

---

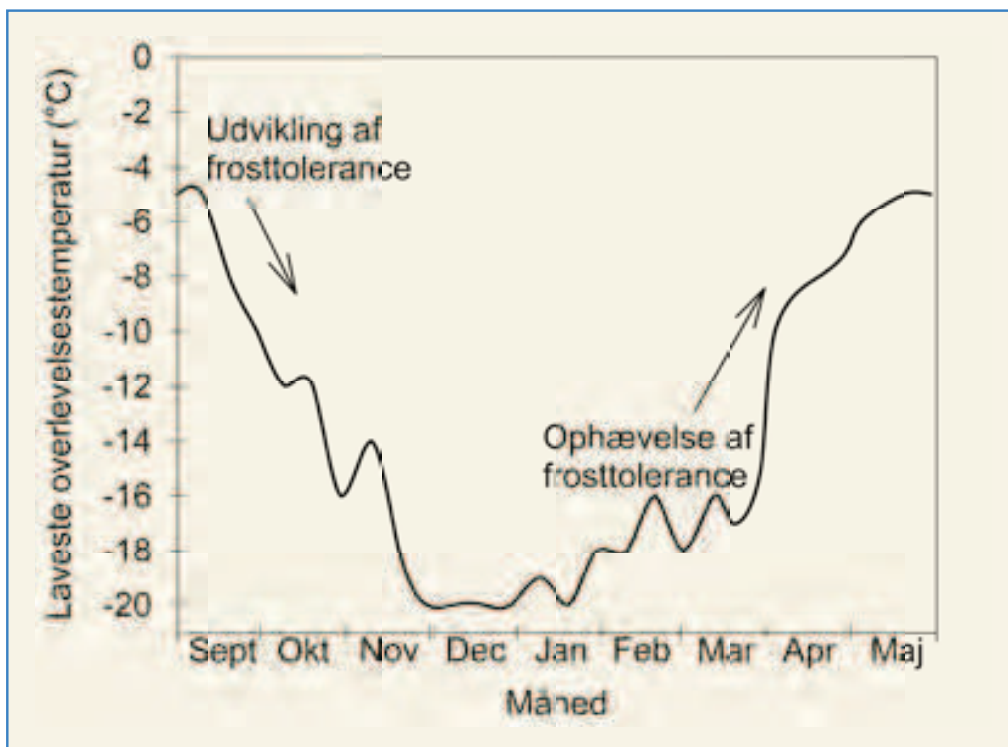
# 8

## KAN PLANTER HUSKE LAVE TEMPERA- TURER?

---

**Af**  
**MAJKEN PAGTER**  
POSTDOC, PH.D.,  
MAX PLANCK INSTITUTE  
OF MOLECULAR PLANT  
PHYSIOLOGY, TYSKLAND

Evnen til at tåle frost er afgørende for mange planters udbredelse og har stor betydning for produktionen af afgrøder. Mildere, men mere temperatur-ustabile vintre, forårsaget af globale klimacændringer, kan øge risikoen for, at planter mister evnen til at tåle frost på u hensigtsmæssige tidspunkter. Undersøgelser af hvordan planter mister kapaciteten til at tåle frost, og om de er i stand til at 'huske' lave temperaturer, kan bidrage med viden om, hvordan vinterklimacændringer påvirker planter.



På grund af deres fastsiddende livsform har planter evolutionært været tvunget til at tilpasse sig ugunstige vækstbetingelser som f.eks. temperaturekstremer, tørke og saltrig jord. I tempererede og koldere klimaer er evnen til at tåle frost afgørende for planters overlevelse og vækst. Sammen med tørke anses lave temperaturer for at være den vigtigste faktor for udbredelsen af planter, og frostskaeder på afgrøder og fødevarerplanter udgør et omfattende problem af stor økonomisk betydning.

Overvintrende planters evne til at tåle frost er et sæsonfænomen, som korrelerer med vækstsæsonens afslutning og begyndelse (Figur 1). Om efteråret udvikler planterne frosttolerance, hvorved de i stigende grad bliver tolerante over for temperaturer under frysepunktet. Frosttolerancen er maksimal midt om vinteren, og ophæves med stigende temperaturer om foråret. Udvikling af frosttolerance

sker over dage til uger, hvor planterne reagerer på, at dagslængden bliver kortere (primært for træer og buske), og at temperaturen falder ( $\leq 5^\circ\text{C}$ , alle overvintrende planter). Udvikling af frosttolerance involverer mange fysiologiske og biokemiske tilpasninger, som ultimativt gør planter i stand til at tåle frostgrader. Bl.a. ændres fedtsyresammensætningen i plantecellernes membraner, så de bliver mere smidige ved lave temperaturer, og der sker omfattende ændringer i plantecellernes indhold og sammensætning af metabolitter. Metabolitter som f.eks. sukkerstoffer, aminosyrer og organiske syrer stabiliserer membraner og proteiner ved lave temperaturer, men bidrager også til at sænke frysepunktstemperaturen i cellerne og dermed reducere risikoen for isdannelse. Alle tilpasninger, som bidrager til at gøre planter frosttolerante, er resultatet af massive ændringer i udtrykkelsen af gener (når et gen udtrykkes, betyder det, at genets information

Figur 1. Principfigur, der viser sæsonmæssige ændringer i den laveste temperatur, som planter er i stand til at overleve under udvikling af frosttolerance om efteråret, midt om vinteren, hvor planterne er maksimalt frosttolerante, og under ophævelse af frosttolerance om foråret.

“  
**Udvikling af frosttolerance involverer mange fysiologiske og biokemiske tilpasninger, som ultimativt gør planter i stand til at tåle frostgrader.**  
 ”

afkodes og "oversættes" til et protein, som har en funktion i organismen). Udvikling af frosttolerance er en kompleks proces, som involverer op- eller nedregulering af hundrevis af gener. Reguleringen af gener kontrolleres af transkriptionsfaktorer, som er specifikke regulatoriske proteiner, der kan binde til DNA-sekvenser i generne og derved tænde eller slukke for disse.

Globale klimamodeller forudsiger, at vintrene bliver mildere, men at risikoen for uforudsigelige temperaturudsving øges. Da udvikling og ophævelse af frosttolerance i planter primært styres af temperaturen, kan uforudsigelige varme perioder i vinterhalvåret medføre utidig ophævelse af frosttolerance, og at planterne mister evnen til at tåle frost. Dermed øges risikoen for efterfølgende frostska-der. Skiftende fænologiske mønstre såsom en tidligere start på vækstsæsonen og tidligere blomstring forårsaget af et varmere klima kan forstærke risikoen for frostska-der som følge af ustabile og svingende vintertemperaturer. Paradoksalt nok kan følgerne af global opvarmning dermed øge risikoen for frostska-der i planter.

I modsætning til udvikling af frosttolerance er ophævelse af frosttolerance en hurtig proces, som kan ske i løbet af få dage. Eksperimentelt kan ophævelse af frosttolerance fremkaldes ved at udsætte planter for en periode med høje temperaturer. Mens udvikling af frosttolerance er en velundersøgt proces, har ophævelse af frosttolerance og hvor længe planter kan 'huske' lave temperaturer og forbliver frosttolerante under varme forhold ikke tiltrukket sig megen opmærksomhed. Det vides heller ikke, hvordan varigheden af en sådan 'hukommelse' og i hvilket omfang mindet om en frosttolerant tilstand påvirker planters kapacitet til at klare en senere frostepisode.

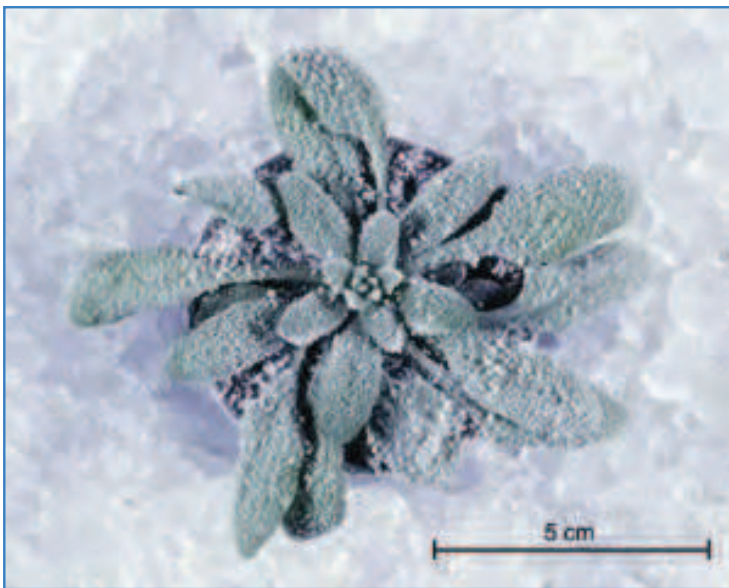
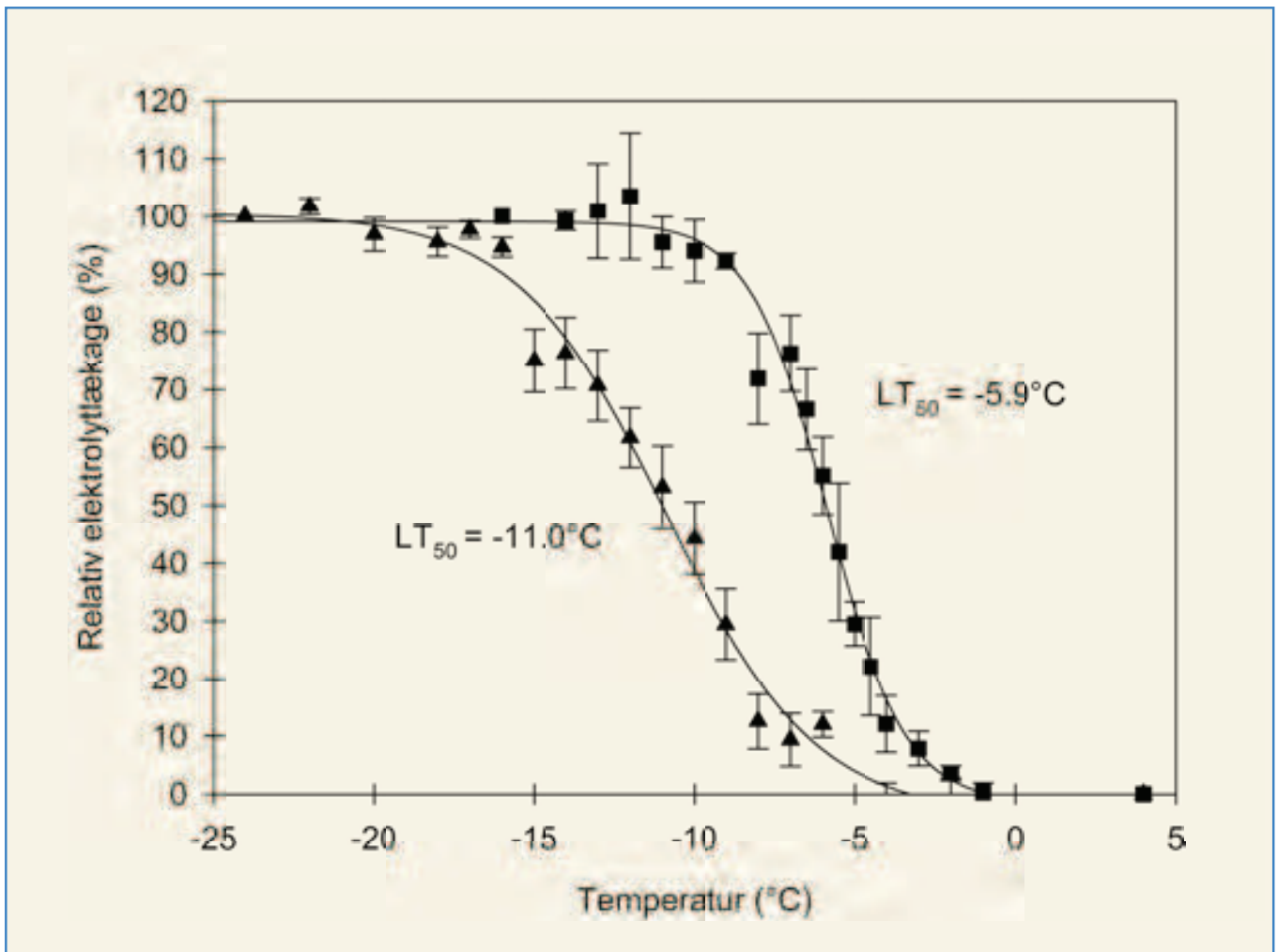
Med støtte fra Carlsbergfondet og i samarbejde med forskere fra Max Planck Institute of Molecular Physiology i Potsdam, Tyskland, undersøger jeg, om planter er i stand til at 'huske' temperaturer under frysepunktet og forblive frosttolerante i en periode, selvom temperaturen stiger. Samtidig undersøger vi, hvilken betydning planters evne til at 'huske' lave temperaturer har for deres potentiale til at overleve senere frostepisoder. Til at undersøge planters evne

til at 'huske' lave temperaturer bruger vi *Arabidopsis thaliana* (almindelig gæsemad) og *Thellungiella salsuginea* (intet dansk navn). Da genomet af *A. thaliana* er fuldstændig kortlagt, er den velegnet til forsøg, der har til formål at undersøge planters responser på temperaturændringer og de underliggende ændringer i udtrykkelsen af gener. *T. salsuginea* er nært beslægtet med *Arabidopsis* og er særlig interessant, fordi den kan udvikle større maksimal frosttolerance end *Arabidopsis*.

Bestemmelse af, hvor længe planter forbliver frosttolerante, når de udsættes for varme temperaturer, kræver kvantificering af frosttolerance. Da membranerne er de mest frostfølsomme strukturer i planteceller, måler vi 'intaktheden' af cellulære membransystemer efter kontrolleret frysning af hele planter eller blade til forskellige temperaturer. På baggrund af disse målinger beregnes en  $LT_{50}$  værdi, som angiver den temperatur, hvor planterne er 50% skadet (Figur 2).  $LT_{50}$  værdier kan bruges til kvantitative sammenligninger af frosttolerance. De fysiologiske og molekylære mekanismer, der bestemmer, hvor længe planter er i stand til at 'huske' lave temperaturer, kendes ikke. Det er blevet foreslået, at vedvarende ændringer i metabolitindhold eller stabile transkriptionsfaktorer kunne være det molekylære grundlag for planters hukommelse. Eksempelvis kan man forestille sig, at de ændringer i indhold og sammensætning af metabolitter og udtrykkelsen af gener, som finder sted, når planter udvikler frosttolerance, varer ved i en periode, når temperaturen stiger. Så længe tilpasningerne til lave temperaturer er intakte, på trods af stigende temperaturer, vil planterne være forberedt på en ny frostepisode. Udover planternes frosttolerance undersøger vi derfor også, hvordan udtrykkelsen af gener og indholdet af metabolitter, som er centrale for planters frosttolerance, ændres i frosttolerante planter, når de udsættes for en pludselig varm periode efterfulgt af en kold periode.

Viden om, hvilke mekanismer som er afgørende for planters følsomhed over for temperaturændringer om vinteren, kan bidrage til konsekvensvurdering af klimaændringer samt identifikation og udvikling af de mest velegnede planter under fremtidige klimaforhold.

“  
**Paradoksalt nok kan følgerne  
 af global opvarmning øge risikoen  
 for frostska-der i planter.**  
 ”



Figur 2. Frosttolerance af blade af *Arabidopsis thaliana* (accession Ms-0). Frostfølsomme planter (firkantede symboler) blev dyrket ved en dag/nat temperatur på 20°C/18°C, mens frosttolerante planter (trekantede symboler) har været udsat for 4°C i to uger. Bladenes frosttolerance blev bestemt ved langsomt at fryse dem til forskellige temperaturer. Efter optøning bestemtes graden af skader på cellemembranerne ved at måle lækagen af ioner fra bladene (relativ elektrolytlækage). Sammenlignet med blade af frostfølsomme planter, udviser blade af frosttolerante planter et skift i elektrolytlækage efter frysning.

Frossen *Arabidopsis thaliana* plante. PLOS Genetics vol. 1, nr. 2, August 2005