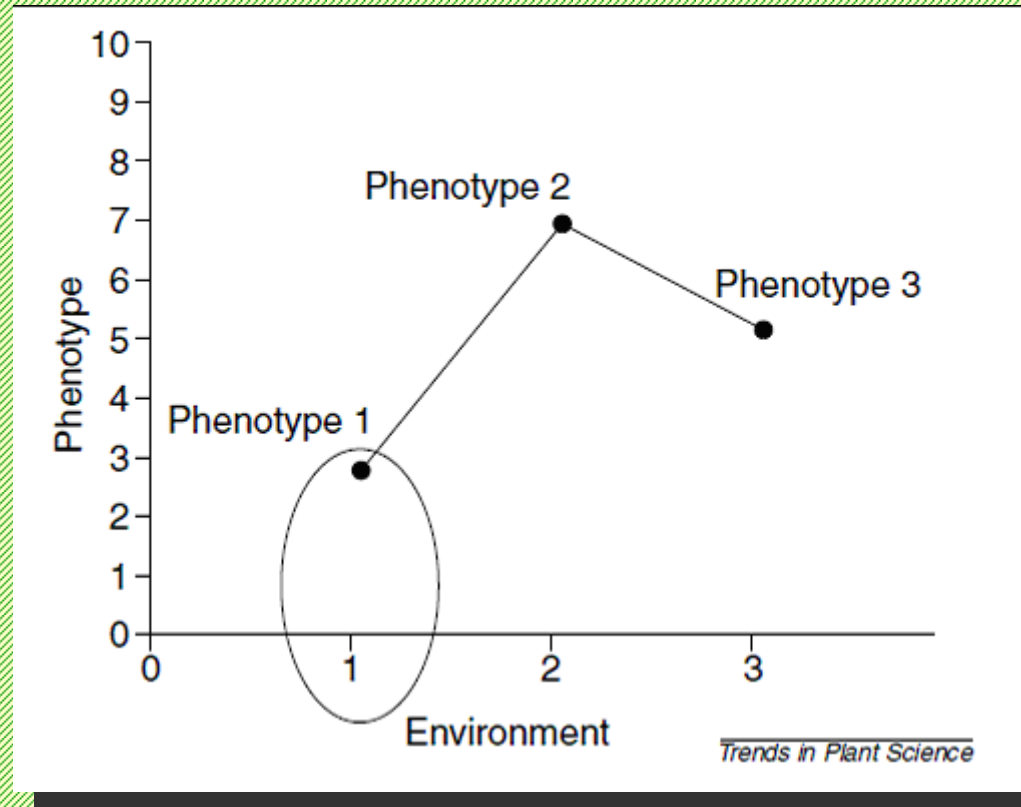




# Podstawy genetyczne plastyczności fenotypowej



Instytut Badawczy Leśnictwa  
Iwona Szyp - Borowska



- **Plastyczność fenotypowa** to zdolność genotypu do produkowania różnych fenotypów pod wpływem środowiska w ciągu jego rozwoju osobniczego.

## Modele wyjaśniające genetyczne podstawy odpowiedzi plastycznej.

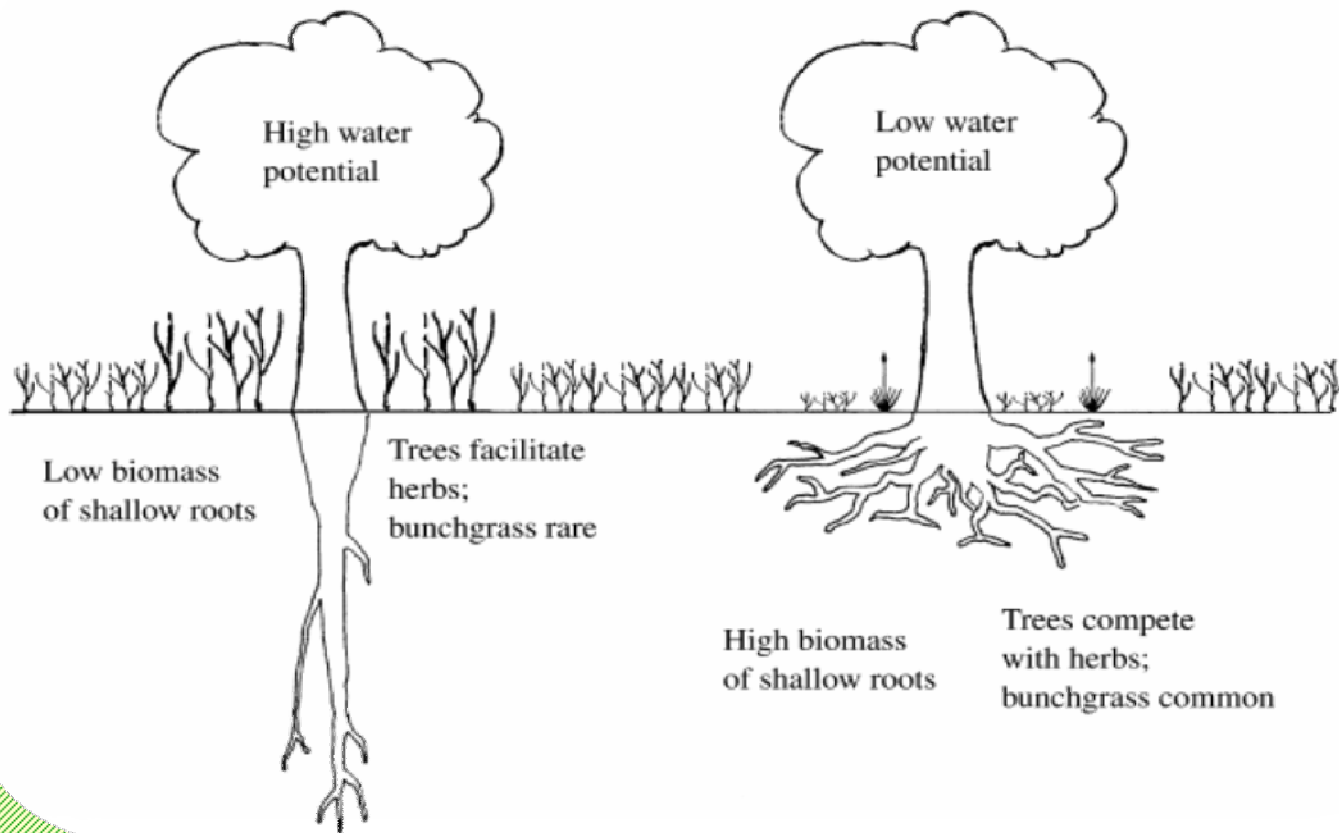
Scheiner [1993] przedstawia trzy główne modele:

- **model naddominacji** - plastyczność jest odwrotną funkcją heterozygotyczności: im więcej heterozygotycznych genotypów, tym mniej plastyczności, bo heterozygotyczność pomaga w buforowaniu wpływów środowiska.
- **model plejotropowy** - plastyczność jest funkcją zróżnicowanej ekspresji w różnych środowiskach.
- **model epistazy** - plastyczność jest wywoływana przez geny determinujące wielkość odpowiedzi w wyniku działania środowiska. Geny te współdziałają z genami determinującymi ekspresję cechy.

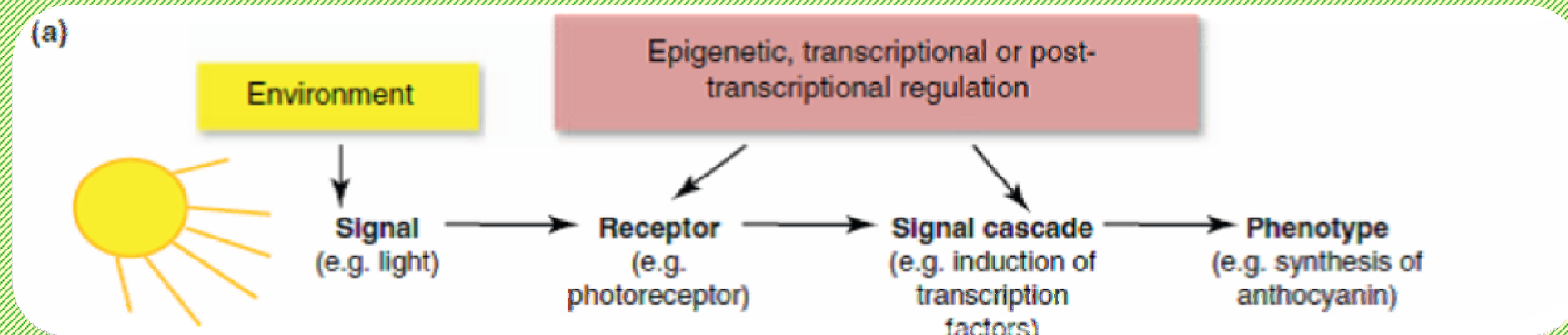


**Rośliny wykształcają różne mechanizmy odpowiedzi na zmiany środowiska.**

- plastyczność spowodowana przez loci związane z cechą fenotypową, wrażliwe na zmiany środowiska (geny plastyczności),**
- plastyczność spowodowana przez geny regulatorowe, które wpływają na plastyczność fenotypu.**



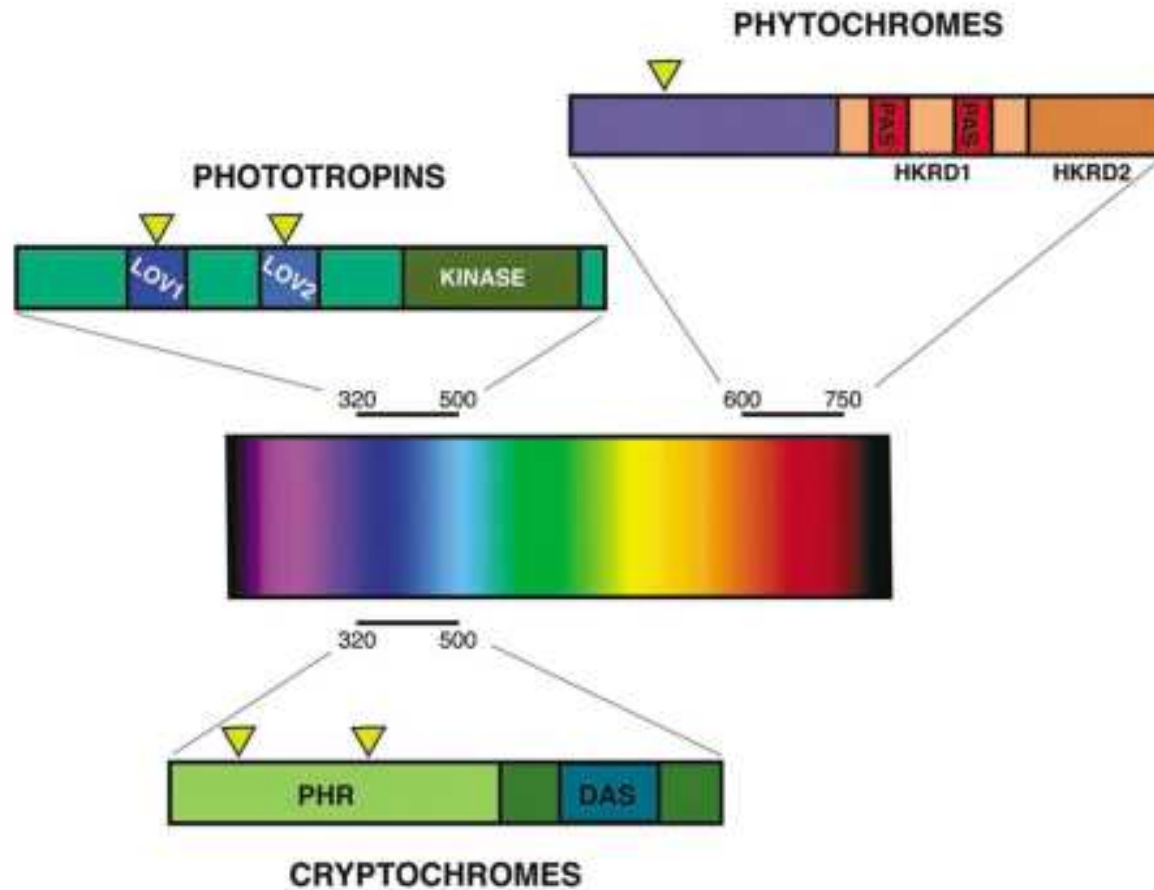
- **Plastyczność nie adaptacyjna (neutralny charakter)** związana z odpowiedzią fizjologiczną, morfologiczną czy rozwojową na warunki środowiska np.: ograniczenie wody, niedobór substancji odżywczych, wysoka temperatura.



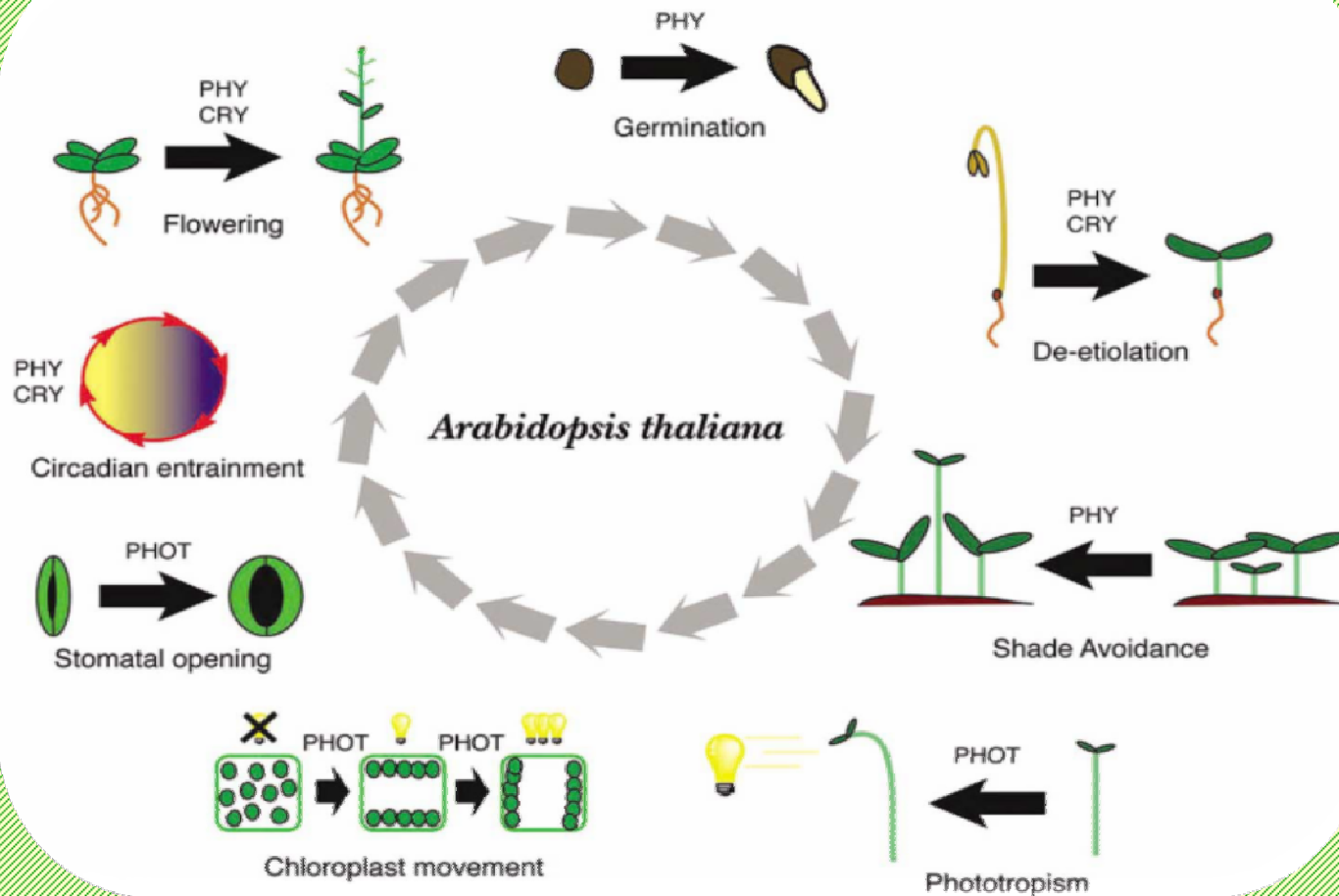
Jako organizmy osiadłe, rośliny wykształciły mnóstwo rozwojowych odpowiedzi do radzenia sobie z ciągle zmieniającymi się warunkami środowiska.

Spośród wielu bodźców środowiskowych, które regulują rozwój roślin, światło jest prawdopodobnie najważniejsze.

Rośliny wykształciły złożone metody wykrywania jakości, ilości, kierunku i czasu trwania oświetlenia, interpretacji tych sygnałów do produkcji odpowiednich fizjologicznych i rozwojowych odpowiedzi.



W roślinach, zostały scharakteryzowane na poziomie molekularnym trzy klasy fotoreceptorów, które pośredniczą w percepcji światła. Fitochrom rozpoznaje światło w czerwonej części widma, a kryptochrom i fototropiny postrzegają światło niebieskie i UVA.



Od określenia rozwojowego wzoru wschodzącej siewki, do wpływania na organizację organelli aby zmaksymalizować energię dostępną dla fotosyntezy, światło ma dramatyczny wpływ na rozwój na wszystkich etapach życia roślinnego.




- **Syndrom unikania cienia**

Dostępność światła jest jednym z głównych czynników decydujących o życiu roślin i kierujących ich rozwojem.

W przypadku dużego zagęszczenia organizmów dochodzi do konkurencji o ten kluczowy do życia czynnik. Dlatego też rośliny opanowały dwie możliwe strategie aby zwiększyć swoje szanse przetrwania.

Są to tolerancja cienia oraz unikanie cienia, polegające na wykryciu zagrożenia brakiem światła i zapoczątkowaniu odpowiednich zmian zanim dojdzie do całkowitego zacielenia.

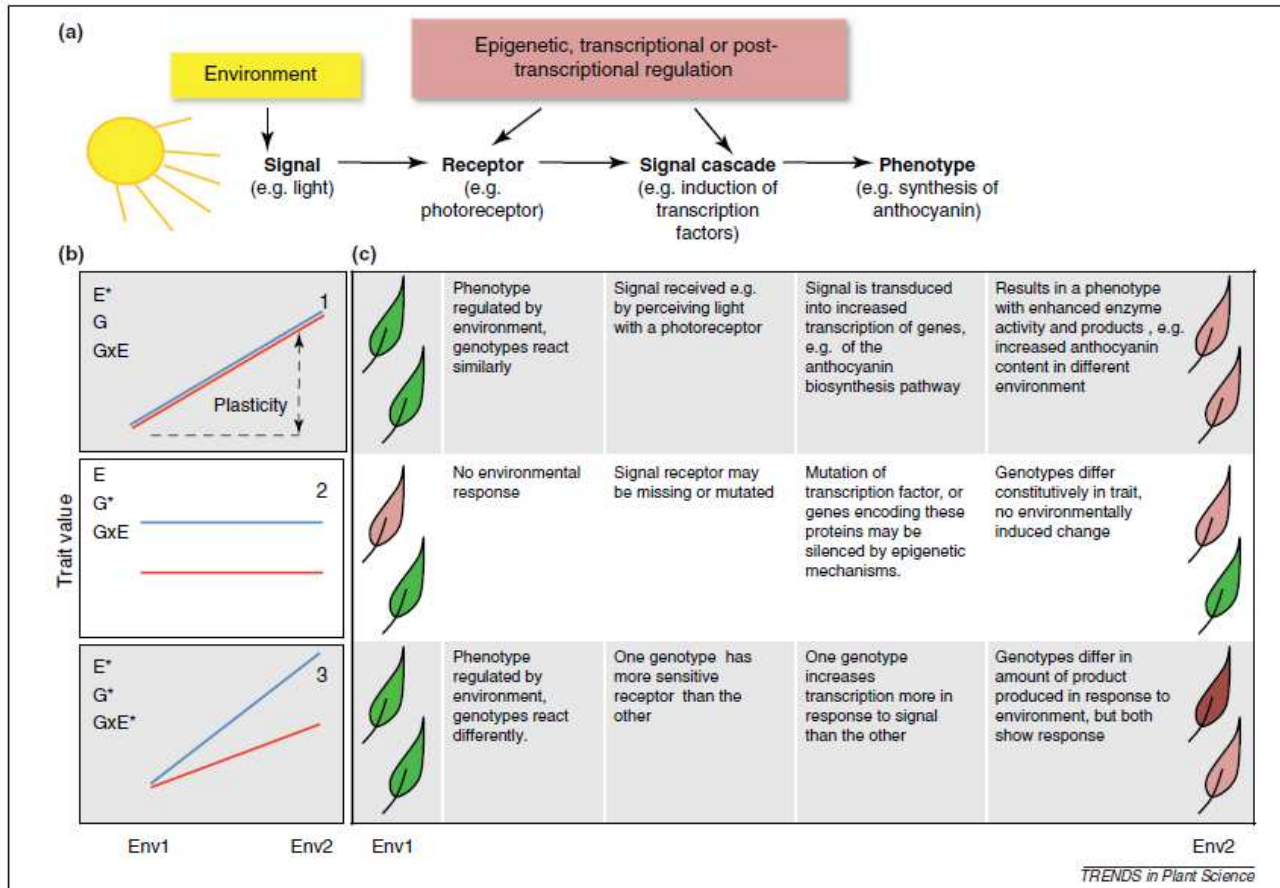




Według badań przeprowadzonych  
przez Smitha (1997)

- gorczyca - szybkość wzrostu zwiększyła się 5-krotnie po dodatkowej dawce FR w ciągu 30 minut,
- Rządkiwnik- 2 godziny ekspozycji na FR w ciągu doby hypokotyl wydłużył się o 30%

- Plastyczność o charakterze adaptacyjnym, czyli kierowana przez selekcję naturalną



**Figure 1.** Anthocyanins are produced in leaves in response to excess light and temperature and osmotic extremes, and serve as a reversible plastic mechanism for the protection of photosynthetic machinery [86–88]. Here, we use an anthocyanin example to illustrate (a) the points in the molecular machinery, which translate an environmental signal (excess light in this case) into a phenotype. (b) In the evolutionary and ecological literature, these responses are commonly presented as reaction norms. Here, the blue and red lines indicate the reaction norms of two different genotypes responding to a change from a low light environment (Env1) to a high light one (Env2). The extent of phenotypic change in response to a signal is its phenotypic plasticity. Asterisks in the panels denote whether there is a significant effect of environment (E) or genotype (G), and whether there is a significant genotype by environment interaction (G × E). (c) Likely examples of the mechanisms underlying the cases depicted in panels 1–3 are given separately for each point in the signal pathway. The leaves on the left and right represent the phenotypes in Env1 and Env2, respectively.

plastyczność międzypokoleniowa (efekt rodzica) osobniki rodzicielskie mogą zmieniać rozwój cech w potomstwie w odpowiedzi na szczególny stres środowiska.

Table 1 | Examples of adaptive transgenerational plasticity.

Parental environment	Species	Offspring trait affected	Number of generations inherited	Citation
High temperature	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Fruit and seed production	2	Whittle et al. (2009)
Low temperature	<i>Plantago lanceolata</i>	Seed mass; probability of flowering; leaf area	2	Case et al. (1996), Lacey (1996)
Nutrient deficiency	<i>Oryza sativa</i>	Biomass; plant height	2	Kou et al. (2011)
Nutrient deficiency	<i>Plantago lanceolata</i>	Leaf biomass	1	Latzel et al. (2010)
Nutrient deficiency	<i>Polygonum persicaria</i>	Root allocation	1	Sultan (1996)
High salinity	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Germination; seedling growth	1	Boyko et al. (2010)
Drought	<i>Polygonum persicaria</i>	Biomass; root length, depth, and extension rate; seed provisioning; germination	1	Sultan (1996, 2001), Sultan et al. (2009)
Serpentine soil	<i>Aegilops triuncialis</i>	Shoot biomass; phenology	1	Dyer et al. (2010)
Disturbance (mediated by nutrient environment)	<i>Plantago lanceolata</i>	Shoot biomass	1	Latzel et al. (2010)
Shade	<i>Plantago lanceolata</i>	Cumulative fitness of maternal and offspring generations	1	Donohue and Schmitt (1998)
Shade	<i>Polygonum hydropiper</i>	Seed provisioning; timing/amount of leaves produced; biomass	1	Lundgren and Sultan (2005)
Light habitat	<i>Campanulastrum americanum</i>	Germination; seed mass; seedling survival; leaf area; life-history	1	Galloway and Etterson (2007, 2009)
Herbivory	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Seed mass; seedling growth; leaf trichome density	1	Agrawal et al. (1999), Agrawal (2001, 2002)
Simulated herbivory	<i>Mimulus guttatus</i>	Leaf trichome density	1	Holeski (2007), Scoville et al. (2011)
Herbivory	<i>Impatiens capensis</i>	Emergence; flowering; plant height; biomass	1	Steets and Ashman (2010)
Viral infection	<i>Nicotiana tabacum</i>	Pathogen resistance; homologous recombination frequency	1	Boyko et al. (2007), Kathiria et al. (2010)
Seasonal environments	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Germination timing; life-history schedule	1	Donohue et al. (2005), Donohue (2009)

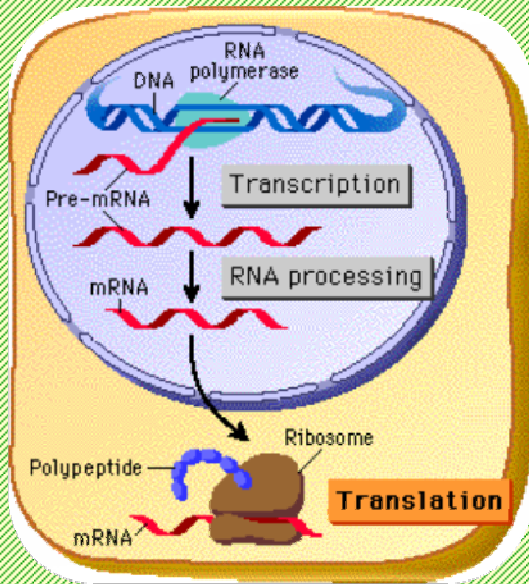


rezerwa nasion: białka, cukry, tłuszcze mogą być uszczuplane gdy rośliny mateczne rosną w warunkach niedostatecznego oświetlenia lub braku substancji odżywczych, co skutkuje wczesnym, ograniczonym wzrostem siewek.

lub

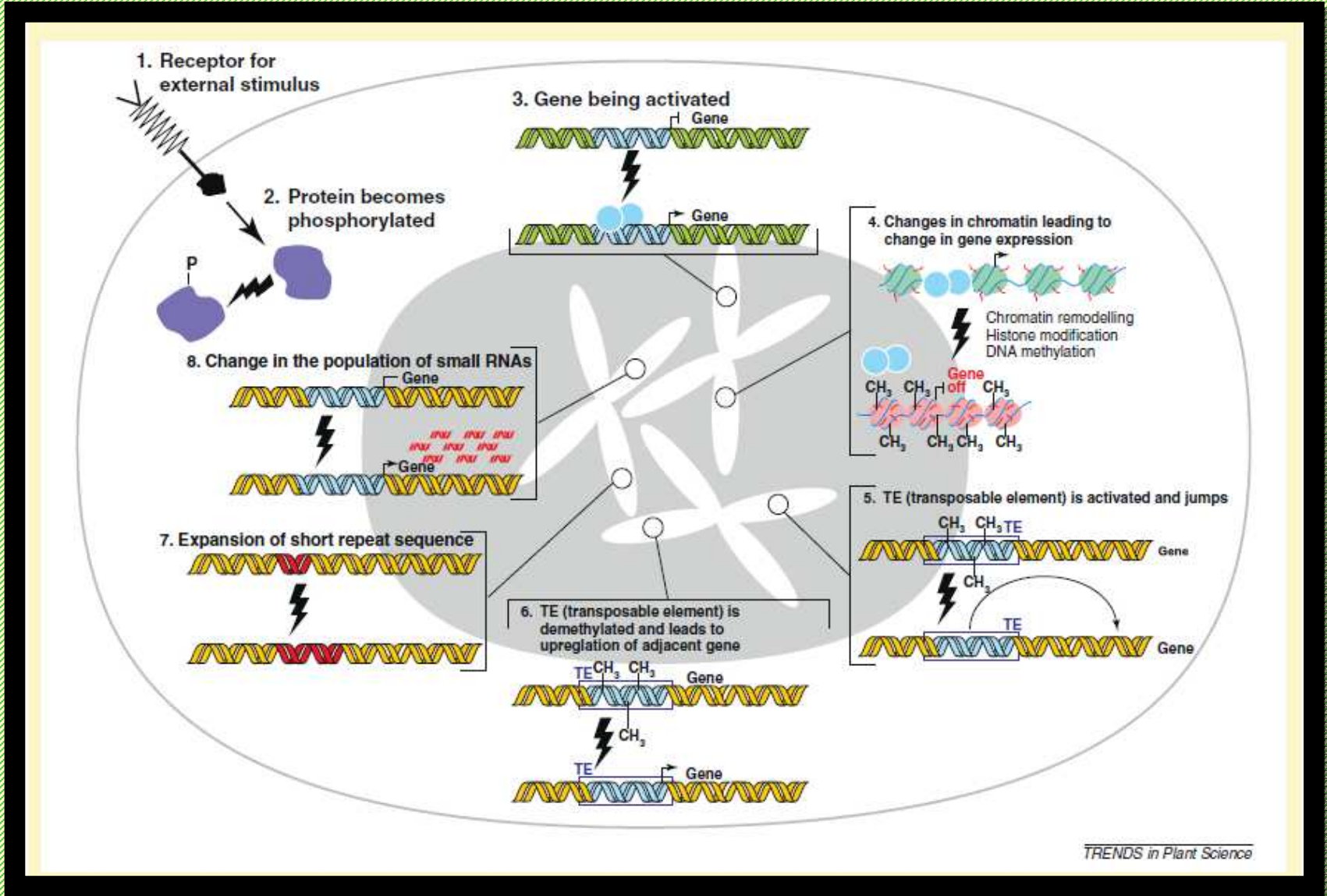



stresowe warunki wzrostu roślin matecznych skutkują zwiększonymi rezerwami nasion - dobrze zaopatrzone potomstwo ma lepszy start: lepszy system korzeniowy w suchej glebie lub lepiej rośnie w zwarcu.



**mRNA, białka, hormony** pochodzące od matki mogą wpływać jako subst. odżywcze albo jako regulatory. Wpływają na kiełkowanie i czas spoczynku. Stres matki zmienia zawartość hormonów w nasionach i wrażliwość zarodka na hormony.

**metylacja DNA i modyfikacje histonów** powodują zahamowanie aktywności genów. Zmienność taka ma ważny efekt ekologiczny związany z reprodukcją, fenologią, kwitnieniem, odpornością na patogeny. Metylację DNA indukuje: susza, szok temp., podtopienie, ograniczony dostęp subst. odżywczych, infekcje patogenów, zasolenie, metale ciężkie, promieniowanie UV, herbicydy.



- 
- Ogromne doświadczenia klimatyczne pokazują wysoki stopień plastyczności fenotypowej drzew leśnych, niewiele jednak wiadomo na temat charakteru tej plastyczności.
  - Doświadczenia ekologiczne powinny zatem zawierać: profile ekspresji genów, liczbę QTL, identyfikację genów kandydujących itp.. aby zidentyfikować geny plastyczności.



## LITERATURA

1. Chambel M. R., Climent J., Alía R. , F. Valladares (2005) Phenotypic plasticity: a useful framework for understanding adaptation in forest species. *Invest Agrar: Sist Recur For* 14(3), 334-344
2. Godoy O., Saldanña A., Fuentes, N. Fernando Valladares, E. Gianoli (2011). Forests are not immune to plant invasions: phenotypic plasticity and local adaptation allow *Prunella vulgaris* to colonize a temperate evergreen rainforest. *Biol. Invasions* 13,1615-1625
3. Griffith T., Sultan S.E. (2012) Field-based insights to the evolution of specialization: plasticity and fitness across habitats in a specialist/generalist species pair. *Ecology and Evolution* doi: 10.1002/ece3.202
4. J. Herman, S. E. Sultan (2011). Adaptive transgenerational plasticity in plants: case studies, mechanisms, and implications for natural populations. *Frontiers in Plant Science* Vol. 2 (102)
5. Nicotra A.B., Atkin O.K., Bonser S.P., A.M. Davidson, E.J. Finnegan, U. Mathesius, P. Poot, M.D. Purugganan, C.L. Richards, F. Valladares and M. van Kleunen (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*, Vol. 15, No. 12
6. Pigliucci M. (2005). Evolution of phenotypic plasticity: where are we going now? *TRENDS in Ecology and Evolution* Vol.20 No.9
7. S. M. Scheiner, R. D. Holt (2012). The genetics of phenotypic plasticity. X. Variation versus uncertainty. *Ecology and Evolution* doi: 10.1002/ece3.217
8. Sullivan J.A. Deng X. W. (2003) From seed to seed the role of photoreceptors in *Arabidopsis* development. *Development Biology* 260, 289-297
9. Sultan S. E. (2000). Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in plant science*, Vol. 5, No. 12
10. Wojciechowska A. (2002). Plastyczność morfologiczna -podstawy genetyczne i ewolucja. *Wiadomości Botaniczne* 46 (1/2)