterozygotyczności potomstwa w głównym kompleksie zgodności tkankowej MHC. Osoby z plemion „Ongee” z Andamanów, „Bororo” z Brazylii, „Serer Ndut” z Senegalu są w stanie po zapachu zidentyfikować daną osobę. Aborygeni zamieszkujący okolicę Zatoki Papua (Nowa Gwinea) rozpoznają po zapachu przybysza z innego plemienia. Obwąchują oni

twarz, pachę oraz klatkę piersiową nowo przybyłego osobnika, natomiast plemię Kanum-irebe, również z Nowej Gwinei ma w zwyczaju namaszczać nowego przybysza palcem potartym wcześniej o własne gruczoły potowe.

Wiedza o roli feromonów w życiu człowieka pogłębia się z roku na rok. Jednakże brak nam jest jasnych informacji określających mechanizm ich działania. Pod znakiem zapytania stoi również istnienie funkcjonalnego układu vomeronasального u dorosłych ludzi, jego powstanie oraz rola, jaką pełni główny układ węchowy w przekazywaniu informacji zawartej w feromonach. Ponadto napotykamy na wiele niewiadomych dotyczących samych substancji określanych mianem „feromonu”. Osobiście przychyliam się do teorii wskazującej na to, iż istnieje oddziaływanie feromonalne między ludźmi, a percepcja tych substancji chemicznych u człowieka występuje za pośrednictwem głównego układu węchowego. Jednakże by poznać wszystkie niewiadome pozostaje nam czekać i przyglądać się bacznie poczynaniom naukowców specjalizujących się w tej dziedzinie. Tymczasem firmy farmaceutyczne i kosmetyczne wykorzystują z dużym skutkiem „szum” jaki został stworzony wokół feromonów. Na rynku polskim i światowym możemy znaleźć takie produkty jak perfumy, mgiełki, kremy zawierające substancje określone mianem feromonów, które są dedykowane zarówno paniom jak i panom, a ich głównym celem jest „zwabienie” osoby płci przeciwnej.

■ Mgr Agata Miska jest doktorantką w Instytucie Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie; e-mail: agata.miska@uj.edu.pl.

## JARZĄB, JARZĘBINA I JARZĘBIAK

Roman Karczmareczuk (Wrocław)

Do rodzaju jarząb (*Sorbus*) z rodziny różowatych (*Rosaceae*) zaliczamy około 80 gatunków drzew i krzewów pochodzących przeważnie z umiarkowanej strefy półkuli północnej. Prezentowany takson pojawił się na globie ziemskim w zamierzczłej przeszłości, bo już w pierwszym okresie ery kenozoicznej, czyli w trzeciorzędzie.

Najbardziej znany jest jarząb pospolity (*Sorbus aucuparia*), egzystujący na całym terytorium Europy, oprócz Grecji i południowej Hiszpanii, oraz na Syberii, a także w Azji Mniejszej. W naszym kraju rośnie przeważnie w lasach liściastych i mieszanych na niżu, w górach dochodzi do piętra kosodrzewiny, a ponad

górną granicą lasu istnieje już w postaci krzewu. Osiąga wysokość 20 m i odznacza się gładką, szarą korą. Nieparzystopierzaste liście są złożone z 5–8 par listków siedzących, owłosionych od spodu (var. *glabrata*, rosnąca przy górnej granicy lasu i w piętrze kosodrzewiny – ma liście bez kutneru). Białe kwiaty mają średnicę 2 do 10 mm, zebrane w baldachogrona do 15 cm średnicy, zaś kulistawe, pomarańczowe owoce typu jabłka stają się szkarłatnoczerwone dopiero w dojrzałości. Bardzo dobrze znosi niskie temperatury i nie jest wybredny względem podłoża. Bytuje zarówno na glebach żyznych, jak i ubogich, suchych i nawilgoconych. W Polsce kwitnie w maju, a owoce