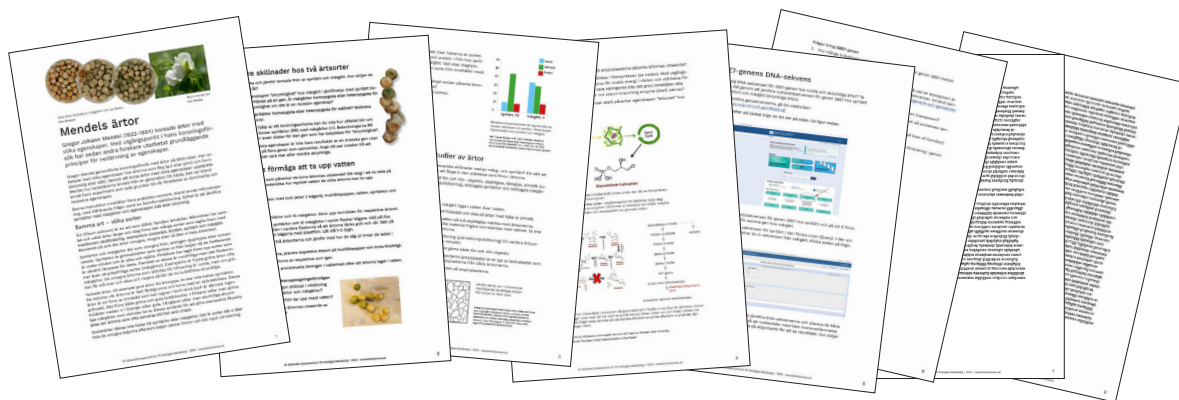




Mendels ärtor

Lärrarhandledning

I klassisk genetikundervisning brukar det ingå att studera Mendels korsningsförsök. Skrynkliga ärtor som korsas med släta eller gula ärtor med gröna. Med olika små laborationer försöker vi här ge ett helhetsperspektiv på sambandet mellan egenskap, protein och DNA.

Genom att studera de yttre morfologiska skillnaderna mellan två ärtsorter, spritärtor och mörkgröna ärtor, och fundera på orsakerna till dessa skillnader kan man slutligen landa i en förklaring som grundas i skillnader i nukleotidsekvensen. Vi får på detta sätt ett exempel utifrån laborativa resultat och ett helhetsperspektiv på sambandet mellan *egenskap* – *protein* – *DNA*. Laborationerna visar morfologiska, kemiska och genetiska skillnader hos släta och skrynkliga ärtor och ger en koppling mellan Mendels klassiska genetik och dagens bioinformatik.

Lärrarhandledningen innehåller praktiska tips och förslag på svar till frågorna som finns till elevinstruktionen *Mendels ärtor*.

Ärtor

Det finns många olika ärtsorter (*Pisum sativum*) vars frön vi använder som livsmedel eller foder.

Till de här laborationerna behövs spritärtor och mörkgröna ärtor. För att få tag på sortäktade ärtor är det enklast att köpa fröpåsar i fröhandeln.

För att titta på amyloplaster kan gula kokärtor användas istället för spritärtor.



Tips

På webbsidan EVO ED finns en powerpointpresentation, frågor och simuleringsövning på engelska om Mendels ärtor och den gen som påverkar skrynklighet: <https://evo-ed.org/mendels-peas/biological-processes/>

Läs mer om Mendel och ärtor i tidningen Bi-lagan nr 2 2025, artikeln *Missförstånd kring Mendel* (sid. 15-18), som finns på Bioresurs webbplats, bioresurs.uu.se.

Spritärtor och mägärtor

Elevinstruktionen *Mendels ärtor* innehåller en serie försök där eleverna får jämföra variation i fenotyp och försöka ta reda på hur det hänger samman med mängden socker och stärkelse i spritärtor och mägärtor.

Till laborationen behöver man lägga ärtor i blöt över natten eller i cirka ett dygn. Se respektive delförsök.

Yttre skillnader hos två ärtsorter

Första uppgiften är att jämföra torkade frön av spritärt och mägärt för att få syn på skillnader i fenotyp. Spritärtorna är runda medan mägärtorna vanligen är större och mer kantiga i formen. För ett otränat öga kan det ibland vara svårt att se skillnad på dem. Ett tips är att hålla upp många ärtor och inte titta på en ärt i taget. Gula kokärtor är runda och släta. Både spritärtor och mägärtor varierar i färg mellan gult och grönt, men det finns också sorter som är mörklila. Här kan man diskutera vad "skrynklighet" egentligen innebär. Både spritärtor och mägärtor är mer eller mindre skrynkliga. Slätast är de gula ärtorna.



Mägärtor till vänster i bilden och spritärtor till höger. Även många spritärtor blir skrynkliga och ihopsjunkna när de torkar, men mägärtorna är generellt större och mer rektangulära i formen.

Svarsförslag till uppgifterna

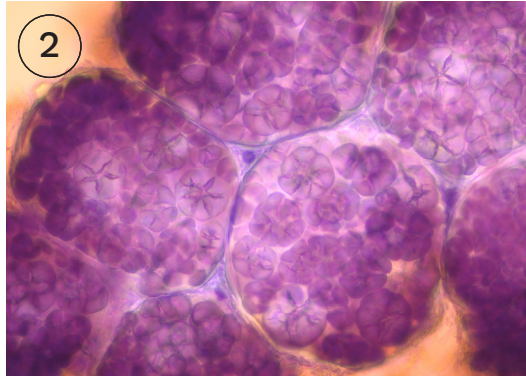
1. Titta och jämför torkade frön av spritärt och mägärt. Hur skiljer de sig åt?
Se texten ovan.
2. Kan något i miljön där de odlas påverka skrynkligheten?
Ja, även miljön där ärtan har vuxit kan påverka de individuella ärtornas "skrynklighet". Om det har varit torrt där de växer och "grad av torkning" för själva ärtan.

Torrsvikt och våtsvikt

I detta försök (ärtors förmåga att ta upp vatten) vägs 10 ärtor av varje sort som sedan får ligga i vatten under cirka ett dygn. Ärtorna vägs igen och den procentuella ökningen i vattenhalt beräknas. Sammanställ elevernas resultat. Mägärtorna tar i genomsnitt upp mer vatten än spritärtorna. Den procentuella viktökningen beräknas som skillnaden i vikt mellan torra ärtor och våta ärtor dividerad med torrsvikten, multiplicerat med 100. Sammanställ gärna klassens resultat i en gemensam tabell.

Mikroskopstudier av ärtor

Förbered genom att låta spritärtor (eller gula ärtor) och märkeärtor ligga i vatten över natten. Låt eleverna dela på en ärt och skrapa lite på insidan av ena ärt-halvan (hjärtbladet). Skrapet läggs i en vattendroppe på ett objektglas och en droppe Lugols lösning (jod-jod-kalium-lösning) tillsätts som färgar stärkelsekornen i amyloplasterna. Titta sedan på preparaten i mikroskop med 10x- och 40x-objektiv. De flesta cellerna går sönder när man skrapar på ärtan, så det som syns bäst i preparatet är alla infärgade amyloplaster.

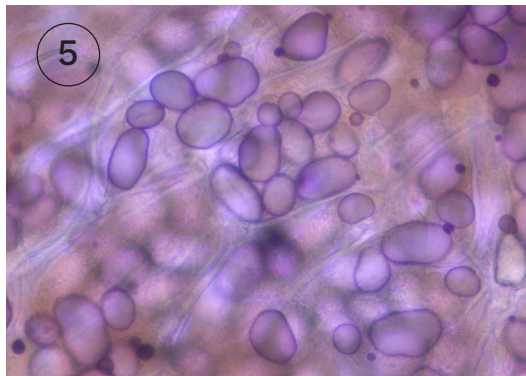
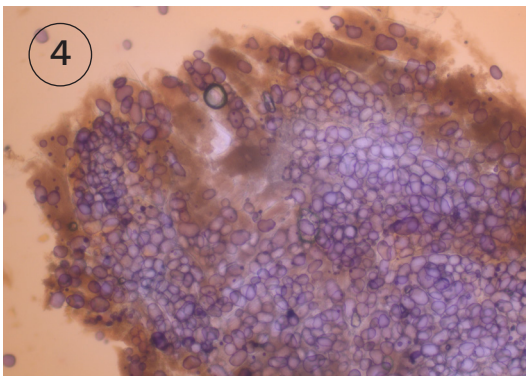
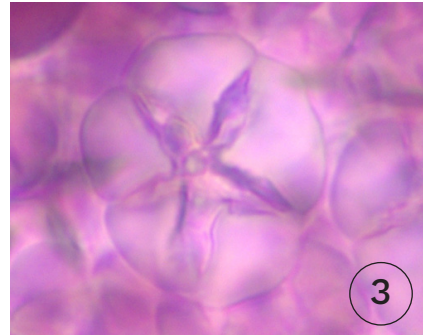


Preparat av märkeärt färgad med jodlösning

Bild 1: Celler från märkeärt fyllda med amyloplaster fotograferade med 100 gångers förstoring (10x-objektivet). Många små fragment av amyloplaster syns i bakgrunden som blåsvarta prickar.

Bild 2: Samma celler från märkeärt fotograferade med 400 gångers förstoring.

Bild 3: Inzoomad bild på en amyloplast i 400 gångers förstoring. Amyloplasterna i märkeärt är oregelbundna i formen och består av flera delar.

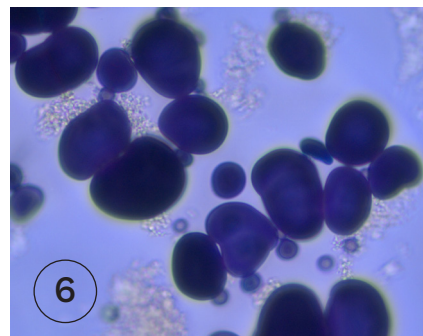


Preparat av spritärt färgad med jodlösning

Bild 4: Celler från spritärt fyllda med amyloplaster, fotograferade med 100 gångers förstoring. I resten av preparatet finns många blåsvarta prickar som är amyloplaster och fragment av amyloplaster (syns ej på bilden).

Bild 5: Samma celler från spritärt fotograferade med 400 gångers förstoring.

Bild 6: Inzoomad bild på amyloplaster i 400 gångers förstoring. Amyloplasterna i spritärt är mer jämna och runda, eller avlånga i formen.



Gener och egenskaper

Svarsförslag till genetiken bakom skrynklighet

1. Vilka ärtor var skrynkliga? Spritärtor eller mägärtor?
Mägärtor.
2. Egenskapen "skrynklighet" hos mägärt i jämförelse med spritärt beror främst på en gen. Är mägärtor homozygota eller heterozygota för skrynklighet om det är en recessiv egenskap?
Homozygota
3. Är spritärtor homozygota eller heterozygota för släthet? Motivera ditt svar.
Spritärtor är antingen homozygot dominant (RR) eller heterozygot (Rr) för den egenskapen. I båda fallen kommer de att vara släta.
4. Med hjälp av ett korsningsschema kan du visa hur utfallet blir om man korsar spritärtor (RR) med mägärtor (rr). Beteckningarna RR och rr avser alleler för den gen som har betydelse för "skrynklighet".
Alla ärtorna blir släta.

	R	R
r	Rr	Rr
r	Rr	Rr

5. De flesta egenskaper är inte bara resultatet av en enskild gen utan beror på flera gener som samverkar. Hur kan andra gener påverka ärtornas skrynklighet?
Det är troligt att fler gener påverkar skrynkligheten. Gener som påverkar skalets byggnad kanske kan bidra till mer eller mindre skrynklighet eller gener som påverkar innehållet av andra ämnen än stärkelse. Samverkan mellan alla de här olika generna kan ge en variation i hur skrynklig ärtan blir.

Svarsförslag till ärtornas vattenupptagningsförmåga

1. Blev det någon skillnad i viktökning mellan spritärtor och mägärtor?
Se de egna resultaten för att få fram den procentuella skillnaden mellan ärt-sorterna.
2. Vilken sorts frön tar upp mest vatten?
Mägärtorna tar upp mer vatten än spritärtorna.
3. Hur påverkas ärtornas utseende av vattenhalten?
Alla ärtor sväller upp och blir släta, både mägärtor och spritärtor.
4. Diagrammet (se elevinstruktionen) visar halterna av socker, stärkelse och protein i frön hos spritärt och mägärt. Vilka skillnader i innehåll mellan ärt-sorterna går att utläsa av diagrammet?
Det visar att spritärtorna innehåller något mer stärkelse än mägärtorna, men att mägärtorna innehåller mer socker.
5. Kan olika mängd socker påverka ärtornas utseende?
Tips: Tänk på osmos.
Ja, om cellerna innehåller mycket socker kommer det att driva på vatten-transporten in i cellerna. Det gör att mägärtornas celler innehåller mer vatten än spritärtornas celler när de är färdiga för skörd.

Svarsförslag till ärtornas cellinnehåll (efter mikroskopstudierna)

1. Kan skillnaderna i utseendet på amyloplasterna påverka ärtornas utseende?

Det är svårt att veta hur mycket skillnaden i utseendet på amyloplasterna påverkar ärtornas fenotyp eller om det bara är mängden socker som gör att mörkgärterna blir mer skrynkliga. I ett moget frö av mörkgärta är det dock inte lika mycket socker kvar utan huvuddelen av kolhydraterna är i form av amylos. Där finns även en del andra oligosackarider utöver sackaros.

Vill man spekulera är kontaktyta ofta något som påverkar fenomen och kanske har de sönderspruckna, blomformade amyloplasterna större kontaktyta än amyloplasterna i spritärt. Även mängd och form på stärkelsemolekylerna påverkar hur mycket vatten som binds in.

2. Glycerinaldehyd-3-fosfat (G3P) bildas i fotosyntesen. Med utgångspunkt i G3P bildas både sackaros för snabb energi i växten och stärkelse för energilagring. Fröet (som ska vara näringsrikt tills det gror) innehåller ofta mycket stärkelse. Vad händer om starch branching enzyme 1 (SBE1) inte bildas eller inte fungerar som det ska?

Genom att titta på bilderna ser man att det sista steget i att bilda grenade stärkelsemolekyler (amylopektin) har ett rött kryss. SBE1-enzymet saknas (eller fungerar dåligt). När det blir "stopp" i en reaktionskedja behöver man tänka på vilken konsekvens det ger. Ämnet (substratet till SBE1-enzymet) som skulle ha reagerat vidare kan inte göra det. Då ansamlas mer av det ämnet. Ofta finns en feedback-reglering av cellernas enzymer. Utan att gå in på detaljer om hur det är i just detta fall, så kan ansamling av ett ämne leda till att enzymer som katalyserar bildningen av det ämnet inhiberas. Då regleras aktiviteten ner och det bildas mindre av ämnet som ansamlats på grund av "stoppet längre ned" i reaktionskedjan.

Bilden i elevinstruktionen visar en lång reaktionskedja. Högst upp i den finns G3P och där finns en streckad linje som visar på en alternativ reaktionsväg. Denna leder till sackaros. Tankegången ska då leda fram till att eleverna ser att om det "stoppas upp" i reaktionskedjan för stärkelse, så leder det till att mer av G3P kan bilda sackaros.

Här kan man fråga sig om det bildas någon stärkelse alls om inte SBE1-enzymet fungerar. I bilden ser man dock att den första formen av stärkelse, amylos (ogrenad) bildas. Sedan finns det andra enzymer än SBE1 som påverkar förgreningen av amylos. Det kan förklara att det även i mörkgärter (som saknar fungerande SBE1-enzym) bildas en viss mängd amylopektin (10 g jämfört med 28 gram i 100 g torra spritärter).

Mörkgärter innehåller totalt sett mindre stärkelse, men mer socker, än spritärter. Viktigt att poängtera är alltså att reaktionsschemat i elevinstruktionen är en förenklad modell av växtcellernas biokemiska maskineri.

3. Förklara hur proteinet (enzymet SBE1) påverkar egenskapen "ärtsmak" hos mörkgärter och spritärter.

Mörkgärter kan smaka sötare än spritärter.

Genens DNA-sekvens

Orsaken till skillnaderna i enzymproduktion hos släta och skrynkliga ärtor är att *sbe1*-genen hos skrynkliga frön innehåller en extra nukleotidsekvens. Detta beror på en transposon (insertion). Effekten av insertionen blir att genen inte fungerar normalt och bildningen av enzymet SBE1 stoppas. Därmed bildas inte heller grenade stärkelsemolekyler (amylopektin). Att det är fråga om en transposon stöds av att sekvensen har inverterade ändar som liknar kända transposoner.

Eftersom det inte bildas amylopektin blir det överskott av amylos. Det förändrar reaktionsvägen så att det även bildas mer sackaros. Märgärtor får därför en högre sockerhalt och därmed blir även vatteninnehållet högre i färska eller blötlagda torkade ärtor. När ärtorna torkar förlorar de mycket vatten och blir skrynkliga.

Svarsförslag till frågor kring *sbe1*-genen

1. Hur många kvävebaser skiljer nukleotidsekvensen för genen *sbe1* mellan spritärt och märgärt?
719 kvävebaser
2. Hur kan denna skillnad ha uppstått?
För att kunna besvara den frågan måste eleverna ta reda på vad en transposon är på Gentekniknämndens webbsida. Se även förklaringen ovan.
3. Vilken är den fungerande genen – den med eller utan en transposon?
Genen som saknar en transposon (dominanta alleler).
4. Förklara varför R-allelen är dominant över r-allelen. Tänk på proteinets (enzymets) funktion.
Därför att det räcker med en allel för att tillräckligt med funktionella SBE1-enzym ska bildas och katalysera bildningen av amylopektin (så att ärtorna blir släta). Med begreppet "fullständigt dominant" gäller ovanstående förklaring. Annars skulle heterozygoterna eventuellt kunna ha något lägre produktion av enzymer och om halten enzym påverkar skulle man kunna tänka sig att de har mindre mängd amylopektin än homozygoterna.
5. Genom människans växtförädling finns idag alltså rena sorter som helt saknar fungerande *sbe1*-gener. Skulle denna "loss-of-function-mutation" kunna överleva evolutionärt hos vilda ärter? Varför/varför inte? Motivera.
En "loss-of-function-mutation" i *sbe1*-genen som leder till att enzymet inte fungerar skulle sannolikt inte överleva i en vild population av ärter.
En ärtväxt som bara producerar mycket amylos (och nästan ingen amylopektin) innehåller mindre mängd stärkelse totalt och kan ha svårare att snabbt frigöra energi under groning, vilket påverkar dess konkurrenskraft och överlevnad. En mutation som försämrar stärkelsens funktionalitet i fröet skulle sannolikt snabbt selekteras bort.
6. En förändring i DNA kan leda till att ett protein slutar fungera, vilket i sin tur gör att en egenskap förändras. Vilket av följande ger den bästa förklaringen till det enligt dig? Kommentera varför nedanstående alternativ stämmer/stämmer inte.
a) En förändring i DNA kan leda till att ett protein slutar fungera som i sin tur gör att en egenskap förändras.
Stämmer. Det här alternativet är den bästa förklaringen. En mutation i DNA

kan ändra aminosyrasekvensen i ett protein, vilket kan påverka dess struktur och funktion. Om ett protein är trasigt eller saknas helt, kan det leda till att en egenskap påverkas.

b) Om ett protein slutar fungera påverkas genen (allelerna) som kodar för proteinet så att egenskaperna som behövs förändras.

Stämmer inte. Proteiner påverkar inte genen som kodar för dem på det sättet. Informationen går i riktningen DNA → RNA → protein. Ett fel på protein-nivå påverkar alltså inte tillbaka på själva DNA-sekvensen.

c) DNA kan mutera så att egenskaperna vi ser förändras medan proteinerna alltid behåller sin ursprungliga form.

Stämmer inte. En mutation i DNA kan leda till att proteinet förändras. Att egenskapen förändras men inte proteinet blir därför ologiskt.

d) Det är egenskaperna i sig som påverkar både DNA och protein.

Stämmer inte. Egenskaper är ett resultat av DNA och protein, inte tvärtom. Ibland är det dock mer komplext. Exempelvis epigenetiska förändringar kan ändra genaktivitet utan att ändra DNA-sekvensen. Genuttryck kan stängas av eller sättas på genom kemiska förändringar som DNA-metylering eller modifiering av histoner.