



**Ewolucja diety i nutrigenomika**

- 1. Dieta a ewolucja człowieka**
  - Znaczenie diety
  - Gotowanie jako adaptacja
  - Udomowienie
  - Tłuszcze trans
- 2. Zróżnicowanie gatunkowe**
  - Baza żywieniowa
  - Kłopoty z pszenicą
  - Gatunki alternatywne
- 3. Nutrigenomika**
  - Definicja
  - Molekularne podstawy żywienia

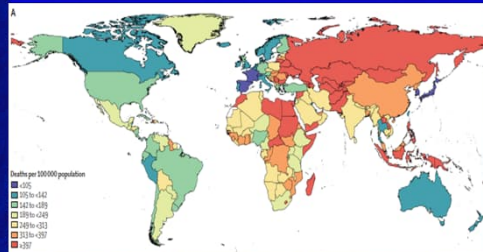


## 1. Dieta a ewolucja człowieka: znaczenie

W 2017 r. 11 mln zgonów na świecie oraz 255 mln przypadków niepełnosprawności było związane z dietą.

### Dieta a zdrowie

- Spośród 11 mln zgonów związanych z dietą najczęściej dotyczyło chorób sercowo-naczyniowych, nowotworów, cukrzycy typu 2.
- 46% wszystkich zgonów z powodu diety dotyczy osób poniżej 70 lat.
- Śmiertelność z powodu czynników ryzyka w diecie:
  - 3 mln (27%): zbyt wysoki poziom sodu;
  - 3 mln (27%): zbyt niski udział nieprzetworzonych nasion;
  - 2 mln (18%): zbyt mało owoców.



Śmiertelność na 100 tys. związana z dietą w roku 2017. Najwięcej zgonów na 100 tys. związanych ze złą dietą zanotowano w Egipcie (552), najmniej w Japonii (97). W Polsce zgony związane z dietą lokalizują się w przedziale 189-249 i są wyższe niż w krajach Europy Zachodniej oraz obu Ameryk. Głównym czynnikiem ryzyka we wschodniej Azji była wysoka zawartość sodu w diecie. Natomiast we wszystkich populacjach czynnikiem ryzyka był wysoki udział wysoko przetworzonego mięsa, tłuszczu trans i cukrów w napojach.

**Dieta optymalna: dieta dostarczająca takich ilości składników odżywczych, które redukują ryzyko zgonu z powodu chorób związanych z dietą.**

GBD Diet Collaborators, 2017



## 1. Dieta a ewolucja człowieka: znaczenie

Składniki pokarmowe zawarte w diecie wpływają na szlaki sygnałowe przez aktywację różnorodnych receptorów.

### Przykłady działania roślinnych składników pokarmowych

- Flawonoidy: silne działanie antyoksydacyjne zwłaszcza w przewodzie pokarmowym.
- Izoflawonoidy współdziałają z receptorami estrogenowymi, obniżają ryzyko nowotworów piersi.
- Karotenoidy: wpływają na sygnalizację komórek, przekształcane są w witaminę A, antyoksydanty.
- Błonnik: wysoki poziom koreluje z redukcją ryzyka cukrzycy i otyłości.



**Zróżnicowana dieta z dużym udziałem nieprzetworzonych produktów roślinnych zmniejsza ryzyko chorób przewlekłych.**

Martin et al., 2011

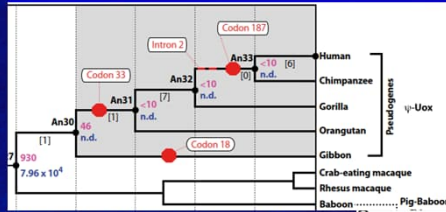


## 1. Dieta a ewolucja człowieka: znaczenie

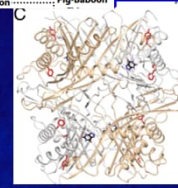
Pierwotne środowisko przodków człowieka obejmowało lasy deszczowe z dostępem do różnorodnych owoców.

Zasoby pokarmowe jako czynnik selekcyjny

- Ewolucja enzymów FADS I i II (desaturazy kwasów tłuszczowych) umożliwiła wykorzystanie kwasu oleinowego obecnego w pokarmie zwierzęcym.
- Zwiększenie liczby kopii genów kodujących amylazę (*Amy1*) w populacjach z dietą wysokoskrobiową.
- Tolerancja na etanol, który miał znaczenie odkażające i zmniejszył prawdopodobieństwo kamieni żółciowych.



Filogeneza rodziny urykazy u ssaków. Enzym katalizuje utlenianie kwasu moczowego, występuje w wszystkich kręgowców z wyjątkiem małp człekokształtnych i człowieka. Brak aktywności urykazy jest wynikiem mutacji nonsensownych. mRNA jest obecny w wątrobie, ale jest krótszy. Utrata aktywności nastąpiła w miocenie (17 mln lat temu) jako przystosowanie do akumulowania tłuszczów przez metabolizm fruktozy z owoców.



Struktura urykazy z zaznaczonymi na czerwono zmianami.

2-3 mln lat temu zmiana klimatu spowodowała skurczenie się lasów deszczowych i pojawienie się otwartych terenów porośniętych trawą.

Kratzer et al., 2014; James et al., 2019

## 1. Dieta a ewolucja człowieka: gotowanie

Zdolność do przetwarzania żywności powstała jako przystosowanie dostarczające odpowiednią ilość kalorii w okresie zlodowaceń.

Różnice między dietą pierwotnych populacji zbieracko-łowickich a dietą małp

- Człowiek konsumuje więcej pożywienia
- Udział korzeni roślin jest większy w diecie człowieka
- W okresach zimnych ilość kalorii dostarczanej przez surową żywność jest niewystarczająca;
- Człowiek wykorzystuje różnorodne techniki obróbki żywności w celu zwiększenia kaloryczności i redukcji toksyczności.



Średni czas specjacji wynosi 15 000-20 000 lat, jednakże może on być znacznie krótszy (np. 5 000 lat u ssaków) pod wpływem szybko zmieniającego się środowiska.

- 250 000 lat temu: hominidy wykorzystywały ogień do przygotowania żywności.
- 60 000-48 000 lat temu: Neandertalcy wykorzystywał ogień, Jaskinia Kebara, Izrael .
- 20 000 lat temu: gotowanie było niezbędne do obróbki ziaren zbóż.

Adaptacja do spożywania gotowanych pokarmów obejmuje: małe zęby, długie jelito cienkie i krótkie jelito grube, szybki przepływ jelita, zredukowana zdolność detoksykacji.



## 1. Dieta a ewolucja człowieka: gotowanie

**Gotowanie umożliwia kondensację składników odżywczych w żywności i tym samym dostarcza potrzebnej ilości kalorii.**

Surowa żywność zawiera około 80% wody. Około 2000 kcal jest dostarczane przez 3-5 kg surowych produktów. Dzikie owoce i warzywa zawierają mniej wody niż uprawne.

Składnik	Masa zielona [g]	Procent masy ciała <sup>1</sup> [%]	Masa sucha [g]	Woda [%]	Tłuszcz [% DZ <sup>2</sup> ]	Białko [%DZ]
Owoce i warzywa korzeniowe, liściaste	5 000	9,2	597	88	2,6	14
Owoce i warzywa liściaste	4 145	7,6	829	80	2,6	14
Owoce, warzywa liściaste i surowe mięso	2 951	5,4	590	80	2,6	27

<sup>1</sup>Kalkulacja dla kobiety o wadze 54 kg i wzroście 160 cm; <sup>2</sup>%DZ: procent dziennego zapotrzebowania

**Okolo 2000 kcal jest dostarczane przez 1 900 g żywności gotowanej co stanowi 3,5% masy ciała. Gotowanie skraca czas przeżuwania żywności.**

Wrangham i Conklin-Brittain, 2011



## 1. Dieta a ewolucja człowieka: udomowienie

**Udomowienie: przekształcenie gatunku dzikiego w taką formę, której cykl życiowy zależy od człowieka.**

**Udomowienie zbóż rozpoczęło się 10 000 lat p.n.e., po ustąpieniu lodowca plejstoceniowego.**

- Udomowienie zachodziło na wielu obszarach jednocześnie, w tym na terenach obecnej Syrii, Libanu, Izraela, Turcji.
- Rewolucja neolityczna: okres 6000 lat (10 000-4 000 lat p.n.e.), w którym udomowiono wszystkie zboża.
- Motorem rewolucji neolitycznej byli pra-Indoeuropejczycy, którzy dyfuzyjnie rozprzestrzenili w Europie rolnictwo, migrując od stepów czarnomorskich na zachód.



Hipoteza kurhanowa migracji Praindo-europejczyków



Hipoteza Renfrew (anatolijska) migracji Praindo-europejczyków.

**Udomowienie to symbioza, z której korzyści czerpią wszystkie zaangażowane gatunki: roślina ma ochronę przed konkurencyjnymi gatunkami i patogenami, człowiek łatwo dostępne pożywienie.**



## 1. Dieta a ewolucja człowieka: udomowienie

Jęczmień udomowiono 9 000 lat p.n.e. i jest najstarszym udomowionym gatunkiem zbóż.

### Jęczmień (*Hordeum vulgare*)

- Nazwa pochodzi od słowa „jęczin”, czyli czegoś ostrego. Nazwa nawiązuje do ości jęczmiennych.
- Kasza jęczmienna była produktem pożądanym u Słowian.
- Zawiera dużo białka, błonnika i witamin.
- Zawiera gluten (białko roślinne).
- Duża zawartość węglowodanów uczyniła z niego cenny surowiec do produkcji piwa:
  - piwo: od prasłowiańskiego „pivo”, od czasownika „piti”, oznacza jakiegokolwiek napój.

„A co to za wężal, co się wszystkim kłania”?



Występuje w postaci dwu- i sześciorzędowej, które tworzą jeden gatunek biologiczny.

Dodawanie do piwa szyszek chmielu, które nadają mu swoistą goryczkę dzięki zawartości tanin jest pomysłem Słowianek. Do piwa dodawano także bylicę pólun, bez czarny, dziurawiec, krwawnik, lulek czarny, bagno.



## 1. Dieta a ewolucja człowieka: udomowienie

Pszenica wyewoluowała 850-500 tys. lat temu w wyniku spontanicznych krzyżowań, udomowiona 8000-6000 lat p.n.e.

### Pszenica (*Triticum aestivum*)

- Nazwa pochodzi od „pchać”: tłuc, trzeć, rozgniatać. Nawiązuje do sposobu przetwarzania ziaren.
- Pierwotnie uprawiano pszenicę samopszą (*T. urartu*,  $2n = 2x$ ).
- Pszenica płaskurka (*T. turgidum*) oraz pszenica twarda (*T. durum*) są gatunkami tetraploidalnymi. Pszenica twarda zawiera dużo błonnika i wykorzystywana jest w produkcji makaronów.
- Pszenica zwyczajna i orkisz są gatunkami heksaploidalnymi. Orkisz powstał już po udomowieniu pszenicy.



W kulturze słowiańskiej pszenica ma znaczenie praktyczne (wypieka się chleb) i uświęcone (wypieka się świąteczne bułki).

Wszystkie gatunki pszenic zawierają gluten (białko, które nadaje elastyczność wyrobom). Orkisz zawiera więcej białka, witamin i soli mineralnych niż pszenica zwyczajna, ale zawiera mało lizyny i treoniny.



## 1. Dieta a ewolucja człowieka: udomowienie

Pierwsze nasiona żyta znajdowane są w neolitycznych osadach z 9000 lat p.n.e., ale udomowiono je dopiero 3000-2000 lat p.n.e.

### Żyto (*Secale cereale*)

- Nazwa pochodzi od „żyć”: służy życiu, daje życie, pierwotnie dotyczyła wszystkich zbóż, potem stała się nazwą gatunkową.
- Początkowo uważano żyto za chwast w zasiewach pszenicy i jęczmienia.
- Cechuje się dobrą odpornością na mróz, suszę, ma mniejsze wymagania glebowe od pszenicy i jęczmienia.
- Żyto zawiera gluten.
- Produkuje się z niego whisky, gin, piwo, bimber.



Żyto w wienku dożynkowym.

Pszenżyto: mieszaniec pomiędzy żytem i pszenicą, częściowo sterylny. Opisany w 1875 r. Uprawa od lat 50-tych XX wieku.

Chleb żytni ma więcej minerałów, związków fenolowych i mniej kalorii niż pszeniczny. Duża zawartość błonnika sprzyja odchudzaniu.



## 1. Dieta a ewolucja człowieka: udomowienie

Owies udomowiono 4000 lat p.n.e. Owies jest heksaploidem, który powstał w wyniku spontanicznych krzyżowań międzygatunkowych.

### Owies siewny (*Avena sativa*)

- „Owies” to słowo prasłowiańskie.
- Początkowo występował jako chwast w zasiewach pszenicy i jęczmienia.
- Toleruje słabe gleby.
- Zawiera szereg korzystnych dla zdrowia, nienasyconych kwasów tłuszczowych (9%), dużo białka (15%) i błonnika (2%).
- Zawiera polifenole o działaniu przeciwzapalnym i antyalergicznym.
- Zawiera witaminy A, K, C oraz B.
- Nalewka z owsa ma działanie uspokajające.



Owies nie zawiera glutenu i może być stosowany w diecie osób chorych na celiakię.

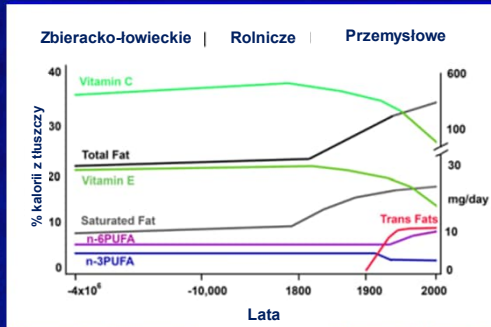


## 1. Dieta a ewolucja człowieka: udomowienie

Począwszy od rewolucji neolitycznej drastycznie zmieniły się zwyczaje żywieniowe populacji ludzkich.

### Zmiana zwyczajów żywieniowych

- Zmniejszenie spożycia warzyw i owoców spowodowało spadek dostarczanej witaminy C z 550-1800 g/dzień w populacjach zbieracko-łowieckich do 77-710 g/dzień w współczesnych populacjach europejskich.
- Zmiana proporcji między kwasami omega-3 (n-3PUFA) i omega-6 (n-6 PUFA). Do 1900 r. stosunek ten był 40-45% omega-3 i 55-60% omega-6. Obecnie wynosi 20% omega-3 i 80% omega-6. Do diety wprowadzono tłuszcze trans.



Hipotetyczny schemat dostarczania składników pokarmowych w populacjach zbieracko-łowieckich, rolniczych i przemysłowych. Dane na podstawie analizy współczesnych populacji zbieracko-łowieckich oraz zmian żywieniowych w ostatnich 100 latach.

Ewolucyjnie populacje ludzkie przystosowane są do diety ubogiej w tłuszcze i skrobię, bogatej w białka.

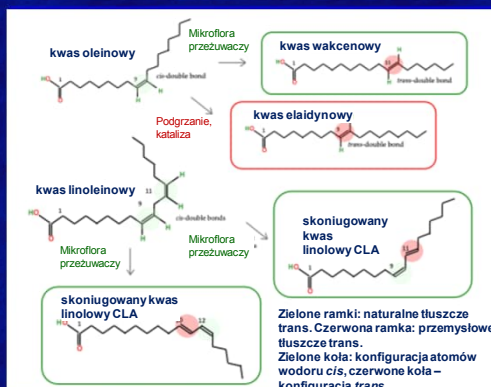


## 1. Dieta a ewolucja człowieka: tłuszcze trans

Tłuszcze trans: nienasycone kwasy tłuszczowe zawierające co najmniej jedno podwójne wiązanie w konfiguracji *trans*.

### Kwasy tłuszczowe typu trans (TFA)

- Naturalne (nTFA): powstają w wyniku fermentacji w przewodzie pokarmowym zwierząt, głównie przeżuwających. Zawartość w produktach zwierzęcych: 4-5%.
- Przemysłowe (iTFA): powstają w wyniku uwodornienia nasyconych tłuszczów roślinnych lub rybich. Celem jest zmiana konsystencji, wyższa trwałość i lepszy smak. Zawartość w produktach, np. olejach może dochodzić do 60%.



Struktura chemiczna TFA. Kwas wakcenyowy i skoniugowany kwas linolowy są silnymi antyoksydantami i działaniu korzystnym. Występują w maśle.

Naturalne tłuszcze trans uważa się za nieszkodliwe, a nawet korzystne. Wynika to z innego profilu nTFA niż przemysłowych tłuszczów trans (iTFA).

Pipoyan et al. 2021

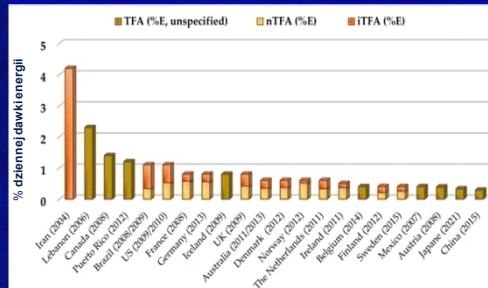


## 1. Dieta a ewolucja człowieka: tłuszcze trans

**Duży udział przemysłowych tłuszczów trans w diecie istotnie zwiększa ryzyko wielu chorób, w tym chorób serca.**

### Wpływ przemysłowych tłuszczów trans na zdrowie

- Zwiększają ryzyko cukrzycy oraz insulinooporność wpływając na „insulinowe” szlaki sygnałowe za pomocą kinaz.
- Zwiększają ryzyko choroby niedokrwiennej serca przez zmianę metabolizmu kwasów tłuszczowych i w efekcie zmianę składu fosfolipidów w aocicie.
- Prowadzą do przewlekłego stanu zapalnego; wysoka konsumpcja związana jest z podwyższonym poziomem markerów stanu zapalnego.



Procent energii pochodzącej z tłuszczów trans w diecie mieszkańców różnych państw. W krajach europejskich energia pochodząca z tłuszczów stanowi nie więcej niż 1%. W większości państw europejskich przeważają naturalne tłuszcze trans. W USA tłuszcze przemysłowe i naturalne dostarczają porównywalną ilość energii. W Iranie energia z tłuszczów trans stanowi 4% i są to tłuszcze pochodzenia przemysłowego.

**W wielu państwach wprowadzono ograniczenia zawartości przemysłowych tłuszczów trans w żywności. W Unii Europejskiej limit wynosi 2%.**

Pipoyan et al. 2021

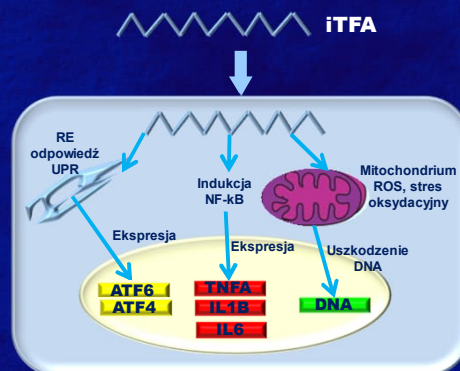


## 1. Dieta a ewolucja człowieka: tłuszcze trans

**Przemysłowe tłuszcze trans indukują stan zapalny i stres w obrębie retikulum endoplazmatycznego (RE).**

### Mechanizm działania tłuszczów trans

- Indukcja szlaku sygnałowego NF-κB (białko kontrolujące transkrypcję i odpowiedź immunologiczną).
- Wzrost zawartości IL1B i IL6 w komórkach krwi obwodowej, ekspresja TNFα (cytokina zapalna produkowana przez makrofagi), ekspresja prowadzi do nekrozy i apoptozy.
- Powstają błędnie uformowane białka w RE, co powoduje stres i odpowiedź UPR, związaną z aktywacją białek opiekuńczych.



Molekularny mechanizm działania przemysłowych kwasów tłuszczowych typu trans w komórkach ssaków.

**Przemysłowe tłuszcze trans prowadzą do gromadzenia się tłuszczu w wątrobie zamiast w tkance tłuszczowej.**

Oteng i Kersten 2020





## Ewolucja diety i nutrigenomika

### 1. Dieta a ewolucja człowieka

- Znaczenie diety
- Gotowanie jako adaptacja
- Udomowienie
- Tłuszcze trans

### 2. Zróżnicowanie gatunkowe

- Baza żywniowa
- Kłopoty z pszenicą
- Gatunki alternatywne

### 3. Nutrigenomika

- Definicja
- Molekularne podstawy żywienia



## 1. Ewolucja diety: zróżnicowanie gatunkowe

**We wszystkich okresach rozwojowych populacje ludzkie miały tendencję do specjalizacji i ograniczania bazy pokarmowej.**

- Wyróżnia się 300 000-500 000 gatunków roślin wyższych:
  - 6 000-7 000 to znane rośliny uprawne;
  - 25 000 to rośliny o znanym działaniu leczniczym.
- 120 gatunków roślin jest obecnie uprawianych w różnych regionach.
- Zaledwie 30 gatunków roślin stanowi bazę pokarmową współczesnego człowieka.
- 12 gatunków roślin dostarcza 75% żywności.
- 3 gatunki, ryż, kukurydza, pszenica dostarczają 50% żywności.



Zrównoważony agroekosystem: owies, jęczmień, pszenica, zioła (chabry, pierwiosnki, żmijowiec, bylica) tworzą różnorodną bazę pokarmową.



## 2. Zróżnicowanie: baza żywniowa

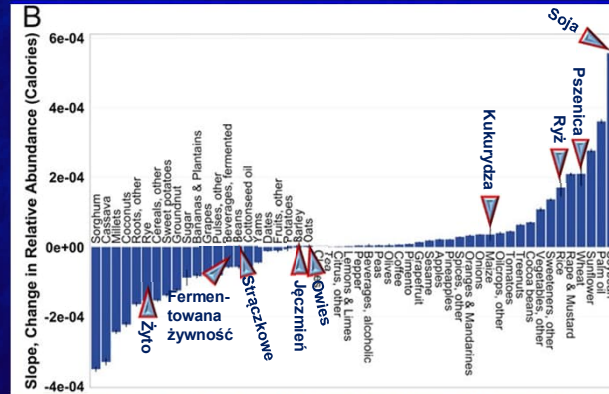
**W ciągu 50 lat wzrosła ilość kalorii dostarczanych przez żywność pochodzenia roślinnego.**

**W latach 1969-2009 zwiększyła się ilość kalorii dostarczanych przez:**

- kukurydzę,
- ryż,
- pszenicę,
- soję.

**W latach 1969-2009 spadła ilość kalorii dostarczanych przez:**

- żyto,
- jęczmień,
- owies,
- rośliny strączkowe,
- żywność fermentowaną.



Zmiana ilości kalorii dostarczanych przez wybrane gatunki uprawne w latach 1969-2009.

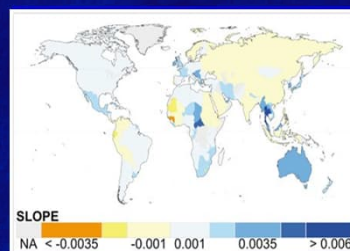
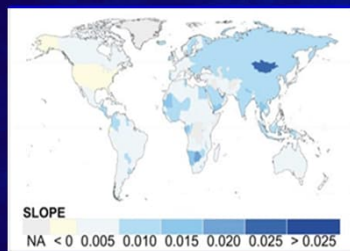
**W lokalnych społecznościach obserwuje się zwiększony udział gatunków „zachodnich” (wysoko-energetyczne zboża, oleje roślinne).**

Khoury et al., 2014



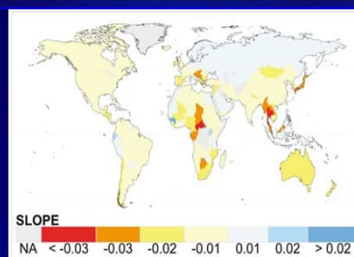
## 2. Zróżnicowanie: baza żywniowa

**W latach 1969-2009 znacznie zmniejszyła się liczba gatunków w diecie, spadł udział gatunków lokalnych.**



**Najwięcej kalorii dostarcza żywność w Australii. W Azji żywność jest mniej kaloryczna niż w Amerykach oraz Afryce.**

**Zróżnicowanie gatunkowe żywności jest wyższe w Azji, Europie Środkowo-Wschodniej i w niektórych regionach Afryki.**



**Udział gatunków lokalnych jest najwyższy w Azji. Udział gatunków lokalnych w diecie Polaków jest wyższy niż ich udział w diecie mieszkańców Europy Zachodniej.**

Khoury et al. 2014

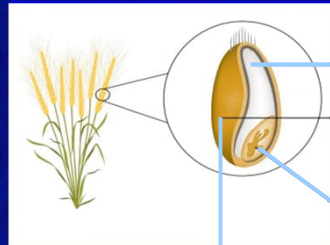


## 2. Zróżnicowanie: kłopoty z pszenicą?

Globalnie pszenica dostarcza średnio 18% dziennej dawki kalorii, 20% dziennej dawki białka i 3% dziennej dawki tłuszczu.

### Zdrowotne właściwości pszenicy

- Dostarcza 27% dziennej dawki węglowodanów.
- Mąka pełnoziarnista oraz błonnik ograniczają ryzyko rozwoju chorób cywilizacyjnych, w tym cukrzycy typu 2 i chorób serca.
- Ziarno zawiera 85% węglowodanów, w tym:
  - 80% - skrobia, która dostarcza energii;
  - 7% - mono, di- i oligosacharydy,
  - 12% - polisacharydy ścian komórkowych stanowiące m. in. źródło błonnika.



Endosperm (80-85%):

- Białka
- Węglowodany
- Żelazo
- Kompleks witamin B – ryboflawina, niacyna, tiamina

Zarodek (2-3%):

- Białka
- Lipidy
- Kompleks witamin B

Warstwa owocowo-nasienna (otrebki) (13-17%):

- Białka – niewielka ilość
- Kompleks witamin B
- Mikroelementy
- Błonnik

Pszenica zawiera kwas ferulowy, który jest silnym antyoksydantem, poprawia funkcjonowanie naczyń krwionośnych, działa przeciwzapalnie.

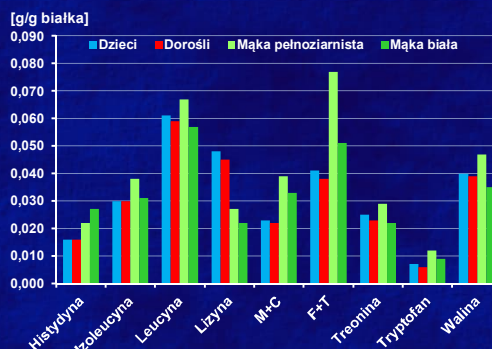


## 2. Zróżnicowanie: kłopoty z pszenicą?

Niektóre istotne aminokwasy występują w mące pszennej w ilościach odpowiadających dziennemu zapotrzebowaniu.

### Aminokwasy

- Mąka pszenna zawiera aminokwasy w ilości zaspokajającej dzienne zapotrzebowanie człowieka.
- Niedobór dotyczy lizyny, która występuje w zbyt małej ilości.
- Zawartość lizyny w niektórych współczesnych odmianach jest podwyższona.
- Poziom aminokwasów „siarkowych” (metionina i cysteina) jest odpowiedni, jednakże pszenica zawiera głównie cysteinę i mało metioniny.



Dzienne zapotrzebowanie na aminokwasy istotne dla człowieka u dzieci i osób dorosłych w porównaniu z zawartością aminokwasów w mące pszennej (M+C: metionina i cysteina, F+T: fenylalanina i tyrozyna).

Pszenica jest cennym źródłem aminokwasów, ale dieta oparta głównie na pszenicy może wiązać się z niedoborem, lizyny i metioniny.

Sabença et al. 2021



## 2. Zróżnicowanie: kłopoty z pszenicą?

W latach 1969-2009 wzrósł udział homogenicznych odmian dominujących globalnie gatunków.

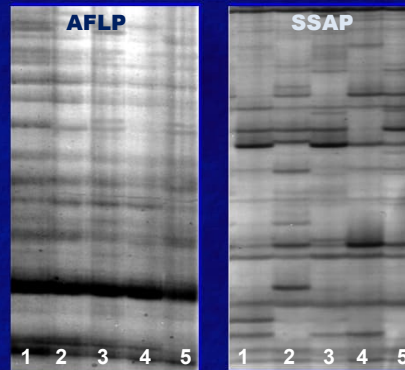
Współczesne odmiany pszenicy są jednorodnie genetycznie co utrudnia ich identyfikację na poziomie molekularnym.

■ **Podobieństwo genetyczne odmian pszenicy:**

- **AFLP:** średnio 0,94, zakres od 0,91 do 0,98;
- **SSAP:** średnio 0,76, zakres od 0,65-080.

■ **Obecność prążków specyficznych dla odmian:**

- **AFLP:** 5 prążków – 6%;
- **SSAP:** 18 prążków – 21%.



Zróżnicowanie genetyczne odmian pszenicy ujawnione za pomocą polimorfizmu długości amplifikowanych fragmentów (AFLP) oraz miejsc insercji transpozonów (SSAP). 1. Monsun, 2. Elena, 3. ETA, 4. NAD, 5. Torka

Homogeniczne odmiany pszenicy mogą zagrażać bezpieczeństwu żywności. Podejrzewa się także, że ich jakość jest niższa niż „starych” odmian.

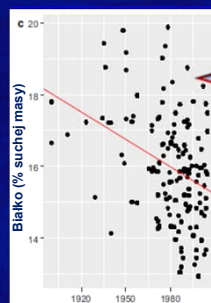


## 2. Zróżnicowanie: kłopoty z pszenicą?

Czy współczesne odmiany pszenicy mają niższą wartość odżywczą niż odmiany stare i ich spożycie negatywnie wpływa na zdrowie?

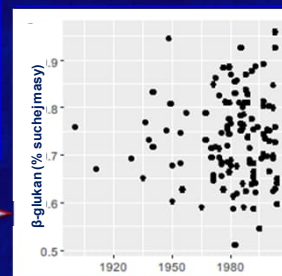
„Zarzuty” względem pszenicy

- **Współczesna pszenica ma wyższą zawartość białka niż stare odmiany, co może prowadzić do alergii.**
  - **Analiza składu białkowego współczesnych odmian nie potwierdza tego zarzutu.**
- **Współczesna pszenica zawiera mniej błonnika niż stare odmiany.**
  - **Zawartość błonnika w odmianach pszenicy nie zależy od roku rejestracji.**



Zawartość  $\beta$ -glukanu (składnik błonnika) w odmianach pszenicy w zależności od roku rejestracji. Odmiany stare i współczesne nie różnią się zawartością błonnika.

Zawartość białka w odmianach pszenicy w zależności od roku rejestracji. Wiele współczesnych odmian ma niższą zawartość białka w porównaniu z odmianami starymi.



Współczesne odmiany pszenicy mają mniej minerałów, ale więcej błonnika i mniej asparaginy w mące, co jest korzystne dla zdrowia.

Shewry et al. 2020.



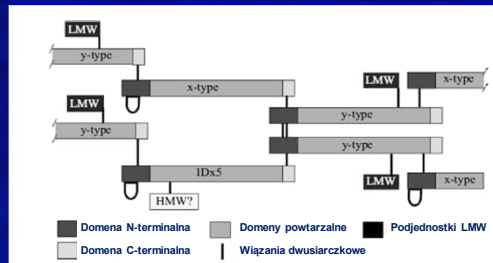
## 2. Zróżnicowanie: kłopoty z pszenicą?

**Gluten to mieszanina białek roślinnych występująca u gatunków Triticeae (pszenica, jęczmień, żyto).**

### Skład glutenu pszenicznego

- Mieszanina białek złożona z około 50 różnych frakcji. Poszczególne frakcje wykazują wysoki polimorfizm.
- Gluten składa się z glutenin i gliadin.
- **Gluteniny:** frakcja ciężka (HMW), stanowi 12% białka pszenicy, gluteniny są odpowiedzialne za właściwości elastyczne mąki pszennej.
- **Gliadyny:** występują tylko w glutenie *Triticum*, odpowiadają za „wzrost ciasta”, są to białka o nieuporządkowanej strukturze.

**W literaturze medycznej „gluten” odnosi się do kombinacji białek, które są zdolne do wywołania odpowiedzi immunologicznej.**



Gluteniny (HMG) zbudowane są z dwóch typów podjednostek HMG (x, y), które składają się z domeny N-terminalnej (81-104 aminokwasów z 3-5 cysteinami), helikalnej domeny C-terminalnej (41 aminokwasów z jedną pozycją cysteiną) oraz powtarzalnych motywów złożonych z okta- i nonapeptydów. Podjednostki HMG typu x i y łączą się ze sobą wiązaniami dwusiarczkowymi w układzie „głowa-ogon”, tworząc dimery, które dodatkowo łączą się z podjednostkami LMW (frakcja lekka).

Shewry et al. 2002



## 2. Zróżnicowanie: kłopoty z pszenicą?

**Zaburzenia związane z glutenem obejmują zespół chorób aktywowanych głównie przez gluten pszeniczny.**

### Rodzaje zaburzeń związanych z glutenem

- **Autoimmunologiczne:**
  - celiakia, częstość - 1-2%;
  - ataksja glutenowa, częstość - 6%;
  - choroba Durhinga (*Dermatitis herpetiformis*), częstość - 0,00026%.
- **Zaburzenia nieautoimmunologiczne i niealergiczne, częstość - 6-13%.**
- **Alergie pszeniczne, częstość - 0,5-1% związane z IgE i niezwiązane z IgE.**



**Gluten zawarty w jęczmieniu oraz życie nie zawsze prowadzi do zaburzeń, chociaż reakcja krzyżowa jest możliwa u niektórych osób.**

Sabenka et al. 2021

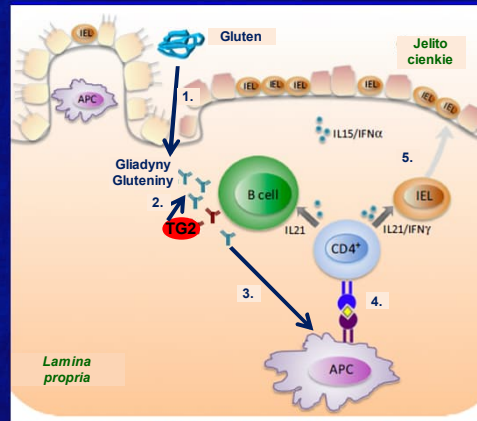


## 2. Zróżnicowanie: kłopoty z pszenicą?

**Celiakia jest wieloczynnikową chorobą immunologiczną uwarunkowaną genetycznie i indukowaną przez gluten.**

### Mechanizm celiakii

- 1. Fragmenty glutenu pokonują barierę nabłonka jelita cienkiego.
- 2. W błasce właściwej (*lamina propria*) ulegają deaminacji za pomocą transglutaminazy (TG2).
- 3. Deaminacja zwiększa powinowactwo peptydów glutenu do antygenów HLA klasy II na komórkach prezentujących, APC.
- 4. Limfocyty Th CD4+ rozpoznają peptydy glutenu prezentowane przez APC i wydzielają cytokiny, IL21 oraz IFN  $\gamma$ .
- 5. IL21/IFN  $\gamma$  aktywują limfocyty (IEL), które niszczą nabłonek.



**Obecność wariantów HLA-DQ2 oraz HLA-DQ8 jest głównym czynnikiem ryzyka. U 95% osób z celiakią występuje wariant HLA-DQ2.**

Withoff et al. 2016

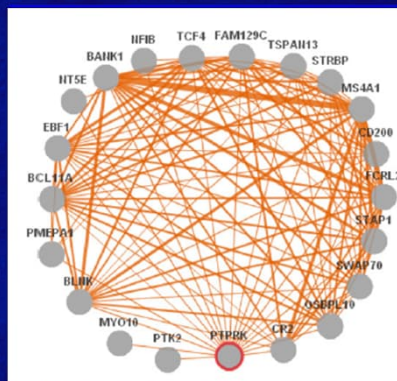


## 2. Zróżnicowanie: kłopoty z pszenicą?

**U 40% Europejczyków występuje wariant HLA-DQ, ale tylko u 3% z nich rozwija się celiakia.**

### Wielogenowe podłoże celiakii

- Obok locus HLA, występowanie celiakii jest skorelowane z SNP w 42 genach.
- W 10 z 42 genów, SNP występują w egzonach. Są to mutacje niesynonimiczne, ale ich wpływ na białko nie jest znany.
- W 32 z 42 genów, zlokalizowano 122 SNP w intronach. Wpływają one na ekspresję położonych w pobliżu genów/egzonów, która jest specyficzna tkankowo.
- 7 z 42 genów związanych z celiakią koduje czynniki transkrypcyjne.



Koekspresja genów związanych z celiakią i sieć powiązań pomiędzy nimi (Kumar et al. 2012).

**Celiakia jest efektem współdziałania wielu genów, które tworzą złożoną sieć powiązań.**

Withoff et al. 2016



## 2. Zróżnicowanie: kłopoty z pszenicą?

**Częstość allelela HLA-DQ2 i HLA-DQ8 jest skorelowana z poziomem konsumpcji pszenicy.**

**Ewolucyjny paradoks związany z celiakią**

- Pojawienie się celiakii jest związane z uprawą pszenicy od czasu rewolucji neolitycznej.
- Wystąpienie celiakii ma negatywny wpływ na przeżywalność, a więc genotypy wrażliwe powinny podlegać selekcji negatywnej.
- Dane wskazują, że selekcja negatywna nie wystąpiła i częstość HLA-DQ2 jest tym wyższa im dłuższa jest historia konsumpcji pszenicy. Jest to tzw. ewolucyjny paradoks.



Korelacja między poziomem konsumpcji pszenicy a częstością allelela HLA-DQ2.

**Pozytywna selekcja allelela HLA-DQ2 może być związana z mniejszym narażeniem nosicieli na próchnicę zębów, która rozprzestrzeniła się wraz z uprawą zbóż zawierających gluten.**

Lionetti i Catassa 2014



## 2. Zróżnicowanie: gatunki alternatywne

**Gatunki alternatywne (zapomniane): gatunki udomowione, których potencjał nie jest wykorzystany przez współczesną hodowlę roślin.**

Gatunki alternatywne charakteryzują się:



wysokim poziomem zróżnicowania genetycznego;



nie wymagają nawozów sztucznych (low input);



są istotnym składnikiem diety;



są zaadoptowane do wielu środowisk i warunków glebowych.



**Gatunki alternatywne zazwyczaj uprawiane są lokalnie, zajmują specyficzne nisze, mają korzystne właściwości i mogą stanowić istotny element zróżnicowanej, zdrowej diety.**



## 2. Zróżnicowanie: gatunki alternatywne

Gatunki alternatywne to różnorodna grupa roślin. Ich biologia nie jest dobrze poznana, nie istnieje system dystrybucji nasion.



Lokalne rasy gatunków podstawowych (jęczmień).



Zapomniane rośliny uprawne (owies szorstki).



Gatunki dziko rosnące (dziurawiec i rumianek).



Owoce (poziomka).



Warzywa (bób).



Dziko rosnące drzewa i krzewy (bez czarny).



## 2. Zróżnicowanie: gatunki alternatywne

Owies szorstki (*Avena strigosa*) był powszechnie uprawiany do połowy XX w. Potem został wyparty przez owies siewny (*A. sativa*).

### Owies szorstki, *Avena strigosa*

- Należy do rodzaju *Avena* (owies), pochodzi z Półwyspu Pirenejskiego.
- Wiechy są jednostronne.
- Kłoski są 2, rzadziej 3-kwiatkowe.
- Plewa dolna tworzy na szczycie dwie długie ostki. Plewy są czarne.
- Osadki kłosków twarde, nie rozpadają się samorzutnie.
- Ziarniak jest czarno-szary.
- Rośliny zawierają dużo antocjanu.



Wiecha owsa szorstkiego.



Wiecha owsa siewnego.

Owies szorstki jest diploidem ( $2n = 2x = 14$ ), owies siewny jest heksaploidem ( $2n = 6x = 42$ ).

W Polsce owies szorstki uprawiano głównie na Podhalu, w rejonach Nowego Targu, Bukowiny, Gronkowa, Jurgowa do 940 m n.p.m. oraz na glebach o niskim pH (około 4). Stanowił on paszę dla koni, świń i kur.

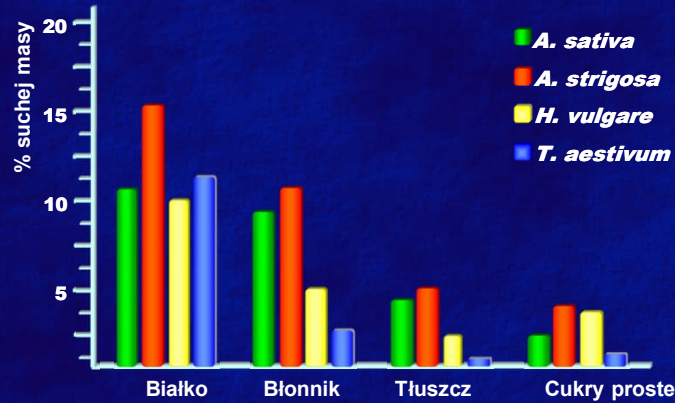




## 2. Zróżnicowanie: gatunki alternatywne

Ziarno owsa szorstkiego posiada wysoką wartość odżywczą, zawiera więcej białka, tłuszczu i błonnika niż owies siewny (*A. sativa*).

**Błonnik:** substancje pochodzenia roślinnego, nie są trawione w przewodzie pokarmowym człowieka, celuloza, pektyny.



Owies szorstki zawiera witaminy B, C, E i K, istotne aminokwasy oraz antyoksydanty ( $\beta$ -karoten, polifenole, flawonoidy)

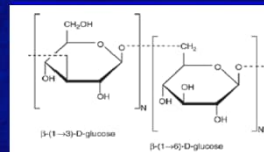


## 2. Zróżnicowanie: gatunki alternatywne

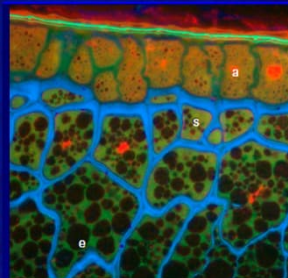
Owies szorstki zawiera dużo rozpuszczalnych  $\beta$ -glukanów. Odpowiadają one za właściwości prozdrowotne owsa.

### $\beta$ -glukan: struktura

- Naturalny polisacharyd, komponent ściany komórkowej roślin, niektórych bakterii i grzybów.
- Liniowy polimer zbudowany z D-glukozy połączonej wiązaniem  $\beta$ -glikozydowym.
- 90% cząstek glukozy tworzy bloki trój- i czterosacharydów.
- Stosunek trój- do czterosacharydów u owsa wynosi 2:1, co odróżnia owies od jęczmienia (3:1) i pszenicy (4:1).



Podstawowa jednostka strukturalna  $\beta$ -glukanu.



Lokalizacja  $\beta$ -glukanu u owsa (a: aleuron, s: subaleuron, e: endosperm).  $\beta$ -glukan jest zlokalizowany głównie w ścianach komórkowych endospermu i warstwy subaleuronowej.

Rozpuszczalne  $\beta$ -glukany zwiększają lepkość soków trawiennych w jelitach. W ten sposób spowalniają absorpcję składników pokarmowych.

Wangi Ellis 2014

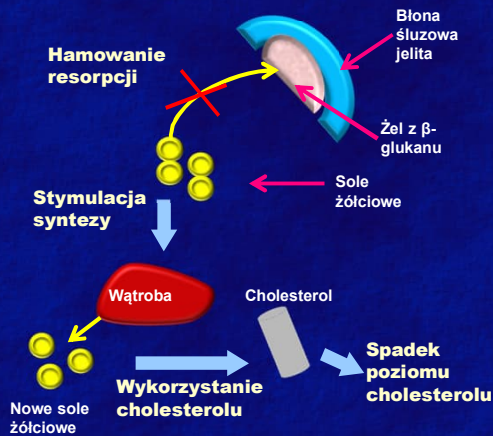


## 2. Zróżnicowanie: gatunki alternatywne

**β-glukany owsa obniżają poziom cholesterolu LDL oraz stabilizują poziom cukru we krwi.**

**Jak β-glukany obniżają poziom cholesterolu LDL?**

- β-glukan tworzy żel na powierzchni błony śluzowej jelita.
- Żel hamuje resorpcję soli żółciowych z jelita.
- Brak resorpcji stymuluje syntezę nowych soli żółciowych w wątrobie.
- Wzrost stężenia krążących soli żółciowych powoduje wykorzystanie krążącego cholesterolu i obniżenie jego poziomu we krwi.



**β-glukany regulują metabolizm lipidów oraz fosforylację kinazy AMP, która uczestniczy w reakcjach energetycznych.**

Sima et al. 2018



## 2. Zróżnicowanie: gatunki alternatywne

**Groch zwyczajny (*Pisum sativum*) został udomowiony około 8000 lat p.n.e., 2000 lat p.n.e. rozpowszechnił się w Europie.**

**Groch zwyczajny, *Pisum sativum***

- Prawdopodobnym przodkiem grochu były populacje *P. humile* z Turcji, Libanu i Syrii.
- W okresie rewolucji neolitycznej groch pojawił się na terenach Polski.
- Jest to gatunek samopylny, diploidalny,  $2n = 2x = 14$ .
- Dobrze toleruje przymrozki, może rosnąć na piaszczystych, ubogich glebach.
- Wrażliwy jest na niektóre choroby grzybicze.



Odmiana o białych kwiatach.

Odmiana o czerwonych kwiatach.



**Korzenie grochu zawierają symbiotyczne bakterie, *Rhizobium*, które mają zdolność do asymilacji azotu atmosferycznego.**



## 2. Zróżnicowanie: gatunki alternatywne

**Groch jest mało kaloryczny, zawiera dużo białka, łatwo przyswajalne węglowodany, witaminy i sole mineralne.**

Składnik	Pszenica	Soja	Soczewica	Groch
Wartość energetyczna	343 kcal	382 kcal	327 kcal	293 kcal
Węglowodany	71,6 g	17,0 g	48,6 g	45,2 g
Białko	9,4 g	34,3 g	25,4 g	23,8 g
Tłuszcze	1,6 g	19,6 g	3,0 g	1,4 g
Błonnik	2,5 g	15,7 g	8,9 g	15,0 g
Witamina A	0 µg	2 µg	10 µg	20 µg
Witamina C	0 mg	0 mg	3 mg	2 mg
Beta-karoten	0 µg	12 µg	60 µg	117 µg

Wartości na 100 g produktu

**Fawizm: mutacja w genie dehydrogenazy glukozy-6-fosforanowej, wywołująca reakcję alergiczną na produkty z roślin strączkowych. Rozpowszechniona u osób pochodzenia semickiego.**

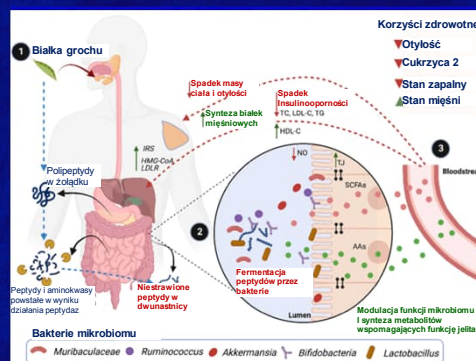


## 2. Zróżnicowanie: gatunki alternatywne

**Białka grochu wpływają korzystnie na mikrobiom człowieka, funkcjonowanie jelit i ograniczają ryzyko chorób.**

### Wpływ białek grochu na mikrobiom

- W okrężnicy niestrawione polipeptydy są fermentowane przez bakterie mikrobiomu.
- W wyniku fermentacji powstają krótkołańcuchowe nasycone kwasy tłuszczowe (SCFA) i aminokwasy (metionina, walina, leucyna), które promują wzrost korzystnych mikroorganizmów.
- SCFA i aminokwasy są transportowane krwią, wpływają na biologię mięśni, podnoszą poziom ekspresji enzymów wątrobowych.



SCFA: krótkołańcuchowe nasycone kwasy tłuszczowe. T.J: bariera nabłonkowo-śródłonkowa. AAs: aminokwasy. NO: tlenek azotu. TC: cholesterol całkowity. IRS, HMG-CoA, LDLR: enzymy wątrobowe.

**Białka grochu zwiększają zróżnicowanie mikrobiomu, co wpływa na redukcję stanu zapalnego, otyłości i insulinooporności.**

Wang et al. 2022



## Ewolucja diety i nutrigenomika

- 1. Dieta a ewolucja człowieka**
  - Znaczenie diety
  - Gotowanie jako adaptacja
  - Udomowienie
  - Tłuszcze trans
- 2. Zróżnicowanie gatunkowe**
  - Baza żywniowa
  - Kłopoty z pszenicą
  - Gatunki alternatywne
- 3. Nutrigenomika**
  - Definicja
  - Molekularne podstawy żywienia



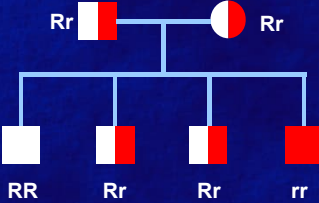
## 3. Nutrigenomika: definicja

**Nutrigenomika zajmuje się badaniem korelacji pomiędzy składnikami odżywczymi, dietą i ekspresją genów.**

**Nutrigenomika**


- Rozwinęła się wraz z projektem sekwencjonowania genomu ludzkiego w latach 1990.
- Związana jest z zaawansowanymi technologiami, które zbierają i pozwalają analizować duże ilości danych (genomika, transkryptomika, proteomika, metabolomika, epigenomika, bioinformatyka).
- Celem jest wprowadzenie zindywidualizowanej diety.

**Fenyloketonuria jest efektem mutacji w genie hydrolazy fenyloalaninowej. Jest to mutacja recesywna.**



**Leczenie polega na modyfikacji diety (uboga w fenyloalaninę), podawaniu enzymu metabolizującego fenyloalaninę.**

**Fenotyp jest wynikiem współdziałania genów i środowiska. Składniki odżywcze są przykładem środowiska, które może wpływać na regulację ekspresji genów, np. witamina A, B.**



### 3. Nutrigenomika: podstawy molekularne

Znajomość genów odpowiedzialnych za metabolizm składników pokarmowych umożliwia zapobieganie chorobom chronicznym.

#### Wpływ diety na ekspresję genów

- Wysoka zawartość tłuszczów i cukru w diecie prowadzi do nadekspresji genów:
  - DRD2: chr. 11, receptor dopaminowy, powoduje otyłość, zaburzenia psychiczne i uzależnienia;
  - NPY: neuropeptyd Y, chr. 7, powoduje otyłość.
- Niedobór selenu w diecie hamuje ekspresję genu:
  - VHL, chr. 3, reguluje translację, gen supresorowy, brak ekspresji powoduje nowotwory.

BMI	Status
<18,5	Niedowaga
18,5-24,9	Waga normalna
25-29,9	Nadwaga
>30	Otyłość

BMI (Body Mass Index)=

$$\frac{\text{Masa ciała w kg}}{(\text{Wzrost w m})^2}$$

Otyłość to nadmierna akumulacja tkanki tłuszczowej, która może spowodować problemy zdrowotne (WHO). Indeks BMI jest zalecanym sposobem oceny występowania otyłości.



### 3. Nutrigenomika: podstawy molekularne

Na otyłość cierpi 35% populacji ludzkiej. Otyłość może prowadzić do chorób serca, wątroby, cukrzycy i nowotworów.

- Analiza SNP w genach związanych z metabolizmem składników odżywczych wykazała korelację pomiędzy występowaniem danego allele a odpowiedzią na przyjmowane składniki pokarmowe.
- Korelacja pomiędzy SNP a tempem utraty wagi pozwala stosować indywidualną dietę w zależności od wariantu genu.

Gen	Allel	Dieta	Reakcja
FTO	rs1558902	Wysoko-białkowa	Szybsza utrata masy
TCF7L2	rs7903146	Wysoko-tłuszczowa	Wolniejsza utrata masy
TFA P2B	rs987237	Wysoko-białkowa	Szybszy powrót do wysokiej wagi
IRS1	rs2943641	Węglowodanowa	Szybszy spadek poziomu insuliny

- FTO: dioksygenaza α-ketoglutaru.
- TCF7L2: czynnik transkrypcyjny.
- TFAP2B: czynnik transkrypcyjny.
- IRS1: receptor insulinowy.

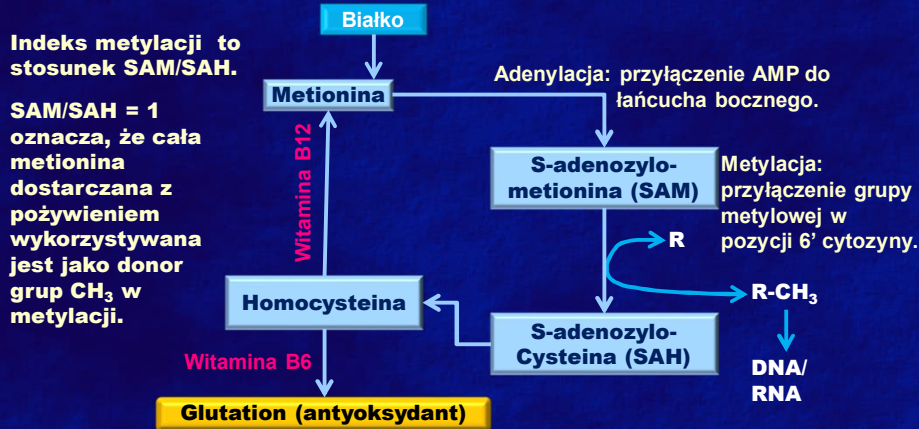
Otyłość jest globalną epidemią.

Ramos-Lopez et al., 2016.



### 3. Nutrigenomika: podstawy molekularne

Metionina jest donorem grup metylowych w procesie metylacji kwasów nukleinowych, który reguluje ekspresję genów.



Poziom metylacji zależy od dostępności metioniny. Tym samym metionina jest czynnikiem wpływającym na ekspresję genów, a następnie wzrost i rozwój organizmów.

### 3. Nutrigenomika: podstawy molekularne

U ssaków, w tym u człowieka, 85% reakcji metylacji zachodzi w wątrobie. Metylacja wpływa na metabolizm lipidów w wątrobie.



Szczur

Wzrost zawartości metioniny w diecie z 0,61% do 1,5% wywołuje 4-30 krotny wzrost akumulacji metioniny w wątrobie i mięśniach szkieletowych.



Mysz

Dieta bogata w metioninę powoduje wzrost zawartości metioniny w wątrobie, ale nie przekłada się na wzrost poziomu metylacji genomu.

Źródła metioniny:



Nasiona słonecznika



Nasiona dyni



Nasiona dyni

U człowieka dieta bogata w metioninę promuje wzrost włosów, regenerację naskórki i paznokci. Wpływ metioniny na ekspresję genów zależy od tkanki i stadium rozwojowego.

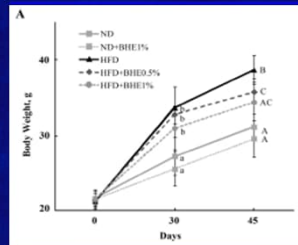
Zhang 2017

### 3. Nutrigenomika: podstawy molekularne

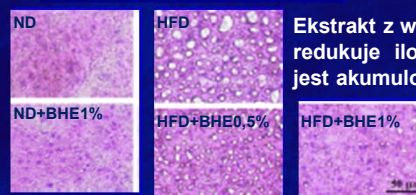
**NAFLD: niealkoholowe stłuszczenie wątroby; występuje u 20-30% całkowitej populacji ludzkiej, przy czym u 75-100% populacji otyłej.**

#### NAFLD:

- Chorobę diagnozuje się jako stłuszczenie wątroby w badaniu histopatologicznym.
- Czynnikiem ryzyka jest otyłość i cukrzyca typu II.
- Gwałtowny wzrost zachorowań wynika z siedzącego trybu życia
- Jest to choroba odwracalna, ale może powodować marskość i nowotwory wątroby.



Ekstrakt z wiciokrzewu siniego istotnie obniża masę ciała myszy na diecie wysokotłuszczowej. ND: dieta normalna, HFD: dieta wysokotłuszczowa, BHE: ekstrakt z wiciokrzewu siniego (1%, 0,5%).



Ekstrakt z wiciokrzewu siniego redukuje ilość tłuszczu, który jest akumulowany w wątrobie.

**Wyciąg z wiciokrzewu siniego ogranicza wzrost masy ciała i akumulację tłuszczu w wątrobie. Może wspomagać leczenie NAFLD.**

Liu et al., 2018



### 3. Nutrigenomika: podstawy molekularne

**Wiciokrzew siny (*Lonicera caerulea*) był stosowany w medycynie ludowej w przypadku schorzeń wątroby.**

#### Wiciokrzew siny (*Lonicera caerulea*)

- Pochodzi z półkuli północnej, Syberii, obszarów Chin i Japonii.
- W Polsce występuje odmiana znana jako „jagoda kamczacka”.
- Roślina jest odporna na mróz, szybko dojrzewa.
- Owoce są owalne, wydłużone, niebieskie.



**Wiciokrzew siny zawiera polifenole, które przeciwdziałają stresowi oksydacyjnemu w chorobach związanych z zaburzeniami metabolizmu lipidów.**



## Zagadnienia 1-2

### 1. Dieta a ewolucja człowieka.

- Jaka jest zależność między dietą a śmiertelnością?
- Jak składniki pokarmowe wpływają na szlaki sygnałowe?
- Jakie są różnice między dietą człowieka a dietą małp?
- Czy gotowanie może być cechą adaptacyjną powstałą w czasie ewolucji? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Jakie elementy obejmuje adaptacja do spożywania gotowanych pokarmów?
- Jaką funkcję pełni gotowanie?
- Czy ilość pokarmu w kg jaką musi spożyć dorosły człowiek jest taka sama dla pokarmów surowych i gotowanych? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Jak wyjaśnić fakt, że człowiek spożywa więcej pożywienia niż małpy, ale żywność ta stanowi zaledwie 3,5% masy ciała?



### 2. Dieta a ewolucja: udomowienie

- Co to jest udomowienie?
- Kiedy miało miejsce udomowienie głównych gatunków zbóż.
- Co rozumiemy pod pojęciem „rewolucja neolityczna”?
- Jaką rolę w rewolucji neolitycznej odegrali Praindoeuropejczycy?
- Czy udomowienie można nazwać symbiozą? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Które ze zbóż powszechne w obecnej diecie człowieka w Europie jest najstarsze?



## Zagadnienia 3

### 3. Dieta a ewolucja: udomowienie

- Który z gatunków pszenicy był udomowiony najwcześniej?
- Która forma pszenicy jest starsza: pszenica zwyczajna czy pszenica orkisz? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Który typ pszenicy jest wykorzystywany do produkcji makaronów?
- Co oznaczają nazwy samopsza, płaskurka, orkisz?
- Czy orkisz posiada lepsze właściwości odżywcze w porównaniu z pszenicą zwyczajną?
- Który z gatunków pszenicy nie zawiera glutenu?
- Czy chleb żytni jest lepszy od chleba pszennego? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Które zboża zawierają gluten?
- Które ze zbóż należy polecić osobom cierpiącym na celiakię?
- Które zboża są heksaploidalne?
- Jak zmieniły się zwyczaje żywieniowe w ostatnich 200 latach?
- Kiedy rozpoczął się proces zmiany zwyczajów żywieniowych?
- Które geny podlegają najczęściej selekcji w procesie udomowienia?





## Zagadnienia 4

### 4. Zróżnicowanie gatunkowe

- Jaką tendencję wykazują populacje ludzkie w odniesieniu do diety?
- Ile jest znanych gatunków roślin uprawnych?
- Jaki procent znanych gatunków roślin uprawnych jest obecnie uprawiany?
- Ile gatunków roślin stanowi bazę pokarmową współczesnego człowieka?
- Które gatunki dostarczają 50% żywności?
- Jak można scharakteryzować bazę pokarmową współczesnego człowieka w stosunku do populacji pierwotnych?
- Jak zmieniła się ilość kalorii spożywanych przez człowieka w ciągu 50 lat?
- Jak zmienia się dieta populacji lokalnych pod wpływem globalizacji?
- Na którym kontynencie żywność dostarcza najwięcej kalorii?
- Proszę scharakteryzować zróżnicowanie gatunkowe diety Polaków na tle populacji Europy Zachodniej.
- Jak przejawia się jednorodność współczesnych odmian pszenicy?
- Proszę podać uwarunkowania genetyczne celiakii?



## Zagadnienia 5

### 5. Gatunki alternatywne

- Co oznacza pojęcie „gatunek alternatywny”?
- Proszę podać przykłady gatunków alternatywnych.
- Proszę podać kilka cech charakterystycznych dla gatunków alternatywnych.
- Jak należałoby zmienić dietę współczesnego człowieka aby zwiększyć różnorodność gatunkową składników pożywienia?
- Czy owies szorstki, *Avena strigosa* należy do gatunków alternatywnych? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Czy beta-glukan i błonnik oznaczają to samo?
- Czy owies szorstki stanowi dobrą alternatywę dla innych zbóż w diecie człowieka? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Z czego wynika wysoka wartość odżywcza owsa szorstkiego?
- Na czym polega wysoka wartość odżywcza grochu?
- Co to jest fawizm?
- Jaki enzym/gen jest odpowiedzialny za reakcję alergiczną na produkty roślin strączkowych?



## Zagadnienia 6-7

### 7. Nutrigenomika: definicja

- Proszę podać definicję nutrigenomiki.
- Co jest celem nutrigenomiki?
- Jakie technologie związane są z nutrigenomiką?
- Na czym polega leczenie fenylketonurii?

### 8. Nutrigenomika: podstawy molekularne, otyłość

- Jak składniki odżywcze mogą wpływać na organizm?
- Proszę podać przykłady wpływu diety na ekspresję genów.
- Jakie geny ulegają nadekspresji pod wpływem diety zawierającej wysoki poziom cukrów i tłuszczu?
- Jakie geny ulegają inhibicji w wyniku niedoboru selenu?
- Jaki genetyczny mechanizm jest odpowiedzialny za otyłość wynikającą z diety wysokotłuszczowej diety?
- Jaki czynnik hamuje ekspresję genu VHL u człowieka?
- Proszę podać definicję otyłości wg. WHO?
- Co to jest BMI?
- Jaka jest częstość otyłości w populacji ludzkiej?
- Czy istnieje zależność między genotypem w danym genie a odpowiedzią na przyjmowane składniki pokarmowe?
- Jaka jest podstawa genetyczna zindywidualizowanej diety?
- Jak wpływa polimorfizm w genach FTO, TCF7L2, TFAP2B, IRS1 na reakcję organizmu w diecie wysokotłuszczowej?



## Zagadnienia: 8-9

### 8. Nutrigenomika: podstawy molekularne, metionina


- Jaka jest funkcja metioniny w organizmie?
- Proszę wyjaśnić pojęcia SAM, SAH?
- Skąd biorą się grupy metylowe uczestniczące w metylacji kwasów nukleinowych?
- Na czym polega wpływ metioniny na ekspresję genów?
- Co to jest glutation?
- Jaka jest rola witaminy B6 i B12 w metabolizmie metioniny?
- Gdzie najczęściej zachodzi metylacja w organizmie człowieka?
- Jak wzrost metioniny w diecie wpływa na organizm ssaków?
- Czy wzrost zawartości metioniny w diecie jest równoznaczny z niższym poziomem ekspresji genów? Proszę uzasadnić odpowiedź.
- Jak wpływa dieta bogata w metioninę na człowieka?
- Skąd bierze się metionina w diecie człowieka?

### 9. Nutrigenomika: podstawy molekularne, wiciokrzew

- Czy stosowanie przez medycynę ludową wiciokrzewu siniego do leczenia schorzeń wątroby było uzasadnione?
- Czy wiciokrzew siny można spotkać w Polsce?
- Czy należy zalecać uprawę wiciokrzewu siniego?
- Jaką rolę może pełnić wiciokrzew siny w leczeniu NAFDL?
- Proszę zdefiniować NADFL?
- Jaki wpływ ma ekstrakt z wiciokrzewu siniego na akumulację tłuszczu w wątrobie?



**Centre for Evolution, Genomics  
and Biomathematics, e-Gene**



**polokkornelia@gmail.com**

**<https://www.matgen.pl>**