

FRAM TIDENS FÖRSÖRJNING

OM KUNSKAP, GENETIK OCH VÄXTFÖRÄDLING

fri tanke

ANTOLOGI

Roland von Bothmer
Dan Larhammar (red.)

MAT

INNEHÅLL

Förord.....	7
Utmaningen: Befolkning, klimat och framtid: Roland von Bothmer & Dan Larhammar.....	II

KUNSKAP – OCH OKUNSKAP

Kulturväxter, jordbruk och matproduktion: Roland von Bothmer.....	19
Kunskap i motvind: Dan Larhammar & Roland von Bothmer.....	63
Genetiska genombrott: Dan Larhammar.....	81

VÄXTFÖRÄDLINGENS MÖJLIGHETER OCH PROBLEM

Växtförädling: Eva Pettersson	109
Hur ska 2020-talets genetik komma till samhällets nytta?: Stefan Jansson & Roland von Bothmer.....	141
En lagstiftning i förändring: Dennis Eriksson.....	163

JORDBRUKET OCH FRAMTIDEN

Ordbruk om jordbruk: Annika Åhnberg, Anders Nilsson & Roland von Bothmer.....	185
Framtidens försörjning: Lisa Sennerby Forsse.....	209
De jobbiga generna: Peter Sylwan.....	225
Tack.....	253
Presentation av författare.....	255

Förord

ALLA BEHÖVER VI MAT. När vi samlas till måltider så bygger det på välutvecklade värdekedjor som går från jord till bord. Dessa värdekedjor har historiskt, steg för steg, genomgått betydande utveckling. Det gäller i alla led: från primärproduktion via livsmedelsförädling och handel till konsumenten.

Vi lever nu i en tid med betydande utmaningar, såväl vad gäller geopolitik som klimat och biologisk mångfald. Samtidigt pågår en snabb teknologisk utveckling som skapar nya möjligheter och initierar disruptiva förändringar även i de areella näringarna. Det är dessa nyckelfrågor som tas upp i boken om framtidens matförsörjning. Frågan är hur vi får planetens resurser att räcka till för att försörja jordens befolkning med livsmedel idag och imorgon, givet en fortsatt demografisk tillväxt. Klimatförändringarna spetsar till denna frågeställning – hur kan maten både räcka till och produceras på ett hållbart sätt?

Samtidigt pågår en snabb utveckling av växtförädling, genteknologi och AI, vilket initierar viktiga genombrott inom jordbruk och livsmedelsförädling. En revolution pågår i genetiken, vilket ger möjligheter till ökade skördar globalt. Uppbyggnad av datainfrastruktur har skett inom lantbruket, vilket möjliggör olika former av AI-lösningar som bidrar till att optimera och skräddarsy både produktion och distribution.

Frågan om sanning eller osanning och forskningens trovärdighet får en allt större betydelse, och även tydliga vetenskapliga slutsatser ifrågasätts i debatten. Här har akademierna ett särskilt ansvar att värna de robusta kunskapssammanställ-

ningarna av forskningsläget. Denna fråga fångas upp särskilt i boken. Sammantaget får läsaren en möjlighet att ta sig an de stora frågor som de areella näringarna brottas med idag. De areella näringarna befinner sig i stormens öga, där frågan om framtida livsmedelsförsörjning ska hanteras i en kontext som är förändrad av geopolitik, klimat och miljö samt en fortsatt snabb demografisk utveckling globalt. Välkommen att titta in i författarnas framtidsspaningar!

Initiativet till bokprojektet togs vid ett symposium i Lund år 2022 i samband med Kungl. Fysiografiska Sällskapetets 250-årsjubileum. Vi är stolta över att ha samarbetat i projektet om framtidens matförsörjning. Av bokens nio kapitelförfattare är inte mindre än sju ledamöter i Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien och två dessutom ledamöter i Kungl. Fysiografiska Sällskapet.

Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien (KSLA) bildades redan 1813 och har varit med om många stora utvecklingssteg under de senaste två seklen. Det finns en omfattande erfarenhetsbank, både från forskning och praktik, att använda vid analys och genomgång av de kritiska nyckelfrågorna. Från KSLA:s sida har vi ambitionen att fungera som en arena för kloka och kunskapsbaserade dialoger rörande viktiga frågor för de areella näringarna.

Kungl. Fysiografiska Sällskapet bildades 1772, och sällskapetets uppgifter var i början inriktade på praktiska ekonomiska värv, i enlighet med upplysningstidens ideal. Senare kom aktiviteterna att förskjutas mot mera grundläggande vetenskapliga problem. Idag stödjer sällskapet grundläggande naturvetenskap, medicin, teknik och deras tillämpningar. Sällskapet är en plattform för vetenskapliga möten över ämnesgränserna.

Vår förhoppning är att boken ska vara en källa till kunskap och kunna ligga till grund för viktiga seminarier och workshops,

Förord

för att diskutera forskningens möjligheter att bidra till de areella näringarnas positiva utveckling för en hållbar matförsörjning. Vi hoppas att alla intresserade läsare är beredda att medverka i ett sådant samtal.

Vi vill rikta ett stort tack till bokens redaktörer, Roland von Bothmer och Dan Larhammar, som hållit samman arbetet. Tack även till bokens kapitelförfattare. Det är redaktörerna och författarna som står för innehållet i boken.

Peter Normark
Akademisekreterare
Kungl. Skogs- och
Lantbruksakademien

Eric Warrant
Preses
Kungl. Fysiografiska
Sällskapet

Utmaningen: Befolkning, klimat och framtid

ROLAND VON BOTHMER & DAN LARHAMMAR

MÄNNISKANS SOCIALA OCH kulturella utveckling kännetecknas av nyfikenhet och ständigt ökande kunskap. Vår förmåga att förmedla information till varandra genom att visa tillvägagångssätt och att kommunicera muntligt, och så småningom skriftligt, har gjort att kunskap har ackumulerats utan att behöva inhämtas genom dyrköpta egna erfarenheter hos varje ny individ eller generation.

När jordbruket började utvecklas och blev den viktigaste källan till föda vändes ett nytt blad i historien. Människan lämnade jägar- och samlarsamhället bakom sig, och den agrara livsstilen gjorde sitt segertåg över världen. Jordbruket har varit i ständig förändring och utveckling sedan denna nya era inleddes för drygt tio millennier sedan. Med stabilare och större skördar kunde en växande befolkning livnäras. Resultatet blev att de mänskliga samhällena blev större och fler.

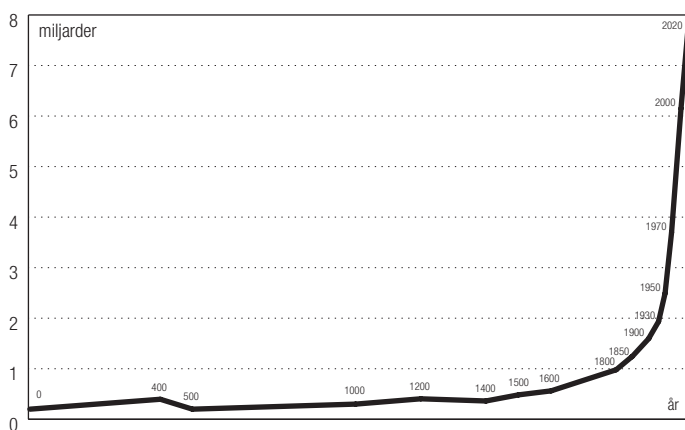
Insikter etablerades om att det var viktigt att leva »i samklang med naturen« genom att inte överutnyttja, för då kunde det gå illa. Det gällde att planera även för nästa år, och nästa och nästa.

Med effektivare och mer förutsägbar matförsörjning kunde människan dessutom ägna mer tid åt andra aktiviteter, såsom kultur och inhämtande av kunskap om sådant som inte hade omedelbar betydelse för den dagliga överlevnaden. De senaste

århundradena har inneburit dramatisk förbättring av hälsa och levnadsstandard. Samtidigt fortsatte kunskapstörsten och uppfinningsrikedomen att utveckla jordbruket med nya tekniker, odlingsmetoder och grödor.

Människans befolkningsutveckling är exceptionell. Alltsedan vi gick över till att odla marken och hålla boskap har populationen ökat kontinuerligt (frånsett avbrott i tillväxtkurvan på grund av epidemier, väderhändelser och katastrofer), tack vare ständigt nya framsteg. Levnadsmönstren inom jordbruks-samhällena gynnade en snabbare befolkningstillväxt än inom jägar- och samlarsamhället. Ett stort språng skedde i samband med kombinationen av den agrara revolutionen och utveck-

BILD 1.1. Folkmängden i världen.



Jordens befolkning har haft en långsam men kontinuerlig ökning de sista 10 000 åren, med vissa nedgångar under köldperioden på 500-talet och under digerdöden. Den exponentiella uppgången har skett de senaste 200 åren med start under den agrikulturella revolutionen och industrialismen i början av 1800-talet.

lingen av industrialismen som inleddes i slutet av 1700-talet, då jordens befolkning uppgick till en miljard. Befolkningstillväxten övergick då från att vara linjär till att bli exponentiell.

Varningar för ödesdigra konsekvenser av den snabbt ökande världsbefolkningen väckte stort uppseende på 1970-talet efter Paul R. Ehrlichs bok *The Population Bomb* 1968 (på svenska 1972 med titeln *Befolkningsexplosionen*). Men tack vare den gröna revolutionen under de föregående decennierna, innefattande växtförädling med Norman Borlaug i spetsen (som fick Nobels fredspris 1970) samt teknikutveckling, konstgödsel och bekämpningsmedel, fortsatte befolkningen att växa utan den massvält som Ehrlich varnat för.

Jordens befolkning uppgick 2022 till cirka åtta miljarder och förväntas stiga till nästan tio miljarder år 2050. Därefter planar den enligt prognoser ut för att vid sekelskiftet 2100 vara cirka elva miljarder.

Den tidigare tillvaron som jägare och samlare i en glest befolkad värld åsamkade minimal påverkan på ekosystemen. Detta ändrades dramatiskt när människor blev bofasta och började bruka jorden. Den moderna människan har varit jordbrukande under endast fem procent av sin existens, men under denna korta tid har hennes livsstil ändrats radikalt. När en successivt växande befolkning behövde livnäras, och när större samhällsstrukturer utvecklades, förorsakades allt större ekologisk inverkan på omgivningen.

Idag anses jordbruket snarast som en krisverksamhet, med läckage av näringsämnen och jord som utarmas, förorenas och eroderar i många områden. Produktion och transport av mat till oss själva och våra husdjur bidrar till den globala uppvärmningen.

För att framtidens matproduktion ska bli mer hållbar måste den bli mer resurseffektiv och belasta miljön minimalt. Men samtidigt ställs vi inför stora utmaningar för att dels kun-

na överleva och försörja framtida generationer, dels hantera överbefolkning, ökad migration och klimatkris. Ytterst kan detta leda till polarisering som resulterar i nationalism och krigshandlingar mellan länder och folkgrupper.

Hur ser då framtidens matförsörjning ut? Fortsatt metodutveckling och förädling behöver öka livsmedelsproduktionen ytterligare, både kvantitativt och kvalitativt. Detta ställer enorma krav på att hantera klimatförändringar och miljöproblem. Produktionen får inte överutnyttja de ekologiska systemen – det kan leda till omfattande utrotning av arter genom habitatförluster när mänskligheten och dess verksamheter breder ut sig. Ett alltmer använt begrepp är »hållbar intensifiering« (*sustainable intensification*) som myntades 2009 av Royal Society i Storbritannien. Produktionen av mat måste öka men med mindre användning av åkerareal och insatsvaror än idag – *more for less*.

Under historiens gång har ett stort antal vilda arter – minst 5 000 – domesticerats och tagits i människans tjänst, men trots det åter vi globalt sett idag en alltmer ensidig kost. Endast fyra grödor – vete, majs, ris och soja – svarar för två tredjedelar av världens livsmedelsförsörjning. Vi borde utnyttja den domesticerade diversiteten bättre för en skonsammare produktion och en hälsosammare mathållning. Nya livsmedel, mer utnyttjande av äldre, lokala kulturväxter och ny, innovativ mat har potential att leda till såväl hälsosamma produkter som hållbara produktionsätt.

Sedan starten för 150–200 år sedan har kunskaps- och teknikutvecklingen alltid varit nära allierad med genetik och växtförädling. Nya vetenskapliga rön har snabbt följts av ny metodik – att kunna omsätta ny, grundläggande kunskap i en praktisk tillämpning har varit ett signum för förädlingen. En fortsatt vetenskaplig utveckling på bred front, med såväl grundläggande

som tillämpad forskning och tillgång, är nyckeln till en positiv utveckling inom jord- och trädgårdsbruk och därmed jordens framtida livsmedelsförsörjning.

Den genetiska och biotekniska forskningen har under de senaste åren blivit alltmer sofistikerad och utvecklingen accelererar. Sverige har flera centra för avancerad växtforskning. Internationellt investeras stora resurser i den växtinriktade forskningen med målet att kunna utveckla nya sorter. Mycket forskning och utveckling sker inte bara vid offentliga institutioner utan också vid växtförädlingsföretagen, speciellt vid multinationella företag med stora resurser.

Vi behöver ett robustare växtmaterial som klarar extrema förhållanden med hög stresstolerans, hög sjukdomsresistens och hög effektivitet i metabolismen, som ger både högre kvalitet och snabbare tillväxt. I de stora och bördigaste områdena i världen är de större växtförädlingsföretagen välrepresenterade – men vem ska förädla för småbrukarna i de torraste områdena i Afrika, i arktiska områden i norra Skandinavien eller översvämningsområden i Asien och Sydamerika? Det behövs ett nytt sätt att tänka – en ny grön revolution med andra förtecken.

I denna bok beskriver författarna både några av de historiskt avgörande stegen i utvecklingen av livsmedelsproduktion och vad framtiden har i sitt sköte.

Referenser

Ehrlich, P. 1972. *Befolkningsexplosionen*. – Jordens vänner.

KUNSKAP
– OCH OKUNSKAP

Kulturväxter, jordbruk och matproduktion

ROLAND VON BOTHMER

EN GÅNG I TIDEN tog människan kontroll över växter och djur för att passa sina egna syften och formade därmed kulturväxter och husdjur till att markant skilja sig från sina vilda släktingar. Vilda arter domesticerades, vilket innebar att de förändrades genetiskt för att anpassa sig till de nya agroekologiska förhållanden som människan skapade. En kulturväxt är alltså en art som människan lärt sig använda och som därför odlas och förädlas, och det finns därför ett klart samband mellan människans och kulturväxternas historia. Jordbruket utvecklades till det huvudsakliga näringsfånget, vilket gav möjlighet till befolkningstillväxt och civilisationernas utveckling men samtidigt sårbarhet i samband med katastrofer och missväxt. Den agrara revolutionen, vetenskapens utveckling och dess tillämpning inom växtförädlingen har lett fram till dagens sofistikerade men sårbara system för livsmedelsproduktion.

Från det vilda till det tama

Människan som art (*Homo sapiens*) har existerat i minst 200 000 år, och under huvuddelen av denna tid har hon försörjt sig som jägare, fiskare och växtsamlare. Hon var redan från början en

allätare, omnivor, och kunde därför livnära sig på en mångfald produkter från både växt- och djurriket. Ursprunget i Afrika följdes av många och långa perioder av migration, då populationen splittrades och invandring skedde till nya områden med helt andra levnadsbetingelser. Människan demonstrerade avsevärd ekologisk flexibilitet som tillät henne att anpassa födosamlande och boende till de nya områdenas förutsättningar.

Den ursprungliga tillvaron

Eurasien nåddes för knappt 100 000 år sedan och efter det har alla kontinenter (utom Antarktis) befolkats, med en extrem variation på ståndortsfaktorer – från tropikernas hetta till arktisk kyla. I alla dessa miljöer har människan kunnat överleva, och denna förändringsprocess har skett under en evolutionärt förhållandevis kort tidsperiod. Medan andra arter successivt anpassar sig genetiskt genom selektion till nya biotoper har människans snabba migration till nya områden gjort att hon måste utforska och lära sig vad man kan leva av som jägare, fiskare och samlare. Den paleolitiska människan nådde de arktiska trakterna i norra Europa när den senaste inlandsisen drog sig tillbaka för 10 000–15 000 år sedan.

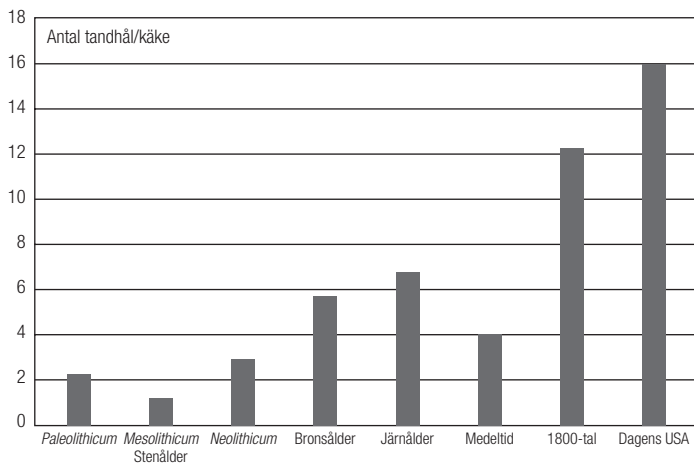
Att vara jägare och samlare innebar att kunna identifiera och lära sig vad som är ätbart, att kunna tillaga det och att kunna bevara och lagra födoämnen över en viss tid. Att identifiera nödvändiga födoämnen har varit livsavgörande. Man utforskade sin omgivning och lärde sig – ofta på ett brutalt sätt – vad som kunde ätas, men man lärde sig också att leva i samklang med naturen, att inte överutnyttja vad naturen gav – det straffade sig. Varthän på de olika kontinenterna den migrerande människan än kom lärde hon sig om flora, fauna och hur de nya biotoperna fungerade. Kunskapen växte om många

funktioner – förutom mat även droger, medicin, gifter, gummi, lim, fibrer, färgämnen, byggnadsmaterial, vapen, båtbyggnad...

Många vilda växtarter har skyddsmekanismer mot sina fiender, som att vara försedda med taggar, vara illasmakande eller rentav giftiga. Människan lärde sig att behandla materialet på olika sätt, till exempel att koka eller urlaka giftiga eller bittra ämnen av många arter som bönor, potatis och andra rotknölar. Den biologiska kunskapen växte, och ingen grupp av människor är så primitiv att man inte känner till sambandet mellan växter och de frön de kommer från.

Kosten var mycket varierande och baserades på magert kött, fisk, skaldjur, frukt, bär, nötter, rotknölar och fågelägg. Populationerna var nomadiska, man hade ingen fast boplat. Ofta stannade man längre perioder där jakt, fiske och växtsamlande var gynnsamma, men levnadssättet krävde stora ytor. Även

BILD 2.1. Tandhälsa.



Tandhälsans förändring över tid. Det är uppenbart att ändrad mathållning, med till exempel ökad användning av socker, påverkat vår tandhälsa negativt.

EFTER ANGEL 1984.

om betingelserna kunde vara bistra var hälsotillståndet oftast mycket gott tack vare att kosten var varierad och saknade tillsatt salt och socker. Det gamla samhället har betecknats som »det ursprungliga överflödssamhället» där varje individ inte behövde arbeta mer än fyra till sex timmar per dag.

Jordbruk och domesticering – en historisk revolution

I ett bergigt område i Sydvästasien, från dagens norra Israel och Syrien via sydöstra Turkiet till Irak och Zagrosbergen i Iran, sträcker sig Den bördiga halvmånen. Här började människan bli bofast, och jordbruket föddes för cirka 12 000 år sedan. Detta skedde naturligtvis inte över en natt – man hade under flera millennier insamlat frukter och frön från växtarterna i området, så man var väl bekant med tillredning och lagring av dessa. Området är rikt på arter med stora och näringsrika frön ur gräsfamiljen (*Poaceae*) och ärtfamiljen (*Fabaceae*) som är lämpliga som födoämnen. Därmed är inte steget så långt till att försöka odla i närheten av boplatsen. De första arterna var korn, enkornsvete, ärtor, åkerböna, linser och lin (vildformerna av dessa förekommer fortfarande). Samtidigt domesticerades flera husdjur som nötboskap, get, får och svin i samma område. Även när utvecklingen av fröbaserat jordbruk startade var de första odlarna i allt väsentligt också samlare i sitt närområde. Domesticeringen, anser man nu, var en gradvis övergång – inte den abrupta händelsen som man tidigare antagit. Det var mer en »agrikulturell evolution» än en »agrikulturell revolution».

Ett rikligt arkeologiskt material finns tillgängligt från området och visar dels övergången från de vilda till de domesticerade formerna, dels hur och när odlingen spreds till andra områden. Vi har därför god kunskap om det första jordbruket och dess spridning. Det var inte heller en engångsföreteelse, utan do-

mesticeringen av korn och vete skedde vid ungefär samma tid på fler ställen i Bördiga halvmånen.

Liknande processer skedde på andra ställen i världen – helt utan kontakt med varandra. I östra Kina, vid Gula flodens utlopp, domesticerades ris (*Oryza sativa*) och äkta hirs (*Panicum miliaceum*), i Centralamerika togs majsen i odling (*Zea maize*) och i Afrika blev pärlhirs (*Pennisetum glaucum*) och durra (*Sorghum miliaceum*) de första odlade arterna. Mycket talande är att i alla fyra områden var det frö av olika grässläkten som först domesticerades, och gräsen eller snarare sädesslagen har blivit stapelföda över världen. Detta är ingen tillfällighet. Gräsfröet är ett litet kraftpaket – det är förhållandevis näringsrikt med kolhydrater, proteiner, mineraler, vitaminer och en del fett. Det är »välförpackat«, kan torkas och lagras och inte minst är det lätt att transportera.

Varför blev vissa växtarter domesticerade men inte andra? Det finns ett antal förklaringar till detta, inte bara att vissa växtfamiljer prioriterades. De första kulturväxterna (*founder crops*), främst ur gräs- och ärtfamiljerna, var lättåtkomliga och gav en basföda, de var åtliga från det vilda med höga näringsvärden. De bildade stora, täta populationer och gav höga skördar i det vilda och var lätta att lagra och transportera. De var lätta att odla och hade ett kort förlopp från sådd till skörd. Arterna är ettåriga självpollinerare med säker frösättning. Årslängd investerar generellt mer biomassa i frö än fleråriga arter.

En annan grupp av växter gav inte skördar så ofta men var begärliga av många skäl. Till dessa räknas de första frukt- och nötväxterna, varav de flesta började odlas för 5000–8000 år sedan. Hit kan räknas till exempel oliver, fikon, dadlar, äpplen, plommon, granatäpple och vindruvor. De sätter frukt efter tre år och kan förökas genom sticklingar, vilket betyder att det är lätt att bevara specifika individer med god avkastning och kvalitet.

Vissa arter har inte blivit domesticerade, även om det funnits förutsättningar för att de skulle kunna bidra till livsmedelsproduktion. Det är till exempel långlivade träd, som ek och bok med sina näringsrika frukter, men dessa är mycket bittra med en hög halt av tanniner. Dessa egenskaper styrs av många gener. Den långa generationstiden, 20–30 år, har förhindrat att former med smakrikare frukter kunnat selekteras fram.

De nya jordbruksväxterna måste anpassas till odlingens villkor – till sådd, skörd, lagring och inte minst till de kvaliteter som efterfrågades. Många av de egenskaper som är viktiga för

BILD 2.2.



Vilda arter av korn (*Hordeum*) har mycket effektiva spridningsmekanismer för sina mogna frön. – Ekorkorn (*Hordeum jubatum*) med små, lätta frön och långa borst är anpassad till spridning med vinden (t.v.). – Flera kornarter har tunga frön men är försedda med styva borst som lätt fastnar i pälsen eller på extremiteterna hos djur (vildkorn, *H. vulgare* ssp. *spontaneum*, ursprunget till det odlade kornet, t.h.). I det domesticerade kornet (*H. vulgare* ssp. *vulgare*) har spridningsmekanismerna selekterats bort. ROLAND VON BOTHMER.

en vild växt passar inte i ett jordbrukssystem. Speciellt gäller detta reproduktionsmekanismer och system för fröspridning. I det vilda måste arten optimera sin genetiska variation för att möta nya omvärldsbetingelser. De flesta arter har därför någon mekanism för att befrämja korsbefruktnings, vilket också gör avkomman variabel. Spridningsmekanismerna för fröna är essentiella för en vild art, och de flesta arter har därför utvecklat sofistikerade metoder för att optimera spridning med hjälp av vind eller djur, till exempel borst, hullingar eller på andra sätt. För skörd av en gröda är det tvärtemot viktigt att fröna inte sprids utan sitter kvar på plantan till skörden. Det är också fundamentalt i odling att alla frön mognar samtidigt och sitter kvar tills skörden genomförs. Vid sådden ska allt frö gro på en gång – inte ha en frövila, som många vilda arter har och som gör att fröna gror vid olika tidpunkter. Många egenskaper var viktiga för att optimera skörden, som större, fler och mer välsmakande frukter och frön, mindre biomassa och att mer energi lagras i de skördade delarna.

Jordbruket sprids – och grödorna anpassas

Efter den första domesticeringen började odlingen spridas. Det var en relativt långsam men kontinuerlig process. Enligt forskningen var det till största delen jordbrukarna som migrerade till nya områden och tog med sig sina kunskaper om odling och sina frön. De konkurrerade då med de nomadiska populationerna av jägare och samlare och gick vinnande ur den konkurrensen. Grödorna som man medförde utsattes i de nya omgivningarna för helt nya omvärldsfaktorer: annorlunda klimatförutsättningar, annan dagslängd, andra agroekologiska förhållanden, och inte minst mötte växterna nya patogener och skadegörare. Växterna reagerade med att successivt anpas-