

roli intuicji i teorii w rozwoju biologii — Grzegorz Mendel

Prof. dr Władysław J. H. KUNICKI-GOLDFINGER,
członek korespondent PAN

Żyjemy w dziwnych czasach. Eksplozywnie postępująca rewolucja naukowo-techniczna zasypuje nas nowymi faktami, nowymi osiągnięciami technicznymi, splywa na nas lawiną informacji — ważnych, mniej ważnych i zupełnie nieważnych. A jednocześnie konsumpcyjny model naszego życia każe nam gromadzić wszystko bez wyboru: nowe wyroby i urządzenia, nie zawsze niezbędne; nowe podróże i wycieczki, których celem nie jest poznanie czegoś, ale „zaliczenie” modnej miejscowości czy kraju; nowe informacje — nie wybierane świadomie, ale docierające do nas bez naszego wyboru, z wszechobecnych „publikatorów”. W natłoku wrażeń i pseudowrażeń, w pośpiechu i gonitwie za uzyskaniem jeszcze czegoś, co nam zresztą często jest całkiem niepotrzebne — gubimy perspektywę, zdolność do refleksji i oceny.

Dotyczy to również naszych zapatrywań na naukę i jej rozwój. Zdaje się nam, że liczni naukowcy zbierają obserwacje, robią eksperymenty, a potem z prostej ich sumacji tworzy się nauka. Czy tak jest naprawdę? Zastanówmy się nad tym, jako przykład biorąc rozwój nauki już dziś rewolucjonizującej nasze życie, nauki przyszłości — genetyki.

Genetyka, formalnie rzecz biorąc, kończy w tym roku 80 lat życia. Ale podstawowa koncepcja tej dyscypliny została sformułowana już przed 114 laty, 34 lata za wcześnie, by mogła zostać zaakceptowana i wchłonięta przez naukę.

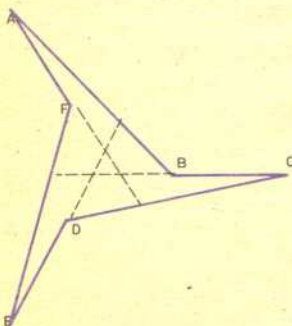
Dziedziczenie cech przez potomstwo znane było człowiekowi od bardzo dawna. Racjonalnie wytłumaczyć zjawisko dziedziczenia było jednak trudno. Starożytni Grecy sądzili, że płód powstaje przez koagulację krwi matki przez nasienie ojca. Stąd wnioskowano, że cechy dziedziczy się przez krew. Ślady tego dawnego poglądu odnajdujemy i dziś w takich sformułowaniach, jak „koń czystej krwi angielskiej”, „błękitna krew”, „półkwi Arab” itd. Z czasem zdano sobie sprawę, że to nie krew jest nosicielem cech dziedzicznych. Szukając wyjaśnień, stworzono koncepcję pangenezy. Twórca jej, Maupertuis, w połowie XVIII w. wysunął przypuszczenie, że w rozwijającym się jaju gromadzą się jakieś „cząstki” pochodzące z każdej części organizmu i zapewniające odtworzenie takiego samego organizmu potomnego. Koncepcję tę przyjął m.in. sam Karol Darwin, uważając, że cząstki takie, wytwarzane przez każdą komórkę, wędrują do gamet, warunkując odtwarzanie podobnych struktur i funkcji. Jednocześnie wierzono jednak, że dziedziczą się cechy nabyte, tj. te, które pojawiają się w dorosłym organizmie pod wpływem różnych czynników zewnętrznych. Tak sądził jeden z pierwszych ewolucjonistów, Lamarck, a i Darwin nie był przekonany o niesłuszności takiego zapatrywania. Wiara w dziedziczenie cech nabytych nie osłabiała jednak przekonania, że podstawowe cechy potomstwo dziedziczy po swoich rodzicach. Przekonanie to leżało zresztą u podstaw wszelkich zabiegów hodowlanych, zmierzających do otrzymania lepszych, bardziej przydatnych ras zwierząt hodowlanych i roślin uprawnych. Zabiegi te wykonywał już człowiek w czasie rewolucji neolitycznej, około 8 do 10 tysięcy lat temu, gdy udomowiono najważniejsze zwierzęta hodowlane i zaczęto uprawiać zboża, jarzyny i owoce. Działania to miało jednak charakter czysto empiryczny, nie opierając się na żadnej ogólnej wyjaśniającej koncepcji. Nawet zorganizowana działalność selekcyjna hodowców angielskich w XVIII i początkach XIX w., lub wyhodowanie buraka cukrowego przez francuską firmę Vilmorin-Andrieux et Cie za czasów Napoleona, miały taki empiryczny charakter.

Rewolucyjną koncepcję tworzącą podstawę genetyki, nauki o dziedziczeniu, stworzył w 1866 r. Grzegorz Mendel, choć realnych skutków ta rewolucyjna myśl nie wywarła. Czas jeszcze nie dojrzał do przyjęcia koncepcji wyprzedzającej go o bezmała pół stulecia. Potomstwo nigdy nie jest zupełnie podobne do rodziców. Dostrzega się w nim pewną zmienność. Zmienność tę odczytywano jako ciągłą i ilościową. Wzrost, barwa sierści, skóry, oczu, włosów, ogólna budowa ciała, zmieniały się w potomstwie w sposób ciągły; pomiędzy poszczególnymi osobnikami notowano nie ostre różnice, lecz stopniowe zmiany. Analiza tego rodzaju zbiorczych cech, wykazujących nieprzerwany szereg stanów przejściowych, jest bardzo trudna, a sposób ich dziedziczenia właściwie nie do rozwikłania. Obserwowano wprawdzie też cechy mające właściwości jakościowe. Były to pewne anomalie dziedziczne. Tak więc w połowie XVIII w. Maupertuis, Réamur i Bonnet zauważyli, że anomalia, polegająca na występowaniu dodatkowego, szóstego palca u dłoni, dziedziczy się tylko w pewnych rodzinach. Pod koniec XVIII w. Lort opisał ślepotę na barwy, a wkrótce potem, w 1794 r., fizyk, chemik i biolog,



Rozwiązanie zadania M 233.

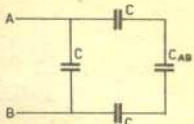
Nie istnieje punkt, z którego widać równocześnie bok BC , DE i AF . Każdą parę boków można widzieć w całości z pewnego punktu wewnątrz $ABCDEF$ (dlaczego)?





Rozwiązanie zadania F 79.

Pojemność przedstawionego na rysunku układu kondensatorów nie ulegnie zmianie, gdy układ ten powiększymy o jeden element. Zatem cały układ jest równoważny następującemu prostemu układowi:



którego pojemność znów wynosi C_{AB} . Korzystając ze wzorów na pojemność układu kondensatorów połączonych równolegle i szeregowo, mamy

$$C_{AB} = C + \frac{1}{\frac{2}{C} + \frac{1}{C_{AB}}}$$

Rozwiązując to równanie otrzymujemy

$$C_{AB} = \frac{1}{2}(1 + \sqrt{3})C.$$

John Dalton wykazał, że anomalia ta występuje jedynie u mężczyzn, a dziedziczy się tylko za pośrednictwem matki. Anomalię tę dziś nazywamy daltonizmem. W połowie XIX w. ksiądz Jan Dzierżoń, z zamiłowania pszczelarz o dużych osiągnięciach naukowych (był doktorem honoris causa Uniwersytetu w Monachium), opisał wyniki krzyżowania pszczoł rasy włoskiej i niemieckiej. Stwierdził on, że trutnie z takiej krzyżówki nigdy nie są mieszańcami; połowa z nich jest rasy włoskiej, połowa — rasy niemieckiej. Sam Dzierżoń napisał: „jakby naturze trudno było połączyć oba gatunki w jedną rasę”. Były to jednak tylko oderwane obserwacje, nie ujęte w żaden koherentny racjonalny system.

Dla jasności obrazu powiedzmy jak wówczas wyglądał stan wiedzy biologicznej. Wiedzano już wówczas, w wyniku badań Mirbela, Lamarcka, Dutrochet, Browna, Schultzego i Schwanna, że organizmy zbudowane są z komórek zawierających protoplazmę z umieszczonym w środku jądrem. Ale o tym, że jądro komórkowe związane jest z dziedziczeniem cech nie wiedzano nic. Dopiero w 1866 r., w roku ogłoszenia przez Mendla pracy przedstawiającej rezultaty co najmniej ośmioletnich badań, Haeckel ogłosił hipotezę, wiążącą jądro ze zjawiskami dziedziczenia.

Była to jednak wówczas tylko teoretyczna hipoteza. Eksperymentalne jej potwierdzenie przyszło znacznie później. Dopiero w 1875 r. Hertwig opisał zapłodnienie jaja przez plemnik, a w tym samym roku polski badacz Strasburger, opisał chromosomy, którym obecną nazwę nadał 13 lat później Waldayer. W 1879 r. Flemming dał opis podziału jądra, dziś nazywanego mitozą, a w 1883 r. van Beneden, badając rozwój jaj (oogenezę) i plemników (spermatogenezę) u glisty ludzkiej, *Ascaris*, wykrył podział redukcyjny jądra, mejozę, w czasie którego powstają gamety o liczbie chromosomów o połowę mniejszej niż w komórkach somatycznych organizmu. W czasach Mendla wiadomości z biochemii komórki były jeszcze skromniejsze.

Wprawdzie białka wykrył Mulder już w 1839 r., ale ich budowę i charakter wielocząsteczkowy rozpoznano dopiero w XX w. Kwasy nukleinowe opisali Miescher i Kossel w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, ale na poznanie ich struktury i funkcji trzeba było następnych 70 lat.

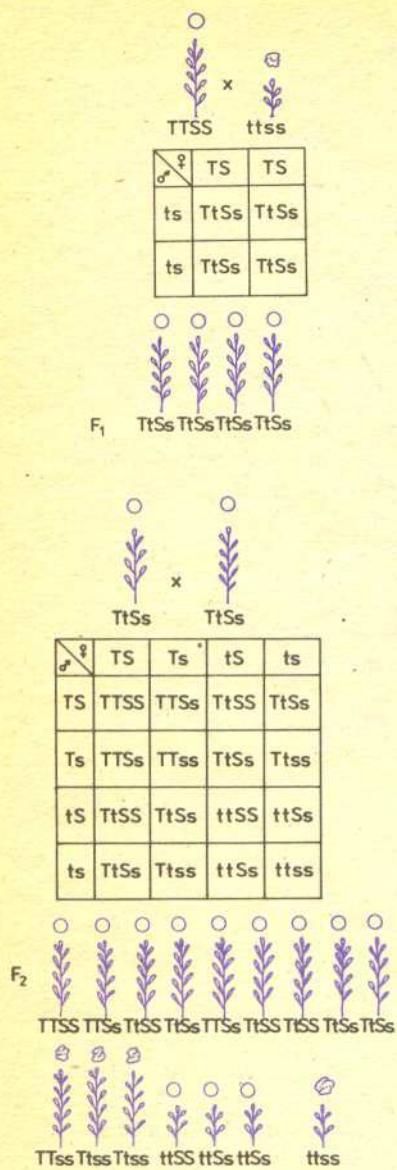
Wiemy już zatem, co Mendel mógł wiedzieć, a czego znać nie mógł, bo wykryte zostało wiele lat po jego pracy. I choć Mendel z ówczesnym stanem biologii był na pewno dobrze zaznajomiony, studiował bowiem przez dwa lata przyrodę i matematykę na Uniwersytecie Wiedeńskim i był w stałym kontakcie z życiem naukowym, znajomość ta była tak znikoma, że dla opracowania jego koncepcji nie mogła być przydatna. Ciągłe tu mówimy o koncepcji Mendla, ale nie wyjaśniliśmy na czym ona polega. Wyjaśnienie to zaczniemy nie od samej koncepcji, a od doświadczeń za pomocą których Mendel ją uzasadniał.

Jako obiekt doświadczalny wybrał on groch. Jest to roślina samopylna. Hodując groch przez wiele lat, otrzymał linie stabilne, odznaczające się jakościowymi, stałymi cechami, jak np. wysokość pędu, powierzchnia ziarna — gładka lub pomarszczona. Następnie chroniąc rośliny przed samozapyleniem i zapyłając je sztucznie, krzyżował różne linie. W najprostszym przypadku krzyżówka dotyczyła roślin różniących się tylko jedną cechą. Na przykład krzyżował rośliny wysokie z niskimi. Zbierał następnie nasiona i wysiewał je, otrzymując pokolenie „synowskie” tzw. F_1 . Okazało się, że w pokoleniu tym wszystkie rośliny są wysokie, mimo że pochodzą z krzyżówki wysokich z niskimi. Z kolei krzyżował między sobą osobniki pokolenia F_1 , zbierał nasiona, wysiewał je i otrzymywał następne pokolenie tzw. F_2 . W tym pokoleniu 3/4 roślin było wysokich, a 1/4 niskich. Mendel krzyżówki takie prowadził dalej, aż do 7 i 8 pokolenia, w naszych rozpatrywaniach ograniczymy się jednak tylko do pokoleń F_1 i F_2 . Otrzymany wynik wymagał jakiegoś wyjaśnienia. Wyjaśnienie, zaproponowane przez Mendla, opiera się na pewnych założeniach przyjmowanych przez niego a priori. Po pierwsze założył on, że każda z badanych przezeń jednostkowych, stabilnych, jakościowych cech jest zależna od istnienia w organizmie jakiegoś „czynnika”. Czynnika tego bliżej nie określał, dodatkowo jednak zakładał, że w organizmie rośliny znajdują się zawsze po dwa takie czynniki, natomiast w gametach (w jajach i w pyłku) jedynie po jednym. Czynniki te, określające dane cechy, oznaczał symbolami literowymi. Np. cechę „wysokie rośliny” oznaczmy przez T , a małe — przez t . Rośliny wysokie mają dwa czynniki T , możemy je więc określić symbolem TT , rośliny małe — odpowiednio tt . Gamety roślin dużych będą miały po jednym czynnikiem i zawsze będzie nim T ; podobnie gamety roślin małych będą miały po jednym czynnikiem, ale będzie nim t . Gdy je skrzyżujemy, otrzymamy wynik jak na rys. 1. Wszystkie rośliny pokolenia F_1 będą miały po dwa różne czynniki, T i t . Mendel dodatkowo założył, że pewne czynniki mają właściwość dominacji: T dominuje nad t . Dominacja tłumaczy nam dlaczego wszystkie mieszańce Tt są wysokie. Każdy osobnik pokolenia F_1 wytwarza jednak gamety z różnymi czynnikiemami, albo T albo t . Wynik krzyżówki pokolenia F_1 pokazuje rys. 1. W pokoleniu F_2 otrzymamy 1/4 osobników z czynnikiem TT , 1/2 z czynnikiem Tt — wszystkie one, wskutek dominacji T nad t , będą wysokie. Tylko 1/4 osobników będzie miała dwa czynniki t i te będą niskie.

Krzyżować można z sobą osobniki różniące się dwiema cechami, np. wysokością i budową ziarna. Mendel krzyżował z sobą osobniki wysokie o gładkich nasionach z osobnikami niskimi o szorstkich nasionach. W pokoleniu F_1 wszystkie osobniki były wysokie z ziarnami gładkimi,



Rys. 1



Rys. 2

ale w pokoleniu F_2 tylko 9/16 było wysokich i z ziarnami gładkimi, 3/16 było wysokich o ziarnach szorstkich, 3/16 niskich o ziarnach gładkich, a jedynie 1/16 niskich o ziarnach szorstkich. Czytelnik, oznaczając symbolem S gładkość ziarna, a symbolem s jego szorstkość, zechce sobie wyjaśnić sam ten typ dziedziczenia przy pomocy rys. 2. Konieczne jest jednak, by przyjął za Mendlem jeszcze jedno dodatkowe założenie — że różne czynniki (np. T i S) oraz cechy przez nie warunkowane rozdzielają się pomiędzy gamety niezależnie. Mendel, rzecz jasna, wykonał o wiele więcej różnych doświadczeń. Jak wspominaliśmy, wybrał on 7 jednostkowych stabilnych cech i przeprowadził liczne krzyżówki między osobnikami różniącymi się tymi cechami. Krzyżowanie kontynuował przez wiele pokoleń, a całość pracy zajęła mu ponad 8 lat. Dla uzmysłowania sobie co Mendel osiągnął wystarczy jednak rozpatrzeć podane tu przykłady. Ale co właściwie Mendel zrobił i co osiągnął? Krzyżowaniem różnych roślin zajmowano się przecież od starożytności, przez całe średniowiecze, aż do czasów Mendla. Wielkość koncepcji Mendla nie kryje się za licznymi doświadczeniami, ale za koncepcją, która leżała u ich podstaw i którą w rezultacie uzasadniały.

Nauka nie polega bowiem na skrętnym i pracowitym zbieraniu obserwacji i doświadczeń, choć jest ono niezbędnym elementem składowym nauki. Tak jak budowa bazyliki św. Piotra nie polegała na skrętnym i pracowitym składaniu kamieni, ale na realizacji koncepcji Michała Anioła i Bramante'go, naturalnie poprzez odpowiednie składanie tychże kamieni. Podobnie, nowe istotne osiągnięcia nauki wyrastają z genialnych koncepcji, a realizowane są także poprzez pracowite składanie „kamieni” — obserwacji i wyników doświadczeń.

Koncepcja mogła oczywiście powstać, gdy Mendel zebrał już pewną liczbę obserwacji wstępnych, sugerujących mu jakieś prawidłowości. Koncepcja ta stała się bodźcem i wyznacznikiem kierunku dalszych doświadczeń, które miały ją uzasadnić. Mendel, w odróżnieniu od wszystkich poprzedników, skwantyzował cechy. Sugerować mógł się znanymi już opisami dziedzicznych anomalii, wynikami Dzierżonia, a także obserwowaną przez siebie stabilnością wybranych jednostkowych, jakościowych cech grochu. Pewien wpływ na jego sposób myślenia mógł też mieć rozkwitający wówczas w nauce atomizm. Mendel zrobił jednak coś więcej. Nie interesował się dziedziczeniem cech przez poszczególne osobniki, ale przez całe populacje kolejnych pokoleń, otrzymywanych przez krzyżowanie. Zastosował więc metodę statystyczną. Rachunek statystyczny znany już był przed nim, a nawet dla celów badania dziedziczności próbował wykorzystywać go przyjaciel Darwin'a, Galton. Ale dopiero połączenie kwantyzacji cech z rachunkiem statystycznym okazało się płodne, a to osiągnął Mendel.

Nie było to jednak wystarczające, aby odpowiednio zaplanować sprawdzające doświadczenia. Konieczne były dodatkowe założenia, nie wynikające z żadnej obserwacji. Założeniem pierwszym Mendla było to, że każdej jednostkowej cesze odpowiada i warunkuje ją odrębny „czynnik”, zachowujący się jak korpuskuła, a występujący w somatycznych komórkach w liczbie podwójnej, zaś w gametach pojedynczo. Przypomnijmy sobie stan wiedzy biologicznej za czasów Mendla, o którym mówiliśmy na wstępie — nie wiadano, że jądro ma coś wspólnego z dziedziczeniem, nie znano przebiegu jego podziału, chromosomów, podziału redukcyjnego, nie istniało pojęcie genu. Biochemia była jeszcze w powijakach. Żadne obserwacje, żadne znane fakty nie sugerowały istnienia materialnych, cząstkowych czynników, tak się zachowujących. Mendel, jak zaznaczyliśmy, założył ponadto, że różne „czynniki” przy powstawaniu gamet dzielą się niezależnie od siebie oraz, że gdy dwa czynniki określają tę samą cechę, np. wysokość rośliny, charakter powierzchni ziarna, to jeden z tych czynników dominuje nad drugim.

Ogólna koncepcja i dodatkowe założenia pozwoliły Mendlowi na wyjaśnienie zasadniczego mechanizmu dziedziczenia. To, że prawidłowości przezeń wykryte nie zawsze się sprawdzają, mogło być mu nie znane, lub, co prawdopodobniejsze, było przezeń pomijane. Odchylenia te dla wyjaśnienia wymagały bowiem nowych wiadomości i założeń, na które było o wiele za wcześnie. Wybór obiektu doświadczalnego, w którym odchylenia tych nie ma, zdaje się za tym przemawiać.

Koncepcje i wyniki Mendla wyprzedziły naukę; dla współczesnych mu były nie do przyjęcia, odmówiono ich publikacji w czasopiśmie naukowych. Ogłosił je w lokalnych wydawnictwach Brna, dzięki czemu w ogóle przetrwały. Wszelkie notatki i materiały pozostawione przez Mendla w klasztorze Augustianów w Brnie następcą jego na stanowisku opata kazał bowiem spalić.

Koncepcje Mendla, prawidłowości przezeń wykryte, wyjaśnienia przez niego zaproponowane odżyły na nowo w r. 1900 w pracach de Vriesa, Corrensa i Tschermacka. I tak pisał o tym Correns: „Myślałem, że znalazłem coś nowego. Potem przekonałem się jednak, że opat Grzegorz Mendel z Brna otrzymał w latach sześćdziesiątych (XIX w) takie same wyniki w swoich obszernych eksperymentach nad grochem, trwających wiele lat, jak wyniki moje i de Vriesa. Wyjaśnił je też tak samo, o tyle, o ile to było możliwe, w r. 1866”.

Myślę, że prace Mendla są jedną z najlepszych ilustracji roli intuicji „rau' o' e' j' eo. i' w postępie nauki.



Rozwiązanie zadania M 234.
 Gdyby $p_1 = aq^{n_1}$, $p_2 = aq^{n_2}$, $p_3 = aq^{n_3}$,
 (możemy założyć, że $n_1 < n_2 < n_3$),
 to $\frac{p_2}{p_1} = q^{(n_2 - n_1)}$ i $\frac{p_3}{p_2} = q^{(n_3 - n_2)}$,
 a więc $\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{n_3 - n_2} = \left(\frac{p_3}{p_2}\right)^{n_2 - n_1}$, czyli
 $p_2^{(n_3 - n_1)} = p_2^{(n_3 - n_2)} + (n_2 - n_1) =$
 $= p_2^{n_2 - n_1} \cdot p_1^{n_3 - n_2}$, co jest
 niemożliwe z uwagi na jednoznaczność
 rozkładu na czynniki pierwsze.