

DYNAMIKA ROZWOJOWA JAKO FUNDAMENTALNY BEHAWIOR ISTOT ŻYWYCH

Marcel Proust napisał w *Uwięzionej*, że
„prawdziwą podróżą [...] byłoby iść nie ku nowym krajobrazom,
ale mieć inne oczy”*.

(M. Proust, *Uwięziona*, t. 2, Warszawa, 1939, s. 88.)

Taką „podróżą” bywa refleksja filozoficzna nad otaczającą nas
rzeczywistością przyrodniczą.

Polega ona nie tyle na odkrywaniu „nowych krajobrazów” (tego
dokonuje nauka), ile na nowym spojrzeniu na te „krajobrazy”.

Spójrzmy zatem „innymi” oczami na pewne dobrze znane zjawiska,
takie jak rozwój organizmu, biosynteza, przemiana metaboliczna,
regeneracja... i przekonajmy się, jak wygląda „krajobraz” bytów zwanych
istotami żywymi.

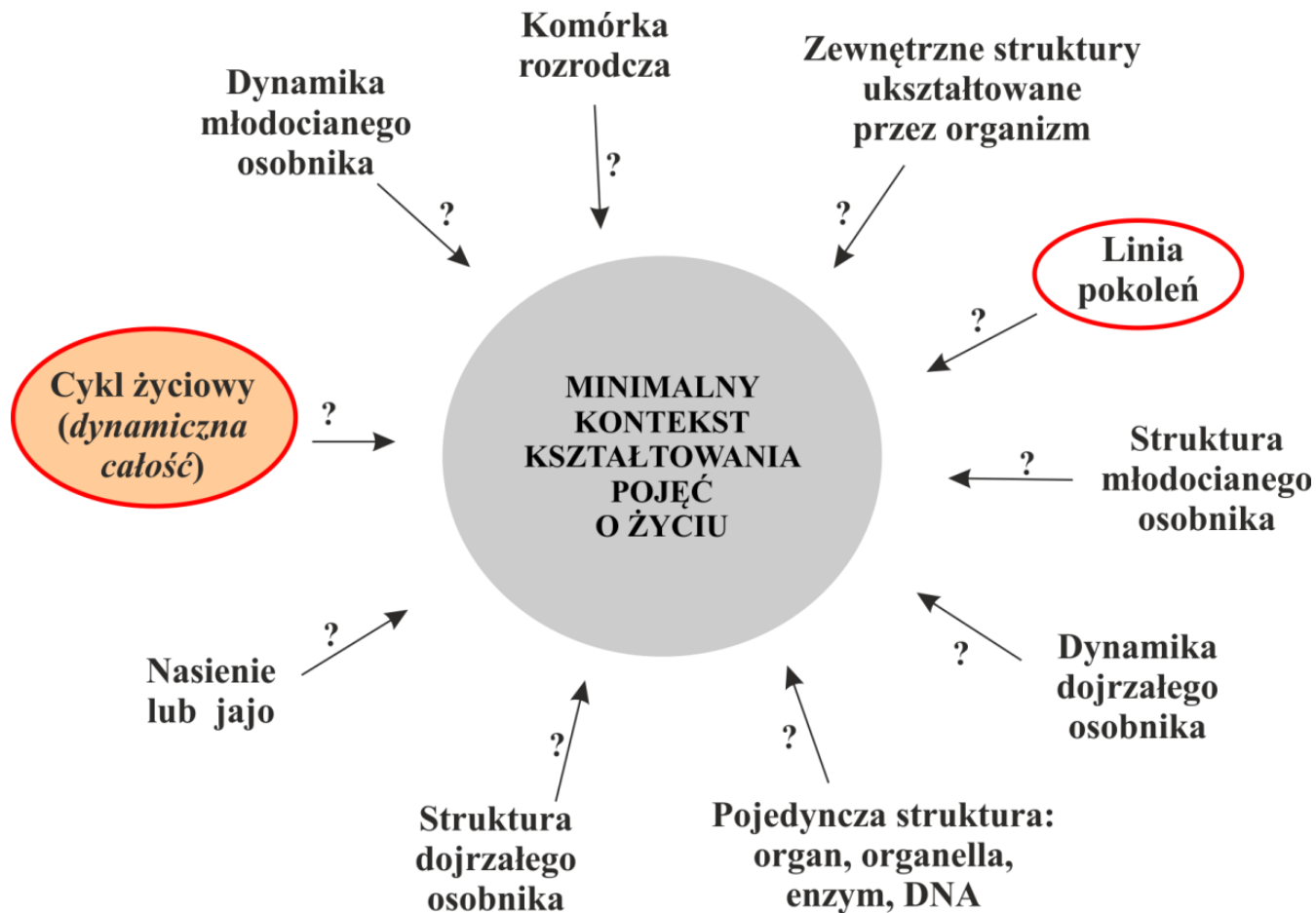
Krajobraz to nie pojedyncze drzewo, to nie pojedyncza góra,
to nie pojedynczy kamień lub człowiek, ale taki wycinek przestrzeni,
który umożliwia dostrzeżenie zespołu różnorodnych cech przyrodniczych
i antropogenicznych charakterystycznego dla danego terenu .



August Wilhelm Leu „Górskie jezioro” (1848)

A. Leu 48.

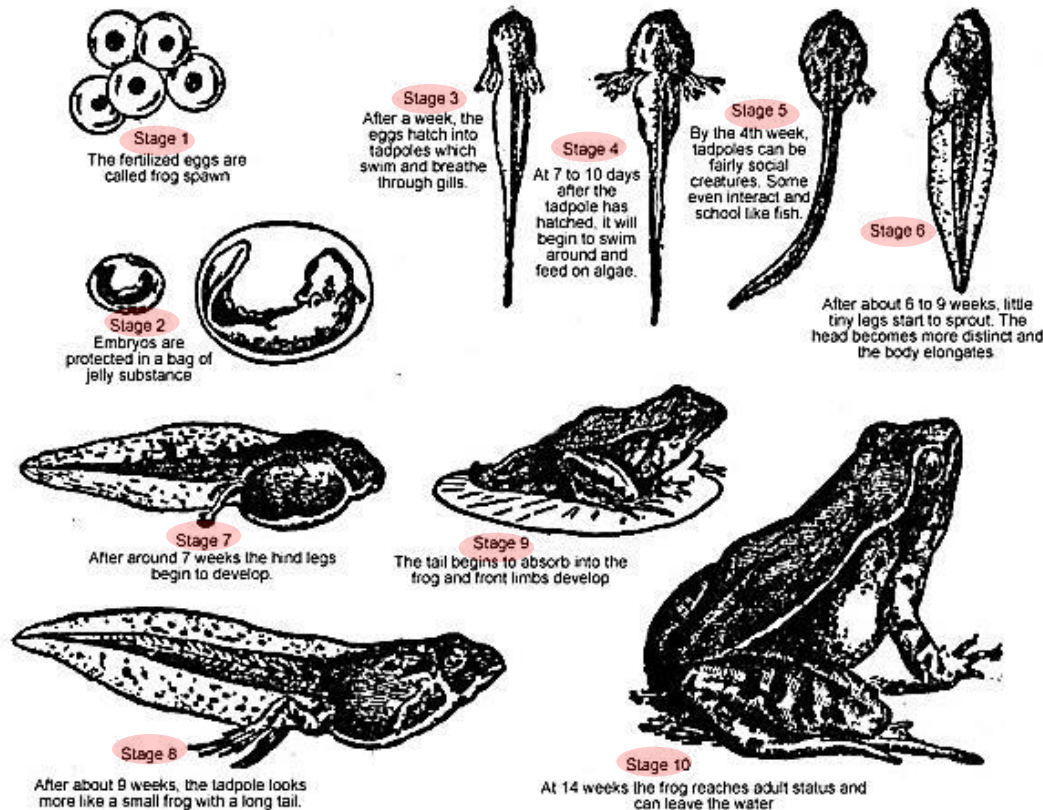
A co stanowi „krajobraz” rozważań dotyczących życia?



Wydaje się nie ulegać wątpliwości, że takimi minimalnym „krajobrazami” są **osobnicze cykle życiowe** powiązane ze sobą w **linie pokoleń**.

Osobniczy cykl życiowy jest tą *minimalną całością biologiczną*, w kontekście której można prowadzić sensowne rozważania nad światem istot żywych i zjawiskiem życia.

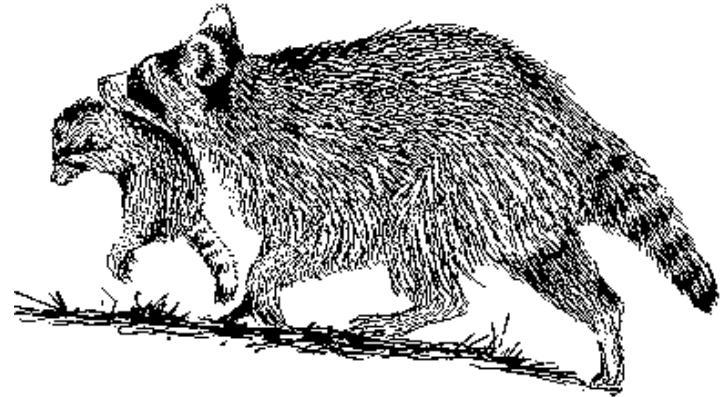
Fundamentem cyklu życiowego jest *dynamika rozwojowa*.



Żaba to nie tylko „kumkający” w trzcinach bezoogoniasty czworonóg, ale także zapłodnione jajo, embrion i kijanka.

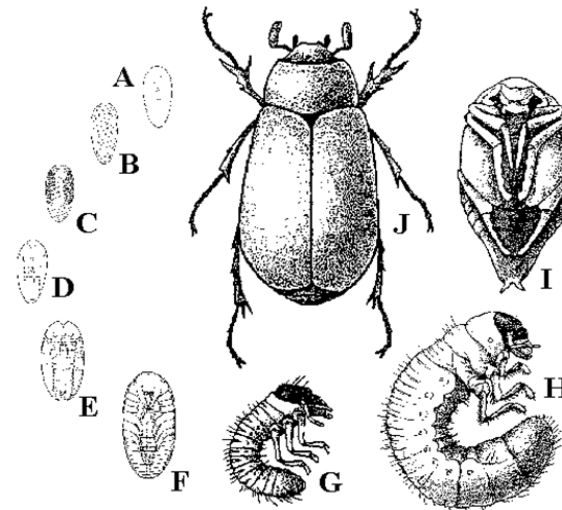
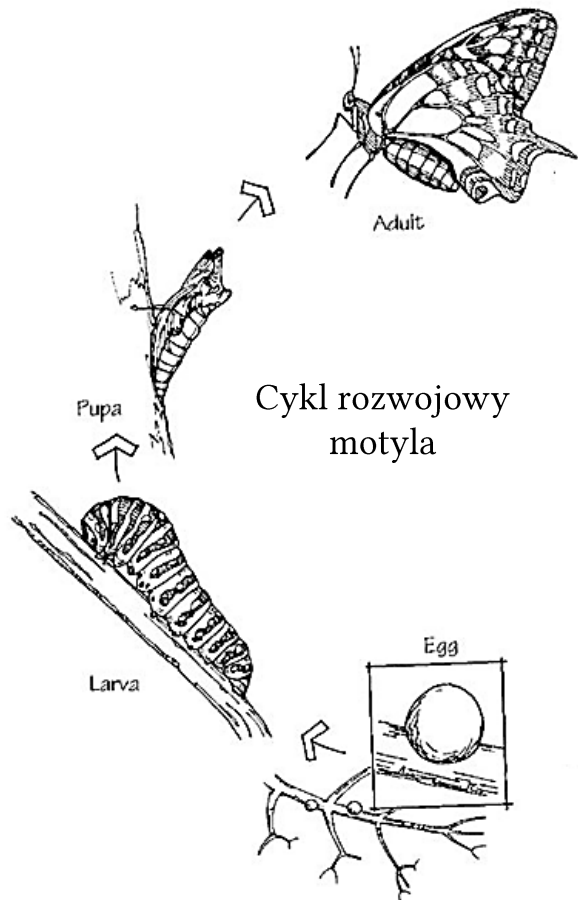
Pojęcie *osobniczego cyklu rozwojowego*
nie jest tożsame
z pojęciem *osobniczego cyklu życiowego*.

Wszak widzimy, że istoty żywe poszukują pożywienia, budują gniazda,
uciekają przed napastnikiem, odbywają wiosenne gody,
opiekują się potomstwem... itp.



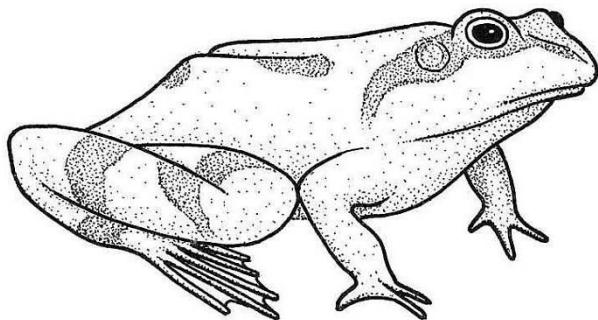
Niemniej jednak *dynamika rozwojowa* wytycza
niearbitralne strukturalno-dynamiczne granice
owej minimalnej *całości* biologicznej, jaką jest osobnik.

Mimo strukturalno-funkcjonalnej zmienności motyl, chrząszcz, jeż, człowiek, dąb...
pozostaje ciągle *tym samym* motylem, chrząszczem, jeżem, człowiekiem, dębem...
tak długo, jak długo trwa jego *dynamika rozwojowa*.



Cykl rozwojowy chrząszcza

Motyl, chrząszcz...
nie ma stałej, niezmiennej masy,
nie ma stałego, niezmiennego kształtu,
nie ma stałej, niezmiennej struktury organów,
nie ma stałego, niezmiennego behavioru.



Nawet wówczas, gdy żaba osiągnie dorosłość, i jej płuca, serce, mięśnie, kości wydają się nie podlegać żadnej zmianie
– bowiem zachowuje takie same kształty, i zachodzą w niej takie same procesy biochemiczne – dynamika rozwojowa ani na chwilę nie ustaje.

Za tą anatomiczno-fizjologiczną stałością kryje się *nieustanna* biosynteza i cytogeneza.

„Klasyczne zastosowanie izotopów w biochemii [...] wykazało, że wszystkie składniki organizmu uczestniczą w ciągłych przemianach. **Białka, lipidy i kwasy nukleinowe są stale odnawiane, stare ulegają rozkładowi, a na ich miejsce powstają ciągle nowe.** Okazało się nawet, że w takich stabilnych tkankach jak chrząstka i kostna, które uważano za pozbawione wszelkiej aktywności metabolicznej, czas życia tworzących się cząsteczek jest bardzo krótki. [...] cząsteczka zdolna przetrwać bez wymiany więcej niż kilka dni jest raczej wyjątkiem niż regułą. [...] Odkrycie tych ciągłych przemian zrewolucjonizowało myślenie biochemików. Zdali sobie sprawę, że **jedną z głównych (jeśli nie podstawową) funkcją organizmu jest stałe odtwarzanie swojej struktury**”.

(S. Rose, S. Bullock, *Chemia życia*, Warszawa, 1993, s. 91.)

Utrzymywanie anatomiczno-fizjologicznego *status quo* wymaga więc

- nieustannej *selektywnej dekompozycji* zużywających się struktur ciała (makromolekuł, organelli, całych komórek) oraz
- nieustannego *odbudowywania* struktur z odzyskanego i wchłoniętego (ze spożytego pokarmu) materiału.

Regeneracja struktur ciała

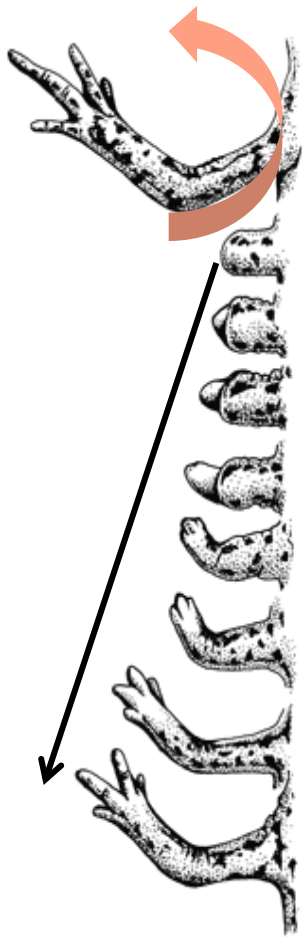
– u podłoża której leży nieprzerwana przemiana metaboliczna –
jest *par excellence* dynamiką rozwojową
i to o zasadniczym dla organizmu znaczeniu.

„In 1935 Rudolf Schoenheimer introduced the isotopic tracer technique in metabolic research. The results of his experiments led to a new view of metabolism and nutrition and the evolution of a **concept of «continual regeneration»**, i.e., of continual release and uptake of substances by the cell and, thus, of a **«dynamic state of body constituents»**”.

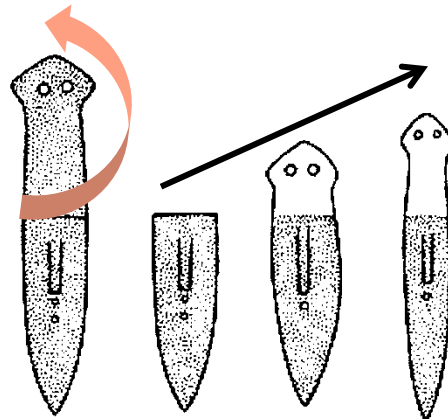
(K.Y. Guggenheim, *Rudolf Schoenheimer and the concept of dynamic state of body constituents*, The Journal of Nutrition 121, 1991, s. 1701.)

Zjawiska regeneracji

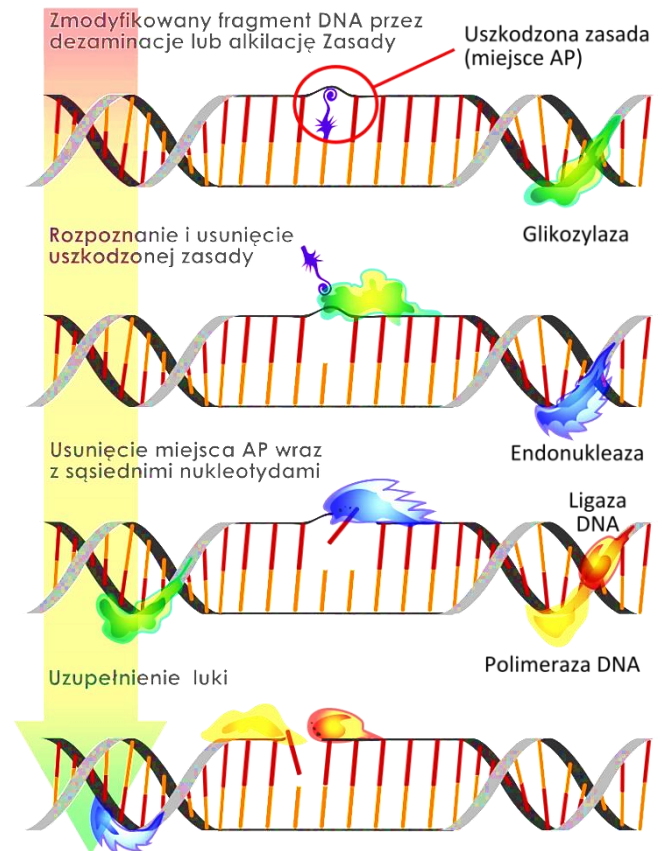
(czy to tzw. fizjologicznej, czy to tzw. traumatycznej) wskazują, że uszkodzenie (a nawet poważne zniszczenie) struktur ciała **nie niszczy dynamiki budowania i odbudowywania struktur** na wszystkich poziomach złożoności organizmu – od anatomicznego do molekularnego.



Regeneracja utraconej
przez traszkę (*Triturus*)
kończyny



Regeneracja wypławka
(*Dugesia tigrina*)



Naprawa DNA przez wycinanie uszkodzonej
zasady i wstawianie prawidłowej

W tej rozwojowej perspektywie organizm żywy wydaje się być nie tyle, i nie przede wszystkim, całościową, funkcjonującą strukturą, która *przejawia* życie, **ile *dynamiką żywą***, której jednym z fundamentalnych przejawów jest ***zintegrowane budowanie oraz nieustanne odbudowywanie różnorodnych struktur ciała***, warunkujących zachodzenie procesów biologicznych lub służących ochronie prawidłowego ich przebiegu.

„[...] **we cannot consider structures as the primary basis of the vital order** [...]. Organic structures are themselves the expression of an ordered process, and are only maintained in and by this process. Therefore, the primary order of organic processes must be sought in the processes themselves, not in pre-established structures. [...] We come therefore to the following conclusion. Primarily, organic processes are determined [...] by a dynamic order as we may call it. [...] The primary nature of dynamic as opposed to a structural or machine-like order, is seen in fields as diverse as those of cell structures, embryonic development, secretion, etc.

[...] organic processes [...] to a greater or less extent always have the character of processes determined within a dynamic system, gives them adaptability to changing circumstances and regulability following disturbances”.

(L. von Bertalanffy, *Problems of life*, New York, 1960, s. 16-18.)

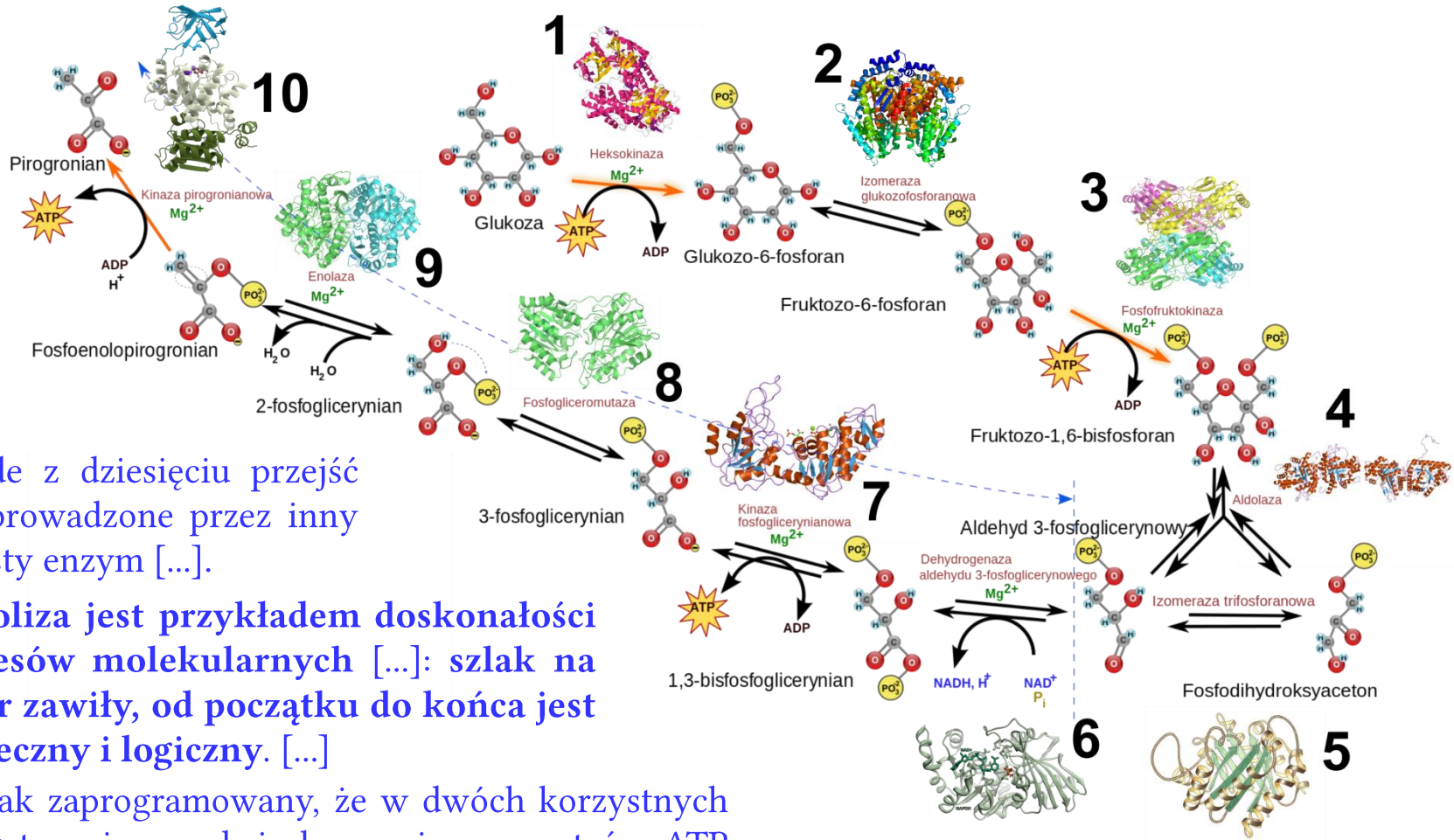
Dla prawidłowego opisu organizmu żywego istotne znaczenie ma odróżnienie

- *dynamiki żywej*
 - *od procesów biologicznych*
 - *oraz dynamiki fizyczno-chemicznej.*

Procesy biologiczne to różnorodne szlaki przemian biochemicznych ściśle określonych substratów w ściśle określone produkty.

Precyzyjne zachodzenie tych przemian warunkowane jest *skorelowanym* działaniem zespołu *specyficznych* struktur biologicznych (tzw. „maszyn” makromolekularnych i organelli), które możemy nazwać *narzędziami biologicznymi*.

Przykładem takich przemian jest proces glikolizy, w który zaangażowane jest skorelowane działanie zespołu 10 swoistych enzymów (*narzędzi biologicznych*) warunkujących przemiany ściśle określonych substratów w ściśle określone produkty.



„Każde z dziesięciu przejść jest prowadzone przez inny swoisty enzym [...]”

Glikoliza jest przykładem doskonałości procesów molekularnych [...]: szlak na pozór zawiły, od początku do końca jest konieczny i logiczny. [...]

Jest tak zaprogramowany, że w dwóch korzystnych energetycznie reakcjach może powstać ATP (adenozynotrójfosforan) [...] używany jako obiegowa waluta komórkowej energii chemicznej.”

(D.S. Goodsell, *Tajemnice życia*, Warszawa, 1995, s. 39.)

SCHEMAT
GLIKOLIZY

W procesach biologicznych jest oczywiście obecna
dynamika fizyczno-chemiczna

(powstawanie wiązań chemicznych, „przeskok” elektronów z jednego atomu na drugi... itp.)
wynikająca z właściwości materii.

Ale w *procesach biologicznych*
dynamika fizyczno-chemiczna
jest wyraźnie ograniczona,

co do

➤miejsca,

➤czasu,

➤formy oraz

➤intensywności.

Procesy biologiczne zachodzące w organizmie żywym są wyrazem ogromnego strukturalnego i dynamicznego *zawężenia* potencjału, jaki kryje w sobie świat cząstek chemicznych („przestrzeń chemiczna”).

Tych selektywnych *ograniczeń* dokonuje *dynamika żywa*.

Dynamika żywa

– w przeciwieństwie do procesu biologicznego –
***nie jest ograniczoną (zawężoną) dynamiką fizyczno-chemiczną,
ale jest dynamiką ograniczającą***
strukturalno-dynamiczne możliwości zawarte w materii
„przestrzeni chemicznej”.

„[...] the chemical compounds used by biological systems represent a staggeringly small fraction of the total possible number of small carbon-based compounds with molecular masses in the same range as those of living systems (that is, less than about 500 daltons). Some estimates of this number are in excess of 10^{60} . The simplest living organisms can function with just a few hundred different types of such molecule, and fewer than 100 account for nearly the entire molecular pool. Moreover, it seems that the total number of different small molecules within our own bodies could be just a few thousand. So, it is clear that, at least in terms of numbers of compounds, «**biologically relevant chemical space**» is only a minute fraction of complete «**chemical space**».”

(C.M. Dobson, *Chemical space and biology*, Nature 432, 2004, s. 824.)

Dynamika żywa

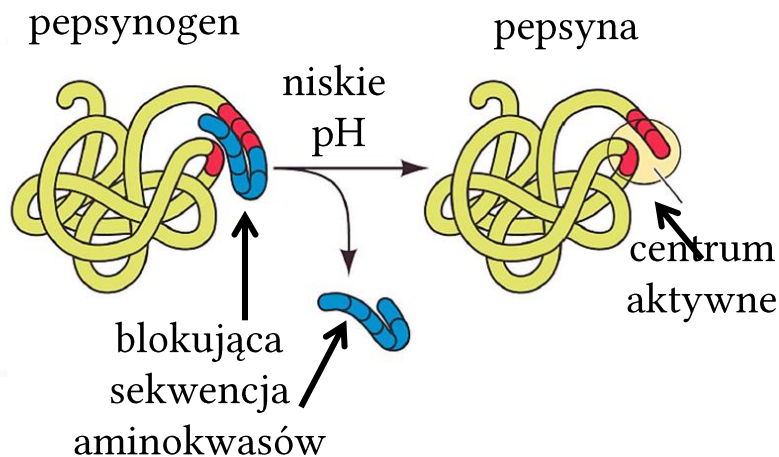
- ani *nie tworzy* „przestrzeni chemicznej”,
- ani *nie wykracza* poza jej strukturalne i dynamiczne możliwości,

ale niejako *podporządkowuje* swoim potrzebom potencjał „przestrzeni chemicznej” poprzez jej selektywne zawężanie.

Tego „zawężania przestrzeni chemicznej” organizm żywy dokonuje m.in. poprzez

- *kształtowanie* ściśle określonych struktur oraz
- *tworzenie* specyficznych warunków, w których te struktury działają.

Pepsyna jest molekularną „maszyną” katalizującą fragmentację spożytych białek na krótsze łańcuchy peptydowe. Nie może być więc syntetyzowana w komórkach głównych żołądka, bo to by doprowadziło do ich zniszczenia.



Organizm żywy (np. człowiek) buduje więc cząsteczkę *pepsynogenu*, czyli pepsyny, która ma 44 dodatkowe aminokwasy blokujące centrum aktywne enzymu.

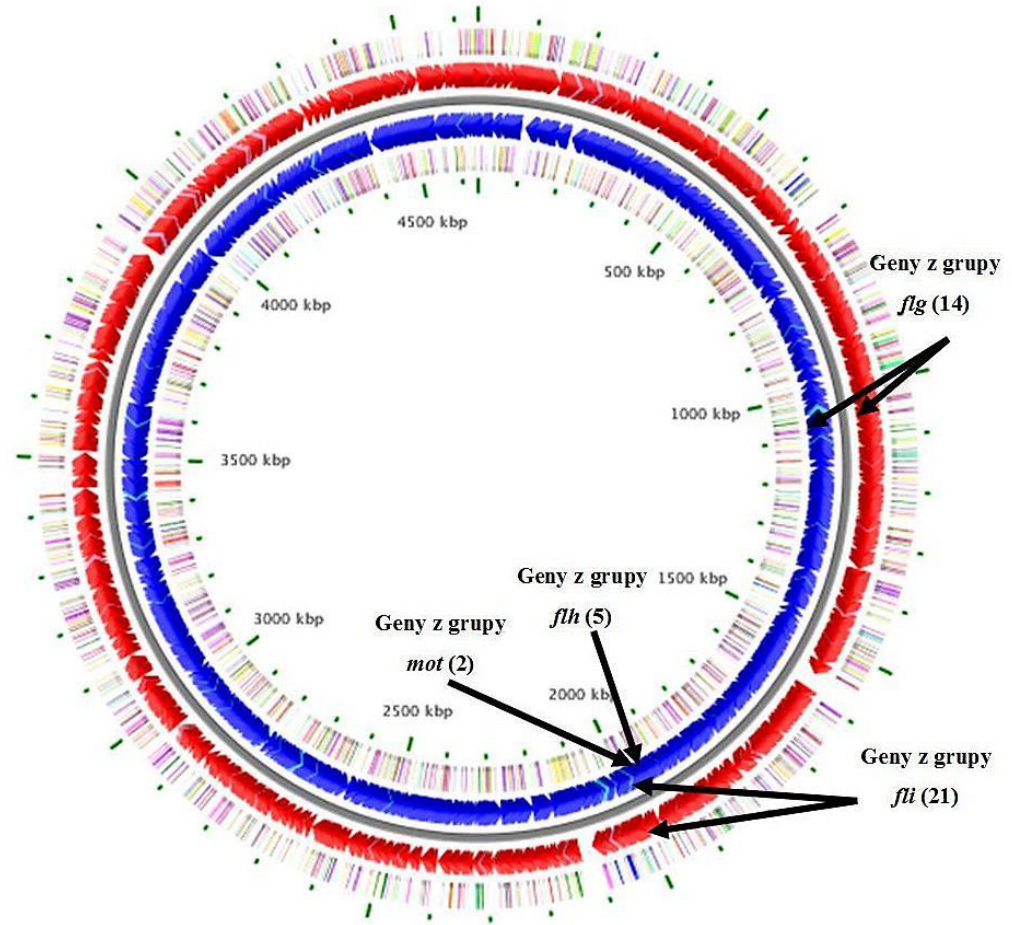
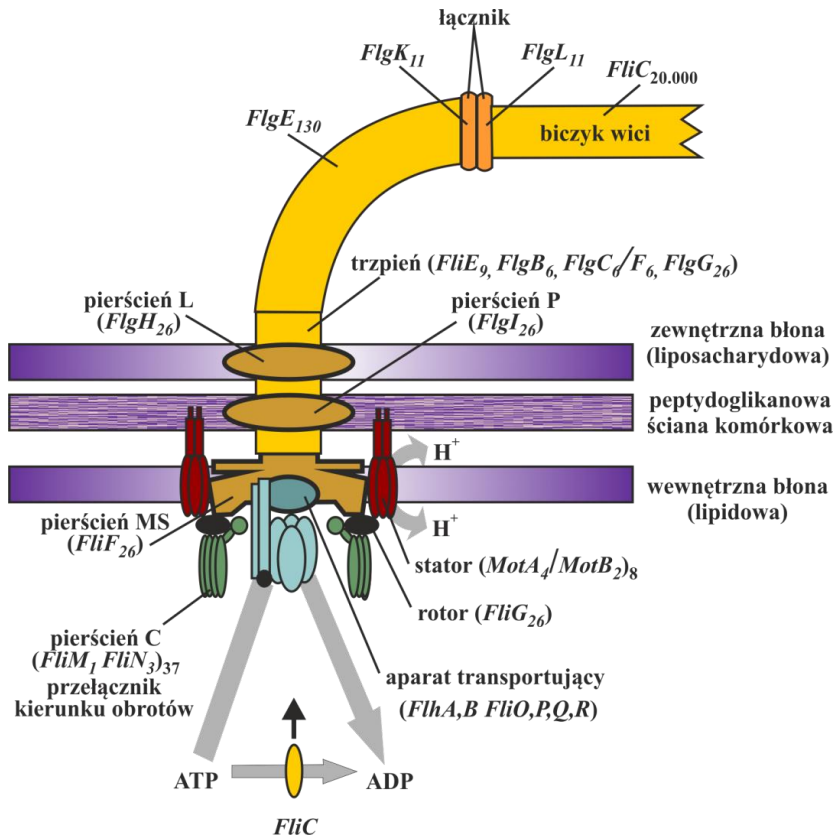
Pepsynogen jest transportowany z komórki do światła żołądka, gdzie w kwaśnym środowisku soku żołądkowego „blokada” centrum aktywnego zostaje usunięta.

Kwaśne środowisko soku żołądkowego jest wynikiem transportu do światła żołądka cząsteczek HCl produkowanych w komórkach wykładzinowych.

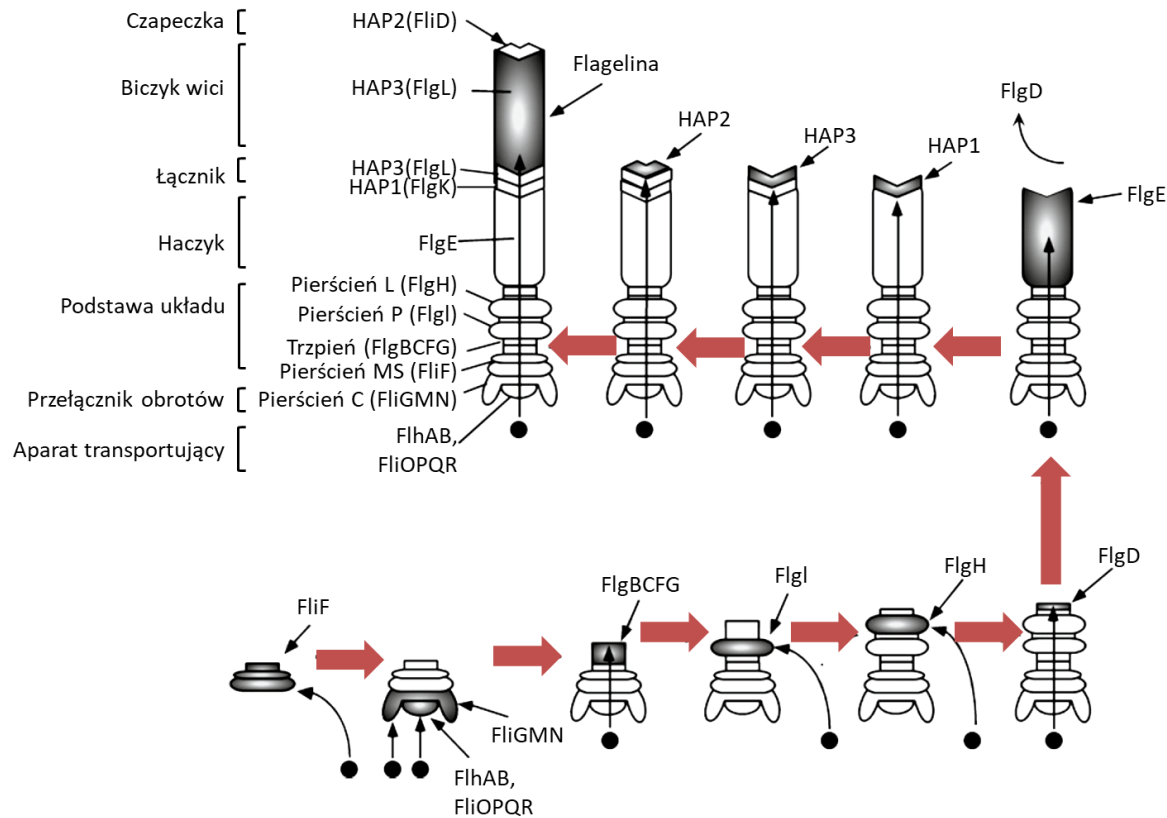
Dynamika żywa z całą wyrazistością przejawia się
w procesach skoordynowanej biosyntezy oraz
w logice morfogenezy, czyli budowania organelli i organów.

Do budowy aparatu lokomocyjnego (silniczka zaopatrzonego w wić) *Escherichia coli* wykorzystuje ok. 50 genów, należących do czterech grup: *flg*, *fli*, *flh*, *mot*.

Są one rozmieszczone na obu niciach DNA i to (niekiedy) w znacznej odległości od siebie.



Wybudowanie funkcjonalnej struktury lokomocyjnej wymaga więc – między innymi – *odnalezienia* właściwych genów i *zsyntetyzowania* na ich podstawie właściwych białek, z których będą *budowane* w *odpowiedniej kolejności* poszczególne części silniczka i wici.



(Na podstawie H. Terashima, S. Kojima, M. Homma, *Flagellar motility in bacteria: structure and function of flagellar motor*, International Review of Cell and Molecular Biology 270, 2008, s. 46: Fig. 2.4.)

Gdy obserwujemy

tutkarza zwijającego liść topoli
w „cygaro” (w którym znajdują się jaja)

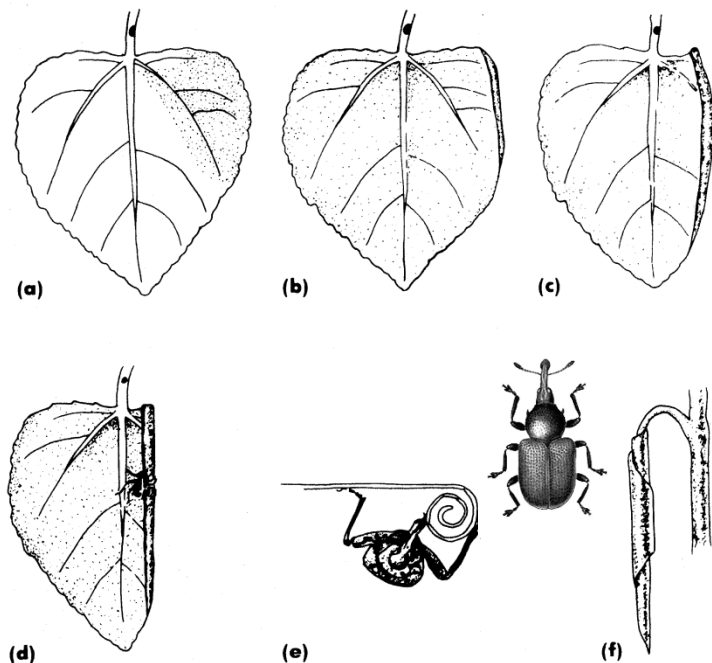


Fig. 4.10 Leaf rolling by a female *Byctiscus populi* beetle. (a) and (b), after a hole is bored in the leaf petiole, its whole surface is perforated to encourage wilting; (c) to (e), the rolling of the leaf begins at one margin, forming a roll parallel to the mid-vein. The beetle uses its legs and its snout to assist rolling. (f) Completed roll (Adapted from Daanje 1975)

Hansell M. H. 1984/113

lub raniuszka budującego gniazdo,

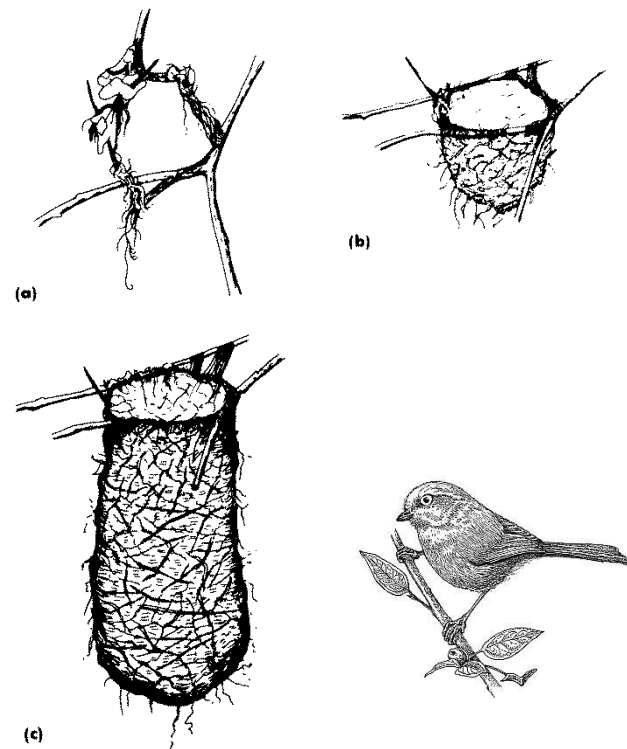


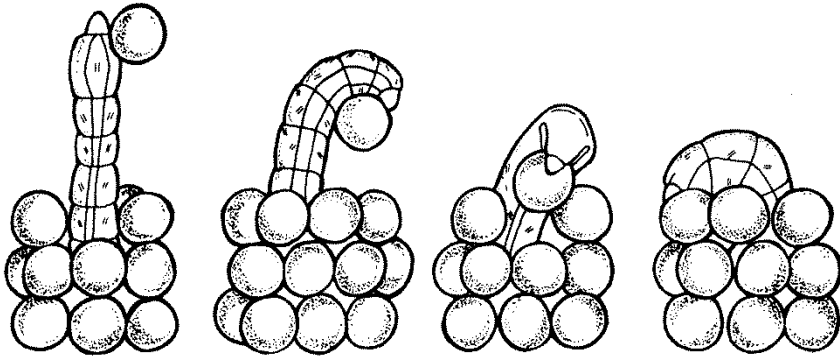
Fig. 4.5 Stages in the construction of the nest of the common bush-tit *Psaltriparus minimus*: (a) the foundation is laid; (b) the initial cup is formed; (c) the nest cup is stretched and strengthened to form a complete cup of much larger size. (Adapted from Addicott 1938)

Hansell M. H. 1984/107

to nie ulega dla nas wątpliwości, że mamy do czynienia
z *behawiorem* tych zwierząt.

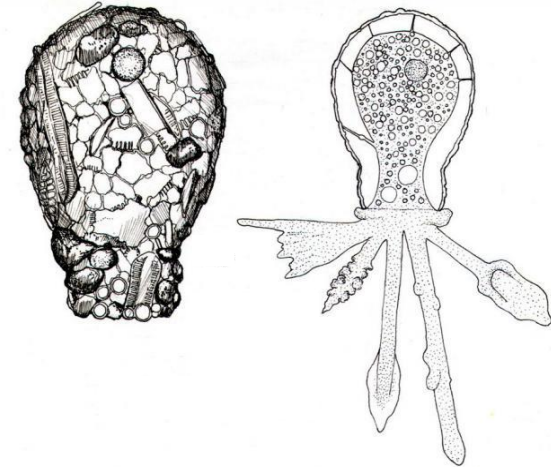
Nie mamy wątpliwości nawet w odniesieniu do „prymitywnych”

skąposzczetów budujących domki z zarodników mchów lub paproci



Dero (Aulophorus) carteri (Oligochaeta)
buduje domek sklejjąc zarodniki

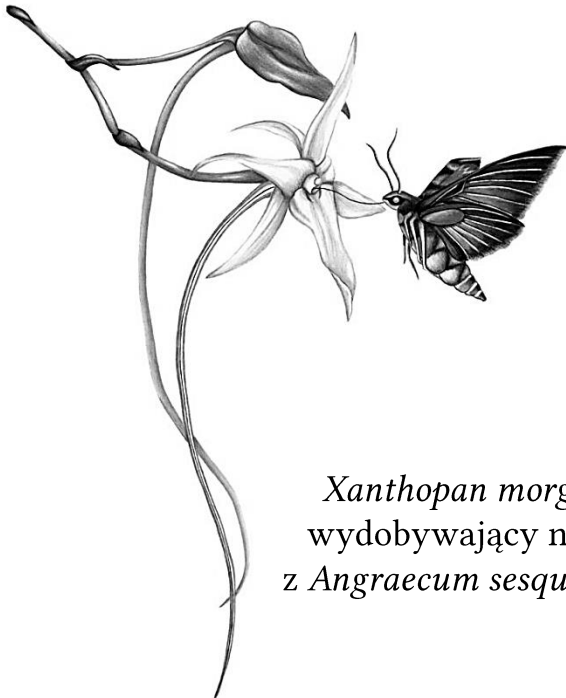
czy jednokomórkowych korzenionózek budujących domki z ziarenek piasku.



Diffugia capreolata (Rhizopoda)
Buduje domek z piasku za pomocą pseudopodiów

W każdym rodzaju behawioru (zachowania się) istoty żywej – czy to będzie budowanie gniazda przez raniuszka, czy zdobywanie nektaru przez zawisaka – niezbędne jest:

- posiadanie odpowiednich *narzędzi biologicznych*,
- umiejętne *posługiwanie się* tymi narzędziami, oraz
- jakaś forma *orientacji* w otoczeniu, jak również w strukturach własnego ciała.



Xanthopan morganii
wydobywający nektar
z *Angraecum sesquipedale*

Jest to – jak się wydaje – minimalny kontekst rozważań nad behawiorem, zarówno tym niewyuczonym (instynktownym), jak i tym wynikającym z doświadczenia, uczenia się.

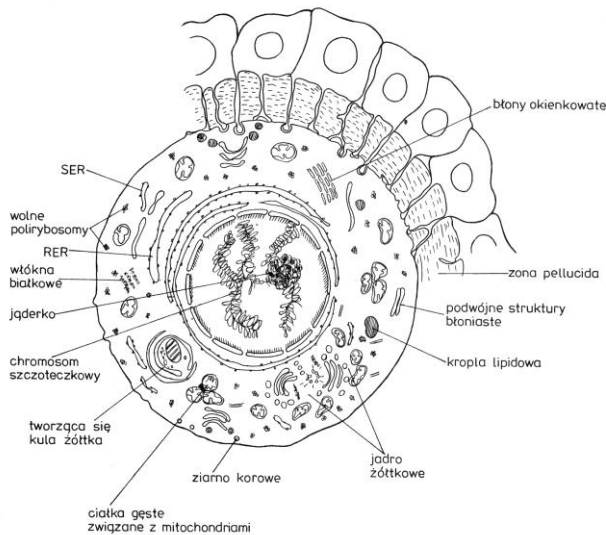
W trakcie rozwoju osobnika (budowania struktur ciała) również wykorzystywane są *narzędzia biologiczne*

- początkowo te, które zostały ukształtowane przez organizm rodzicielski i przekazane potomkowi jako elementy „posagu”,
- a następnie te, które potomek sam sobie wybudował.

Niezbędna jest także jakaś forma *orientacji*

- zarówno w otoczeniu,
- jak i we własnej bytowości.

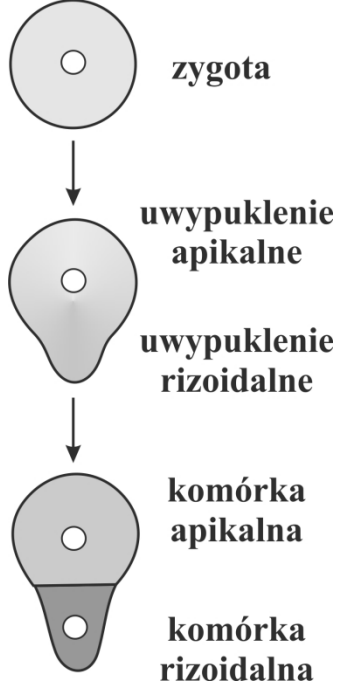
Zasadniczo każdy organizm żywy rozwija się (a przynajmniej może się rozwijać) z pojedynczej komórki, co jest oczywiste w odniesieniu do organizmów jednokomórkowych.



Komórka jajowa ssaka

W przypadku roślin i zwierząt wielokomórkowych tą pojedynczą komórką jest to przede wszystkim zapłodniona komórka jajowa zawierająca swego rodzaju „posag”, ukształtowany przez organizmy rodzicielskie (głównie organizm matczyny). Ten „posag” zawiera podstawowe organelle, takie jak np. mitochondria, rybosomy, reticulum endoplazmatyczne, jądro komórkowe (z nićmi DNA).

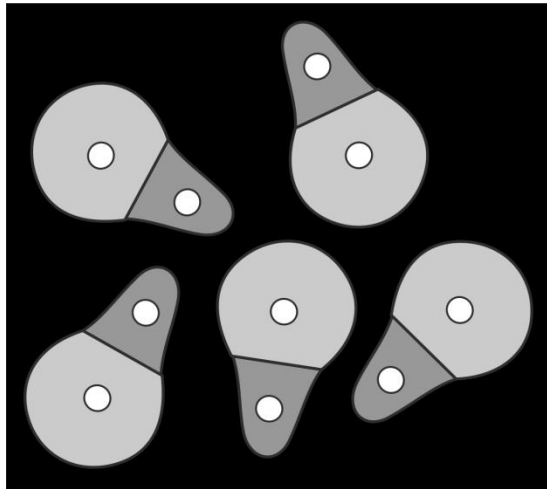
Ponadto w komórce jajowej znajdują się duże ilości matrycowego RNA (tzw. matczynego RNA) umożliwiającego szybką biosyntezę niezbędnych białek (dopóki organizm nie wybuduje własnego, systemu translacyjno-transkrypcyjnego). Jest tam też pewna porcja niezbędnych enzymów i białek receptorowych, jak również aminokwasów, tłuszczów, cukrów i soli mineralnych, stanowiących źródło niezbędnych do rozwoju materiałów budulcowych



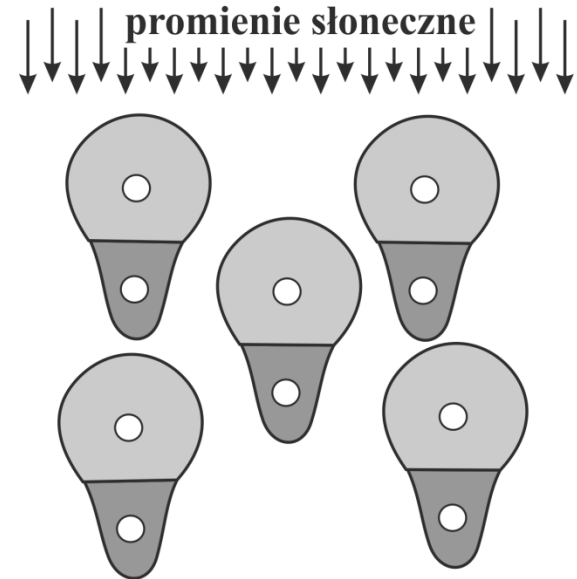
Zapłodniona komórka jajowa morskczynu (*Fucus vesiculosus*) jest kulista, ma centralnie położone jądro i równomiernie rozmieszczone organelle komórkowe.

Mniej więcej w 15 godzin po zapłodnieniu promienista symetria zanika. Na jednym biegunie komórki tworzy się tzw. uwypuklenie rizoidalne, z którego będzie kształtowana przyłga (rizoid). Po upływie dalszych 8-10 godzin powstaje drugie jądro komórkowe oraz ściana komórkowa.

W ten sposób *Fucus* buduje dwie nierówne komórki: rizoidalną – zapoczątkowującą kształtowanie przyłgi (za pomocą której roślina przytwierdzi się do podłoża) oraz apikalną – zapoczątkowującą kształtowanie liściopodobnej plechy, w której będzie zachodziła fotosynteza.



Jeśli zygoty rozwijają się w ciemności, wówczas roślina w dowolny sposób wyznacza sobie biegun, na którym powstanie komórka apikalna i rizoidalna.



Gdy zygoty są oświetlone, wówczas komórki apikalne powstają na biegunie skierowanym ku światłu, a rizoidalne ku zacienionej części środowiska.

Wydaje się nie ulegać wątpliwości, że *Fucus* orientuje się zarówno w intensywności i kierunku oświetlenia, jak i w tym, w których komórkach jego ciała będą budowane chloroplasty.

Orientację w oświetleniu warunkują kryptochromy, czyli fotoreceptory światła niebieskiego.

Ale kryptochromy
ani *nie* orientują się w oświetleniu,
ani *nie* „sterują” zachowaniem się rośliny.

To *Fucus* orientuje się w intensywności oświetlenia i zachowuje się stosownie do zdobytej orientacji.



Cryptochromes are a class of flavoproteins that are sensitive to blue light.
In plants, blue-light photoreception can be used to cue developmental signals.

(C.A. Brautigam et al., *Structure of the photolyase-like domain of cryptochrome 1 from Arabidopsis thaliana*, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 101 (33): 12142-12147.)



Orientacja
stanowi konieczny warunek
selektywnych,
zintegrowanych
działań istoty żywej.

Etolodzy wyodrębniają różne rodzaje behawioru
– poszukiwawczy, obronny, opiekuńczy, godowy... itp. –
**ale w każdym rodzaju behawioru mamy do czynienia
z zachowaniem się osobnika jako całości.**

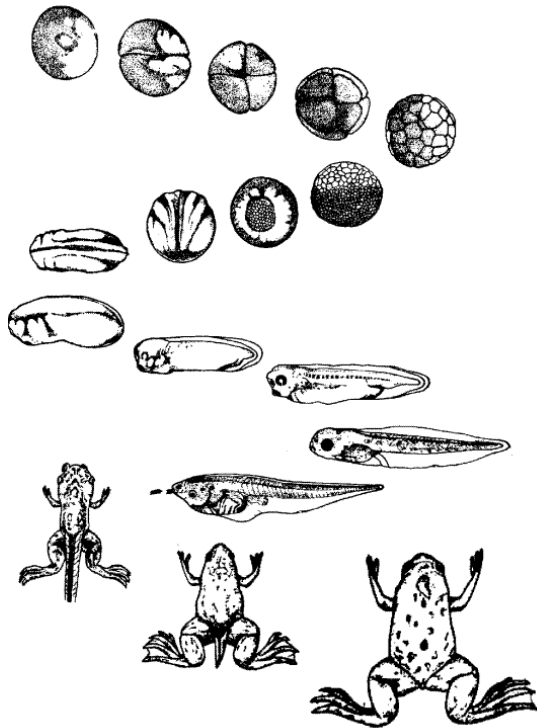
Podobnie jest z rozwojem,
który w najwyższym stopniu zasługuje na miano
całościowego, zintegrowanego behawioru
bez względu na to, na jakim etapie swego cyklu życiowego
znajduje się dany osobnik
(zygoty, gastruli, larwy, poczwarki, imago... itp.).

„[...] **there is a unity of the whole organism – it develops as a whole, and acts as a whole – and this unity is not a secondary or composite thing, but primary and original.** To distinguish cells as independent unities, having their own modes of action independent of the action of the whole, is to regard them abstractly, and to introduce an artificial simplification [...]. **The ovum and the embryo are from the very beginning unitary organisms [...]. The unity of the organism is not something which comes to be during the course of development, but is there *ab initio*.**”

(E.S. Russell, *The interpretation of development and heredity*, Oxford, 1930, s. 234-235.)

Behavior rozwojowy jest *fundamentalną dynamiką* istoty żywej:

- która niejako „definiuje” pojedynczy cykl życiowy (osobnika) i gwarantuje jego tożsamość,
- i dzięki której powstają struktury ciała oraz zachodzą procesy biologiczne warunkujące wszystkie inne formy behavioru obserwowane w poszczególnych etapach cyklu życiowego.



„Podziały jaja na komórki nie zmieniają faktu, że rozwijający się organizm pozostaje scalonym systemem [...]. Trzeba o tym pamiętać, pomimo nieuchwytnego mechanizmu tej integracji.

[...] niezależnie od tego jaki jest przebieg rozwoju i ostateczna forma zwierzęcia, wszystkie [...] podlegają różnym kolejnym przemianom w ściśle skoordynowany sposób. [...]

Z jaja, które jest pojedynczą komórką, po zapłodnieniu rozwija się kijanka zaopatrzona w przyssawkę i skrzela zewnętrzne, aby następnie zmienić się w formę dorosłą bez przyssawek i z płucami wewnętrznymi [...] po czym zaczyna się metamorfoza, i to co było kijanką staje się młodą żabką różniącą się od kijanki prawie wszystkimi swoimi cechami. [...] **A wszystko to jest «żabą».**”

(N.J. Berrill, G. Karp, *Biologia rozwoju*, Warszawa, 1983, s. 10-12.)

Rozpoczęliśmy cytatem z Marcela Prousta,
zakończmy refleksją Thomasa Manna:

„Czymże więc jest życie? [...]

Jeżeli można o tym cokolwiek powiedzieć, to chyba to, że struktura jego jest widocznie tak skomplikowana, iż w świecie nieożywionym nie napotyka się nic, co by ją w przybliżeniu choćby przypominało. Różnica pomiędzy amebą a zwierzęciem kręgowym jest nieznaczna, nieistotna w porównaniu z różnicą, jaka istnieje między najprostszym zjawiskiem życia a ową naturą, która nie zasługuje nawet na miano martwej [...]. między życiem a nieożywioną naturą zieje przepaść, ponad którą na próżno usiłuje się przerzucić pomost. [...]

Czymże tedy jest życie?”

(T. Mann, *Czarodziejska góra*, t. 1, Warszawa, 1982, s. 275-276.)