



Gula ärtor (kokärtor), märgärtor och spritärtor.
Foto: Bioresurs



Blommande ärt
Foto: Pixabay

Mendels ärtor

På 1800-talet korsade Mendel ärtor med olika egenskaper, vissa var till exempel släta och andra skrynkliga. Här tittar vi närmare på egenskapen skrynklighet hos spritärtor och märgärtor och den bakomliggande genetiken.

Gregor Johann Mendel (1822–1884) genomförde korsningsförsök med ärtor på 1800-talet. Han studerade olika egenskaper hos ärtorna som färg (gul eller grön) och form (slät eller skrynklig). Genom att korsa ärtor med olika egenskaper upptäckte Mendel hur karaktärerna ärvdes från en generation till nästa.

Denna instruktion innehåller tre praktiska moment med tillhörande frågor samt en bioinformatikövning. Syftet är att jämföra spritärtor med märgärtor och egenskapen slät eller skrynklig, men först lite fakta om olika ärtsorter.

Samma art – olika sorter

Ärt (*Pisum sativum*) är en art som tillhör familjen ärtväxter. Människan har samlat och odlat ärtor länge och idag finns det många sorter som tagits fram med traditionell växtförädling, exempelvis spritärt, märgärt, gula ärtor och sockerärt. Beroende på sort äts ärtor omogna, mogna eller så äter vi hela ärtbaljan.

Spritärtor och **märgärtor** äts som omogna frön, antingen djupfrysta eller konserverade. Spritärtor är grönsaksärtor som spritas ut från baljan då de fortfarande är under tillväxt och är söta och mjälla. Förädlare har tagit fram nya sorter som är särskilt lämpade för detta. Flertalet av dessa är rundfröiga (släta) men det förekommer även skrynkelfröiga sorter (märgärtor). Exempelvis är frysta gröna ärtor ofta märgärtor. De omogna ärtorna som skördas till infrysning är runda, men om grödan får stå kvar och växa och mogna så blir de torra ärtfröna skrynkliga.

Torkade ärtor, till exempel **gula ärtor** till ärtsoppa, skördas med en skördetröska när ärtorna är helt färdigvuxna och torra. Dessa ärtor är en form av trindsäd som kan lagras i torrt skick (och är därmed ingen grönsak). Det finns både gröna och gula kokärtsorter. I Finland odlar man gröna kokärter medan vi i Sverige odlar gula. I England odlar man storfröiga skrynkliga märgärter som skördas torra. Dessa används för att göra exempelvis *Musshy peas* (en ärtröra som ofta serveras till fish and chips).

Sockerärtor är sorter där vi äter hela de omogna baljorna eftersom baljan saknar hinnor och blir mjuk vid kokning.

Yttre skillnader hos två ärtsorter

Börja med att titta och jämföra torkade frön av spritärt och märtärt.

1. Hur skiljer de sig åt?
2. Kan något i miljön där de odlas påverka skrynkligheten?

Torrsvikt och våtsvikt

Vad är det som påverkar de torra ärtornas utseende? Ett steg i att ta reda på det är att undersöka hur mycket vatten de olika ärtorna kan ta upp.

Materiel: 1 våg, 2 flaskor med lock (eller 2 bägare och plastfilm), hushållspapper, vatten, spritärtor och märtärtor.

1. Våg 10 spritärtor och 10 märtärtor. Skriv upp torrsvikten för respektive ärtsort.
2. Placera 10 spritärtor och 10 märtärtor i varsin flaska/bägare. Håll på lika mycket vatten i flaskorna så att ärtorna täcks gott och väl. Sätt på locket/täck bägarna med plastfilm. Låt stå 1–2 dygn.
3. Titta på de två ärtsorterna och jämför med hur de såg ut innan de lades i vatten.
4. Ta upp ärtorna, placera respektive ärtsort på hushållspapper och torka försiktigt.
5. Våg de 10 ärtorna av respektive sort igen.
6. Beräkna den procentuella ökningen i vattenhalt efter att ärtorna legat i vatten

Mikroskopstudier av ärtor

Finns det några mikroskopiska skillnader mellan spritärtor och märtärtor? Ett sätt att se sådana skillnader är att färga in den stärkelse som finns i ärtorna.

Materiel: Mikroskop med 10x- och 40x-objektiv, objektglas, täckglas, pincett, Lugols lösning (jod-kaliumjodidlösning), blötlagda spritärtor och blötlagda märtärtor.

1. Låt frön av spritärt och märtärt ligga i vatten över natten.
2. Ta en blötlagd ärt, ta bort fröskalet och dela på ärtan med hjälp av en pincett.
3. Placera en droppe vatten på två objektglas märkta med ärtsorterna. Skrapa på ärtorna (inte skalet) med pincetten så att lite material frigörs och blandas med vattnet.
4. Tillsätt en droppe Lugols lösning (jod-kaliumjodidlösning) till vardera ärtsuspension. Låt verka i ett par minuter.
5. Studera i mikroskop. Använd gärna både 10x- och 40x-objektiv.
6. Jämför amyloplaster från ärtsorterna (amyloplaster är en typ av leukoplaster som lagrar stärkelse). Rita av amyloplasterna från båda ärtsorterna.
7. Beskriv skillnaderna i utseendet på amyloplasterna.

Gener och egenskaper

Nedan finns frågor som knyter ihop iakttagelserna från småförsöken med frågor om genetik. Vad kan orsaka skillnaderna mellan spritärtor och mörgärtor?

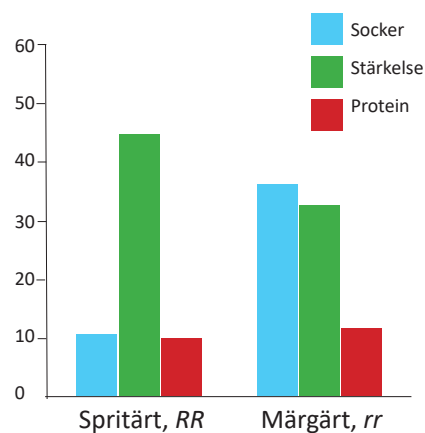
Genetiken bakom skrynklighet

1. Vilka ärtor var skrynkliga? Spritärtor eller mörgärtor?
2. Egenskapen "skrynkighet" hos mörgärt i jämförelse med spritärt beror främst på en gen. Är mörgärtor homozygota eller heterozygota för skrynklighet om det är en recessiv egenskap?
3. Är spritärtor homozygota eller heterozygota för släthet? Motivera ditt svar.
4. Med hjälp av ett korsningsschema kan du visa hur utfallet blir om man korsar spritärtor (RR) med mörgärtor (rr). Beteckningarna RR och rr avser alleler för den gen som har betydelse för "skrynkighet".
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?

Frågor kring ärtornas vattenupptagningsförmåga

1. Blev det någon skillnad i viktökning mellan spritärtor och mörgärtor?
2. Vilken sorts frön tar upp mest vatten?
3. Hur påverkas ärtornas utseende av vattenhalten?

4. Diagrammet till höger visar halterna av socker, stärkelse och protein i tidiga frön (fröembryot) hos spritärtor och mörgärtor. Vilka skillnader i innehåll mellan ärtsorterna går att utläsa av diagrammet?
5. Kan olika mängd socker påverka ärtornas utseende?
Tips: Tänk på osmos.
6. När en mörgärta mognar omvandlas nästan allt socker till stärkelse. I en mogen mörgärta är det inte mycket socker kvar utan huvuddelen av stärkelsen är i form av amylos. Hur påverkar det staplarna för mörgärt?
7. Hur påverkas mörgärtornas smak av att vi skördar dem medan de fortfarande är omogna?



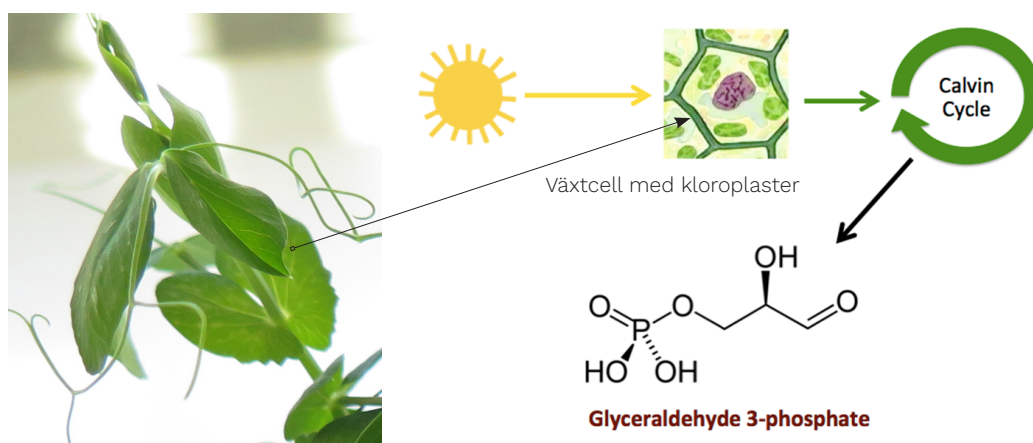
Relativa koncentrationer (% mg torrsvikt) av socker, stärkelse och protein i fröembryot (hjärtbladen) hos spritärt och mörgärt.

Ref: Tracey Rayner m.fl. (2017) Genetic Variation Controlling Wrinkled Seed Phenotypes in Pisum: How Lucky Was Mendel? Int. J. Mol. Sci. 18, 1205; doi:10.3390/ijms18061205. www.mdpi.com/journal/ijms

Frågor kring ärtornas cellinnehåll (efter mikroskopstudierna)

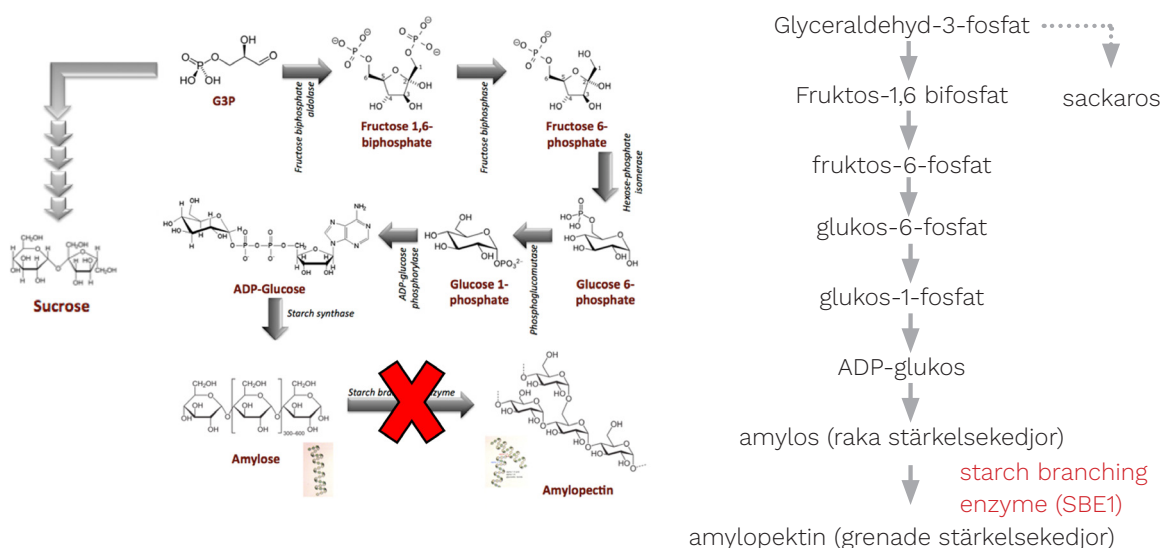
Medan ärtorna mognar sker det kemiska processer som påverkar både innehåll och utseende på ärtorna. Använd bilder och bildtext nedan för att besvara resten av frågorna.

1. Glyceraldehyd-3-fosfat (G3P) bildas i fotosyntesen. Utifrån 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 (SBE1) inte fungerar som det ska?
2. Förklara hur enzymet SBE1 påverkar utseendet på stärkelsekornen hos spritärtor och mörkärtor.
3. Förklara hur SBE1 påverkar egenskapen "ärtsmak" hos spritärtor och mörkärtor.



Fotosyntesen sker i kloroplasterna och kan förenklat delas in i två delar, ljusreaktionen och Calvincykeln. Under den del av fotosyntesen som kallas Calvincykeln bildas Glyceraldehyd-3-fosfat (G3P).

G3P omvandlas sedan i en reaktionsserie till stärkelse. Varje steg katalyseras av enzymer. Två former av stärkelse kan bildas: **amylos** som har raka kedjor och **amylopektin** som har grenade kedjor (se nedan).



Det är många enzymer inblandade i processen då glyceraldehyd-3-fosfat (G3P) omvandlas till stärkelse i ärtcellerna. Reaktionsvägen ovan visar att när SBE1-enzymet saknas ställer cellen om och bildar istället mer sackaros. I bilden till höger visas samma sak på svenska (förutom enzymet eftersom vi använder den engelska förkortningen (SBE1)).

Bildreferens och info till de två bilderna med engelsk text: Evo-Ed Project at Michigan State University, www.evo-ed.com. Sök på "The Case of Seed Taste Evolution in Pea Plants"

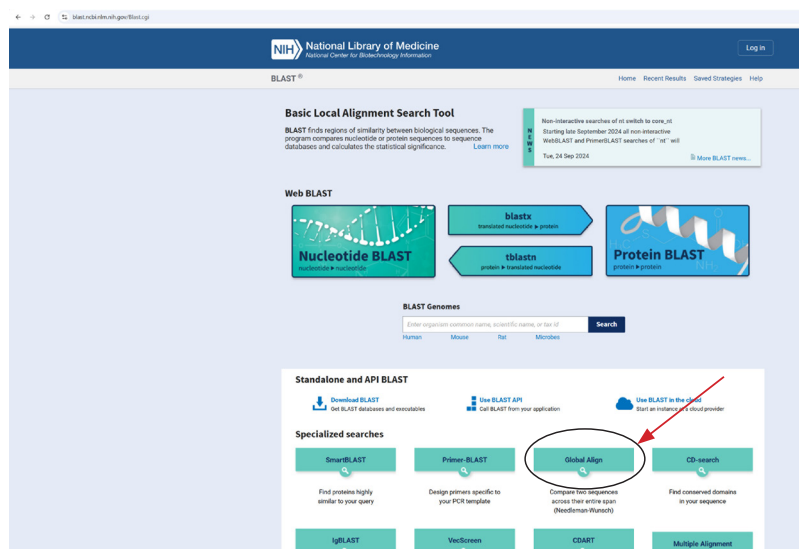
Genens DNA-sekvens

Skiljer sig DNA-sekvensen för *sbe1*-genen hos släta och skrynkliga ärtor? Ta reda på det genom att jämföra nukleotidsekvensen för genen *sbe1* hos spritärt (släta ärtor) och mörkärt (skrynkliga ärtor).

För att jämföra gensekvenserna, gå till webbsidan:

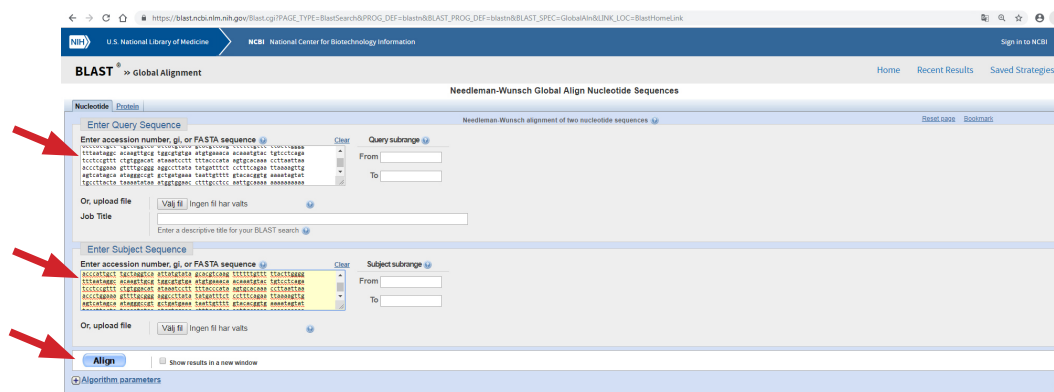
<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>

Klicka därefter på *Global Align* en bit ner på sidan, markerat i figuren nedan.



På sidan 7 finns nukleotidsekvensen för genen *sbe1* hos spritärt och på sidan 8 finns nukleotidsekvensen för samma gen hos mörkärt.

Kopiera och klistra in sekvensen för spritärt i den första rutan (Query). I den andra rutan (Subject) klistrar du in sekvensen från mörkärt. Klicka sedan på Align.



Programmet kommer nu att jämföra DNA-sekvenserna och placera de båda sekvenserna ovanför varandra så att nukleotider med bäst överensstämmelse hamnar ovanför varandra. Klicka på *Alignments* för att se resultatet. Hur skiljer sig sekvenserna åt?

Frågor kring *sbe1*-genen

1. Vid jämförelsen av DNA-sekvensen för *sbe1*-genen för spritärt och mägerärt, hur skilde sekvenserna sig åt med avseende på antal kvävebaser?
2. Hur kan denna skillnad ha uppstått?
För att kunna besvara den frågan måste du ta reda på vad en transposon är och hur den kan förklara skillnaden mellan ärtornas sekvenser. Se Gentekniknämndens webbsida: <https://www.genteknik.se/genetik-och-genteknik/genmodifierade-organismer-gmo/gendrivare/>
3. Vilken är den fungerande genen, den med eller utan en transposon?
4. Förklara varför R-allelen är dominant över r-allelen. Tänk på proteinets (enzymets) funktion.
5. Genom människans växtförädling finns idag sorter som helt saknar fungerande *sbe1*-gener. Skulle denna "loss-of-function-mutation" kunnat överleva evolutionärt hos vilda arter? Varför/varför inte? Motivera.
6. En förändring i DNA kan leda till att en egenskap förändras. Vilket av följande ger den bästa förklaringen till det enligt dig? Ange för var och ett av nedanstående alternativ om det stämmer eller inte. Motivera.
 - a) En förändring i DNA kan leda till att ett protein slutar fungera som i sin tur gör att en egenskap förändras.
 - b) Om ett protein slutar fungera påverkas genen (allelerna) som kodar för proteinet så att egenskaperna förändras.
 - c) DNA kan mutera så att egenskaperna vi ser förändras medan proteinerna alltid behåller sin ursprungliga form.
 - d) Det är egenskaperna i sig som påverkar både DNA och protein.

Sekvens hos spritärt

ccattcttca cgtacaata catccctatc tataataaac acaattttc ttctcatcat tatatcattt tattcaatta ttaaagatt
ttattcttc aagaagtaa tgcgaatcat ttttactct gtatgtatc acatttctc tgcctcttc tactcaattt tttagattc
ttctctttg caataaaac cctaagctga tagaagaaga tgggttatac aatctcagga attcgattc ccgttctcc ttctctgac
aagtcgacct tacgtcga tgcagagct tcatctact cttttttct caagaacaac tctcatcat tctctcgac ctactttat
gcaaagttt ccgctgattc tgaacaaaa tctccacaa ttgctgaatc tgataaagta cttattcctg aagatcaaga taactctga
tccttggcag atcaactga aatcctgat ataactcag aggatgcaca gaacttgag gatttaacca tgaagatgg
gaataagtag aatattgat aatcaactag cagttataga gaggttgag atgagaaagg ttctgtacg tcatcatcac tttagatgt
taacaccgac actcaagcca agaagacatc agttattca gacaagaag taaaagtaga taaacctaag atcattctc
caccggtag tgggcagaaa atatatgaga ttgatccact ttgcaagct caccgtcagc atcttgattt ccgttatgga
caatacaaaa gaattcggga ggaattgac aatatgaag gtggtctga tgcatttctc cgtgggtacg aaaagtttg
cttcacacgc agtgcacag gcattacta cagggagtgg gcacttgag ctaagtcagc agcattagt ggagattca
acaattggaa tcaaatgca gatgaatga ctaaggacgc ttttggtga tgggagatct tcttgcaaa caatgccgat
ggttcgccac caattctca tgggtctga gtcaagatc acatggatac tccctctggg atcaaggact cgattctgc ttgatcaaa
ttctctgat aggtctctgg tgaattcca taacgcctc cgggaagcca cgtcatagac ggttacccc cgatgtctt
caacgagatg ccacatgcc tcatcactgt tgaacacage cacaagcca geccggaatat ctggcgtgc aatatcgga
ctgttgacg cgagaccgtg atgagcgga ataatgacg cacttcacc aataattca ttagtcccg ccagcagatt ataaattt
atggtccgt gtgtcact cacttgaat gccaatatgc aagcctcaca atatagtaa atgaatgtt ttgacggtg tttccgct
taccgcagc gttaacggtg atgtgtgtgc cgtgtgaacc aatactgaaa gaattgggcat gagcaccgat aacaaccgga
tgtgtgtgc caccaatacc aactagacg gcattgtcac cggcactcac ggctgtaccg gacaatgagt gactgtggt
gccctgactg tccgtttc ataaataagc aataccctgt gtgtgtgtc ctttactgtg qgataaactt cctgtaattg ttctgttcc
atactgacta cgcctcagaac tttcatcct taaacattt gtgtgggcat gagcaccgc ggccctgtt gaaccgtca
gactgtgagc atgagcccc gtgtattcgc tgcatttgtt gccgtatcg aaactgcctg ttgttcagt ccgataatca ggtgaagatg
tgagtggat gccacattc tgcctccga cgcaagatgg tggattggc ttaactacc gctgcatat ggctgtgca
gacaagtga ttgagcttct taagaaacaa gatgaagatt ggagaatggg tgatatagtc cacactga gaaacagaag
gtggctcgggaa aatgtgtgg ttatgtctga aagtcagc caggccttg ttggtgataa gacactagca ttttggtga
tggacaagga tatgtatgc ttatcgtt tagacaggcc atctactcct ctaatagatc gtgtatagc attacaaaa atgattcggc
ttattactat gggccttgtt ggtgaagggt attgaattt tatggggaat gaattcggac atctgagtg gatcattt ccaaggggtg
agcaacatct tctaattggc aaaatagttc ctgggaataa caacagtat gataaatgca gacgtagatt tgactgggt
gatgcagatt atcaagata tcatggaatg caagaattg atcgagatc gcagcatca qaagagagat atggttcat gacttctgag
caccaatata ttacacggaa aatgaagggt gacagagta taatcttga aagagacaac ctggtcttg tctcaattt tcatggacc
aacagtatt cagattacaa ggttggctgt taaagccag ggaatatata gattgtctg gattcagatg atacctgtt tgggtgctc
aataggctca atcatactgc tgagtacttc accttgaag ggtggtatga tgaccggcct cgatcttcc tctttatgc
accttctaga acagcagtg gtatgcctc tgcgatgga gttgaatcag agccaattga actagtcagat ggagtagaat
cagagccaat tgagctgtca gttggagtg aatcagagcc aattgagctg tcagtgaag aagctgaatc agagccaat
gagcgtcag tgaagaagt tgaatcagag acaactcaac agtcagtga agttgaatca gagacaactc aacagtcagt
tgaagtga tcaagacaa ctcaatagtc agttgaagt gaaccatgat gacaagttt tctggaatga atatatcaat
ttcataatgg catcagtga atcaagcaa aaccagcaa ccaacttaag gtgattagag caggctctga aactgcaagg
cggagccctt gtgttaactt aatcttagt gcggcagcaa accaacttg aagtgttgt accattgct tgctaggta attatgata
gcacgtcaag tttttgtt ttacttggg ttaataggc acaagttgc tggcgtgtga atgtgaaaca acaaatgtac tgcctcaga
tctccgtt ctgtggacat ataaatcctt ttaccata agtcacaaa ctttaattaa accctgaaa gtttgcggg aggccttata
tatgatttct ctttcagaa taaaagtg agtcatagca ataggccgt gctgatgaaa taattgtt gtacacggtg aaaatagat
tgccttacta taaaatata atggtggaac ctttgcctc aattgcaaaa aaaaaaaaaaaggaattc

Sekvens hos mörghärl

ccattcttca cgtgacaata catccctatc tataataaac aacaattttc ttctcatcat tatatcattt tattcaatta ttaaagattt
ttattctttc aagaagttaa tgcgaatcat ttttactct gtatgtcatc acatttctct tgcctccttc tactcaattt tttagattc
ttctcttttg caataataac cctaagctga tagaagaaga tgggtttatac aatctcagga attcgatttc ccgttcttcc ttctctgcac
aagtcgacct tacgtctgga tgcgagagct tcatctcact cttttttct caagaacaac tctgtcatcat ttctctggac ctactttat
gcaaagtttt ccgctgattc tgaacacaaa tcttcacaaa ttgtgaatc tgataaagta cttattcctg aagatcaaga taactctgta
tccttggcag atcaacttga aatcctgat ataacctcag aggatgcaca gaacttggag gatttaacca tgaagatgg
gaataagta aatattgat aatcaactag cagttaga gaggttggag atgagaaagg ttctgttacc tcatcatcac ttgtatgat
taacaccgac actcaagcca agaagacatc agttcattca gacaagaag taaaagtaga taaacctaag atcattcctc
caccgggtac tgggcagaaa atatatgaga ttgatccact ttgtcaagct caccgtcagc atcttgattt ccgttatgga
caatacaaaa gaattcggga ggaattgac aatatgaag gtggtcttga tgcatttctg cgtgggtacc aaaagtttg
cttcacacgc agtgcacag gcattactta caggaggtgg gcacctggag ctaagtgcag agcattagt ggagatttca
acaattggaa tcaaatgca gatgaatga ctaaggacgc ttttgggtga tgggagatct tcttgccaaa caatgccgat
gggttccac caattcctga tgggtctga gtcaagatcc acatggatc tcctctggg atcaaggact cgatttctg ttgatcaaa
ttctctgtac aggtctctgg tgaatttca tacaatggaa tacaataga tccccagag gaggaaaagt atgtatcaa
acatacacag ccaaacgac cacagtcaat tagaataat tagtcacaca ttggaatgag tagcccgag ccaaaaatca
acacatagc gaattttaga gatgatgac tacctgcac taaaaactt ggctataatg ctgtccagat tatggctac caagaact
cttattatg tagtttggg taccattga ctaatttct tgcactagc agtcgggtt gtactccaga agatctcaag tctctgatg
acagagcca tgaactggc ctgcttctg tgatggatg ttgacatagc cacttctcaa ataatacatt ggtggcctg aacatgttg
atggaactga tggctattc ttcatcctg gtacacggg ttactattg atgtgggatt ctgccttt taactatgga
agtcgggaag tactaagga cctacttca aatgaagat ggtggctgga tgaatataag ttgatoggg ttctgttga
tggcgtcaca tcaatgatg acactatca tggactgcag gtatcttca cggaaatta cagttagtatt ttgttttag caactatg
tgaggctgtg gtttactga tctgtttaa tcatctcatt cagggtctct tcctgaagc tgttcaatt taacgcctg ccggaagcca
cgtcatagac ggtttacccc cgtatgtctt caacgagatg ccacatgcc tcatcactgt tgaacacage cacaagcca
geccggaat atggcggtg aatattcgga ctgtttgcag gcagaccggt atgaggcgga atataatgc cacctcac
aataattca ttatgtccc ccagcagatt aataatttt atgttcct gtgttact ctttgaat gcaatagc aagcctca
atatagtaa atgcaatgt ttgacgggt tttccgctg taccgcagc gtaacgggt atgtgtgtg cgtgtgaacc
aatactgaaa gaatgggcat gagcaccgat aacaaccgga tgcgtgtgcg caccaatacc aactagagcg gatgtgcac
cggcactcac ggctgtacc gacaatgag gactgtggt gcctgactg tccgttttcg ataaataagc aataccctgt gtgctggtc
cttactgtg qgataaact cctgtaatgg ttgctgtcc atactgact cagccagaac tgttcatcct taacacttt gtgtggcat
gagcaccgc ggccctgtt gaaccgtca gactgtgagc atgagcccc gtgttattc tcatgttgg gccgaatcg aaactgcctg
ttgttcagt cagataatca ggtgaagat tgagtggat gcaacatc tgcctccga cgcaagatgg tggattggc tttaactacc
gcttgcata ggctgttga gacaagtga ttgacttct taagaacaa gatgaagatt ggagaatgg tgatatgtc
cacactga caacagaag gtgctcggga aatgtgtg ttatgtctga aagtcagac caggcctgg ttggtgata
gacactagca tttgttga tggacaagga tatgtatgac ttatcgtt tagacaggcc atctactcct ctaatagatc gtggtatagc
attacacaaa atgattcggc ttattactat gggccttgg ggtgaagggt attgaattt tatggggaat gaattcggac atctgagt
gatcatttt ccaagggtg agcaacatct tcctaatgac aaatagttc ctgggaataa caacagttat gataaatgca
gacgtagatt tgaattgggt gatgcagatt atctaagata tcatggaatg caagaattt atcgagctat gcagatcta
qaagagagat atgtttcat gacttctgag caccaatata ttcacggaa aatgaagggt gacagagtt taatcttga
aagagacaac ctggtctttg tcttcaattt tcatggacc aacagtatt cagattacaa ggttggctgt taaagccag ggaatataa
gattgtctg gattcagat atacctgtt tgggtgctt aataggctca atcactgc tgagtactt accctgaag ggtgtatga
tgaccggct cgtctttcc tctttatgc acccttaga acagcagtg gtatgccct tgcggatgga gttgaatcag agcaattga
actagtcagat ggagtagaat cagagccaat tgagctgtca gttggagtt aatcagagcc aattgagctg tcatggaag
aagctgaatc agagccaatt gagcgtcag ttgaagaagt tgaatcagag acaactcaac agtcagttga agttgaatca
gagacaact aacagtcagt tgaattgaa tcagagacaa ctcaatagtc agttgaagt gaacctgat gacaattt
tctggaatga atatatcaat ttcaatgg catcagtc atcaagtaa aaccagcaa ccaactaag gtgattag
caggctctga aactgaagg cggagccct gtgttaactt aatcttagt gcggcagcaa accaacttg aagtgtt acccattgt
tgtagtgca attatgata gcagtcag tttttgtt ttactgggg tttaataggc acaagtgcg tggcgttga atgtgaaca
acaaatgac tgcctcaga tctccgtt ctgtggac ataaatcct ttaccata agtcacaaa ctttaattaa accctgaaa
gtttgcggg aggccttata tatgatttct ctttcagaa taaaagttg agtcagatga ataggccgt gctgatgaaa taattgtt
gtacaggtg aaaatagat tgccttacta taaaataaa atgttgaac cttgcctcc aattgcaaaa aaaaaaaaaa
aaggaattc