

Genetisk variasjon og evolusjon

Naturlig seleksjon, artsdannelse og evolusjon i sanntid

KM17

■ *Peppered moth and den industrielle revolusjonen*

Den bjerkemåler (*Biston betularia*) i England fantes opprinnelig nesten utelukkende i hvit, flekkete form – god kamuflasje mot lav-dekkede bjerkestammer. Den mørke formen (*carbonaria*) var sjelden.

Under den industrielle revolusjon ble bjerkestammene mørknet av sot. Den hvite formen ble lett synlig for fugler; den mørke var nå kamuflert. Innen 1895 var ~98% av bjerkemålere i Manchester-området mørke. Etter at luftrenseloven (1956) reduserte sotutslipp, vendte den hvite formen tilbake.

Bjerkemålerstudiet er det mest siterte eksempelet på naturlig seleksjon i sanntid. Det har siden blitt kritisert for metodologiske problemer i de opprinnelige foto- studiene, men det grunnleggende poenget – at pigmentering var under seleksjonspress – holder.

Kildene til genetisk variasjon

Genetisk variasjon er råstoffet for evolusjon. Uten variasjon ingen seleksjon – ingen evolusjon. De tre viktigste kildene til genetisk variasjon er: **mutasjoner** (tilfeldige endringer i DNA-sekvensen), **rekombinasjon** (crossing over og uavhengig assortiment i meiose) og **genflyt** (individer vandrer mellom populasjoner og tar med seg alleler).

Tabell 1: Kilder til genetisk variasjon

Kilde til variasjon	Mekanisme	Hastighet	Effekt
Punktmutasjon	Én base endres	Lav (~10 ⁻⁸ per gen per generasjon)	Ny variant av ett gen
Kromosommutasjon	Deler av kromosom endres/flyttes	Meget lav	Kan gi store effekter
Crossing over	Rekombinasjon under meiose I	Høy (40 per meiose)	Nye kombinasjoner av alleler
Genflyt	Individer vandrer mellom pop.	Variabel	Homogeniserer populasjoner
Seksuell reproduksjon	Tilfeldige gametkombinasjoner	Svært høy	Enorm variasjon i avkom

Naturlig seleksjon

Darwins naturlige seleksjon er drivkraften bak adaptiv evolusjon. Det kreves tre betingelser: (1) variasjon mellom individer, (2) variasjonen er arvelig, (3) variasjon påvirker reproduktivt suksess. Individer med gunstige trekk overlever og reproducerer bedre → genfrekvensen til gunstige alleler øker over generasjoner.

Seleksjonstyper: **retningssелеksjon** (en ekstrem variant favoriseres), **stabiliserende seleksjon** (gjennomsnittsverdien favoriseres, ekstremer elimineres – f.eks. fødselsvekt), **disruptiv seleksjon** (begge ekstremer favoriseres, gjennomsnitt elimineres – kan lede til artsdannelse).

Artsdannelse

Artsdannelse (spesiasjon) skjer når populasjoner divergerer genetisk til det punktet de ikke lenger kan reproducere seg med hverandre. Den vanligste formen er **allopatrisk spesiasjon**: geografisk isolasjon splitter en populasjon; de to delene evoluerer uavhengig under ulike seleksjonstrykk og akkumulerer genetiske forskjeller. Darwins finker på Galápagos er et ikonisk eksempel på adaptiv radiasjon.

■ Antibiotikaresistens – evolusjon vi ser i sanntid

En kirurgisk avdeling i 2019: en pasient er infisert med Klebsiella pneumoniae som er resistent mot alle kjente antibiotika. Karbapenemer – siste utvei – virker ikke. Pasienten dør av en infeksjon som ville vært trivielt behandlbar i 1985.

Dette er ikke science fiction – det er virkeligheten vi er i. Antibiotikaresistens er naturlig seleksjon i raskeste tempo: en bakteriepopulasjon eksponeres for antibiotika, de fleste dør, men en tilfeldig mutant som overlever reproducerer seg. Neste generasjon er etter 20 minutter. Etter noen timer dominerer resistente stammer.

Darwin skjønte ikke antibiotika, men hans teori predikerte nøyaktig dette.

■ Forsøk 1: Naturlig seleksjon med papirfugler

Mål: Simulere naturlig seleksjon ved å 'jage' kamuflerte og ikke-kamuflerte 'individer'.

Utstyr: Fargerik bakgrunn (pledd, mønstret tapet), fargeede papir-sirkler (50 grønne, 50 røde, 50 mønstrete).

Fremgangsmåte:

→ Spre 150 papir-sirkler på bakgrunnen. Gi en 'predator' 30 sekunder på å plukke opp så mange som mulig.

→ Tell gjenværende av hver farge. Beregn 'overlevelseshastighet' per farge.

→ Den som overlevde: la dem reproducere seg $\times 2$. Kjør ny runde.

→ Gjenta 4-5 runder. Tegn en graf over populasjonssammensetning over tid.

→ Diskuter: hva er seleksjonspresset, hva er variasjon og hva er arv i dette eksperimentet?

Forventet resultat: Kamuflerte (mønstrete) sirkler overlever best på mønstret bakgrunn. Naturlig seleksjon er tydelig allerede etter 2-3 generasjoner.

■ Forsøk 2: Molekylær fylogenetikk – slektskapsanalyse fra DNA

Mål: Bruke DNA-sekvenser til å rekonstruere slektskapsforhold.

Utstyr: Internett (NCBI BLAST), sekvenser fra ulike organismer.

Fremgangsmåte:

- Gå til blast.ncbi.nlm.nih.gov.
- Skriv inn en DNA-sekvens fra cytokrom c (finnes i læreboka eller NCBI).
- Kjør BLAST-søk og se hvilke organismer som har mest lik sekvens.
- Diskuter: hva sier likheten i sekvens om evolusjonshistorie?
- Lag et enkelt fylogenetisk tre basert på prosentvis sekvensidentitet.

Forventet resultat: Cytokrom c er svært konservert (lite endret gjennom evolusjon). Menneske og sjimpanse ~99% identisk, menneske og gjær ~60%.

■ Forsøk 3: Fossil-rekord og evolusjon

Mål: Undersøke et eksempel på overgangsformer og diskutere hva det betyr.

Utstyr: Bilder av Tiktaalik, Archaeopteryx og Ambulocetus (eller tilgjengelige fossil-avstøpinger).

Fremgangsmåte:

- Se på bilder av Tiktaalik (overgangsfossil fisk-amfibie).
- List opp fisketrekk og landdyrtrekk hos Tiktaalik.
- Gjenta for Archaeopteryx (reptil-fugl) og Ambulocetus (landpattedyr-hval).
- Diskuter: hva er et 'overgangsform'? Betyr det at evolusjon er ferdig?
- Beregn: Ambulocetus levde for ~50 mill. år siden. Hvor mange generasjoner siden (antar 5 år per generasjon)?

Forventet resultat: Overgangsformer finnes – de er ikke 'manglende lenker' men forventede mellomstadier. Evolusjon er en gradvis prosess.

■ Oppgaver

■ Oppgave 1 (basis)

Forklar Darwins naturlige seleksjon med de tre nødvendige betingelsene. Bruk bjerkemåleren som eksempel.

■ Oppgave 2 (basis)

Hva er en mutasjon? Forklar tre typer mutasjoner (punkt, rammesift, kromosom) og effekten de kan ha.

■ Oppgave 3 (middels)

Forklar allopatrisk spesiasjon. Hva skjedde med Galápagos-finkene? Hva er adaptiv radiasjon?

■ Oppgave 4 (middels)

Antibiotikaresistens er evolusjon i sanntid. Forklar: (a) mekanismen, (b) hvorfor overbruk av antibiotika akselererer resistensutviklingen, (c) tiltak for å redusere problemet.

■ Oppgave 5 (middels)

Hva er genetisk drift? Forklar flaskehalseffekten og grunnleggereffekten med eksempler. Skiller genetisk drift seg fra naturlig seleksjon?

■ Oppgave 6 (avansert)

Den moderne syntesen kombinerer Darwins naturlige seleksjon med Mendels genetikk. Forklar hva den moderne syntesen sier, og diskuter: er det noe den ikke forklarer (horisontalt gentransfer, epigenetisk arv)?

■ Oppgave 7 (avansert)

Hardy-Weinberg-likevekt: $p^2 + 2pq + q^2 = 1$. Forklar hva den sier og hvilke fem forutsetninger som må holde. Beregn: i en populasjon er 4% albino (aa). Hva er frekvensen av a-allelet og A-allelet?

■ Oppsummering

Viktige punkter fra dette kapitlet:

- Genetisk variasjon: mutasjoner, rekombinasjon, genflyt. Råstoffet for evolusjon.
- Naturlig seleksjon: variasjon + arvelighet + differensiert reproduksjon → allele-frekvensendring.
- Seleksjonstyper: retning, stabilisering, disruptiv.
- Artsdannelse: geografisk isolasjon → divergens → ny art (allopatrisk spesiasjon).
- Antibiotikaresistens: evolusjon vi ser i sanntid – seleksjon på bakgrunn av antibiotika.
- Bjerkemålerstudiet: klassisk eksempel på naturlig seleksjon og kamuflasje.