

Sukkerroers kvalitet efter frost og optøning i opbevaringsperioden

Quality of sugar beet after frost and thawing during the storage period

ERIK AUGUSTINUSSEN og ERLING SMED¹⁾

Resumé

Når sukkerroer gennem en periode på 24 timer opbevares ved temperaturer lavere end $\div 5^{\circ}\text{C}$, kan roernes holdbarhed og egnethed for fremstilling af sukker blive væsentligt forringet. Især ved hurtig optøning kan skaden blive alvorlig. Straks efter optøning kan konstateres et mindre sukker-

tab. Hvis roerne derefter opbevares ved en høj temperatur ($8\text{--}10^{\circ}\text{C}$), sker der bl.a. en forøgelse af respirationen, omdannelse af saccharose til invertsukker og en mikrobiel dannelse af slimstoffer. Roernes kvalitetsforringelse efter optøning øges stærkt med opbevaringsperiodens længde.

Nøgleord: Frost, opbevaring, sukkerroe.

Summary

When sugar beet for a 24 hours period are exposed to temperatures lower than -5°C , the production quality can be appreciably reduced. If the beets are thawed quickly, the damage can be serious. Immediately after thawing a small loss of sugar can be measured. If the beets are stored at

a high temperature ($8\text{--}10^{\circ}\text{C}$) after thawing the respiration will increase, sucrose will be transformed to invert sugar and dextranes will be produced. The reduction of the beet quality depends on the length of the storage period after thawing and the storage temperature.

Key words: Frost, storage, sugar beet.

Indledning

Fabrikssukkerroer, som leveres i den sidste del af roekampagnen, tages ofte op i november og opbe-

vares i kule indtil leveringstidspunktet. Som regel dækkes roerne ikke, før det er bydende nødvendigt, da opbevaringstiden i de fleste tilfælde er kort, og da man gerne vil undgå omkostningen og

¹⁾ Adresse: Danisco A/S, Maribo Frø, 4960 Holeby.

besværet. Det sker derfor undertiden, at roerne udsættes for en nats frost, inden dækningen påbegyndes. Da frostpåvirkning kan fremme råd, og da rådne roer ikke modtages på fabrikkerne, er det væsentligt at få fastslået, hvilke konsekvenser frost kan få for roerne ved fortsat opbevaring.

Roernes frysepunkt angives af forskellige forfattere til værdier mellem $\div 2,4$ og $\div 4,1^{\circ}\text{C}$ (4, 5, 6, 7, 9). Frysepunktssænkningen afhænger bl.a. af summen af de molære koncentrationer af opløste stoffer samt måske af porestørrelsen i vævene (1, 9). Som regel sker der en underafkøling, før de første iskrySTALLER dannes, hvorefter temperaturen stiger til frysepunktet. Der dannes først is i intercellulærrummene. På grund af isdannelsen stiger koncentrationen af opløste stoffer, og der diffunderer vand ud fra cellerne. Ved dehydrering af protoplasmaet på mere end 25 pct. vil proteinerne denaturere, og processen er da irreversibel (9). De fleste skader sker ved optøningen. Hvis den foregår langsomt, kan det smeltede vand i intercellulærrummene nå at diffundere tilbage til protoplasmaet, men hvis den sker for hurtigt, kan der opstå plasmolyse som følge af forskelle i permeabilitet mellem cellevæg og den cytoplasmiske membran (8). Beskadigelsernes omfang afhænger foruden af temperaturen bl.a. af frostperiodens længde, hastigheden af nedkøling og optøning samt roernes saftspændthed og indhold af letopløselige forbindelser (9).

I det følgende refereres en undersøgelse af roers påvirkning af et døgn frost efterfulgt af varierende optøningshastighed og fortsat opbevaring i indtil fire uger. Forsøgene er udført i et samarbejde mellem Afdeling for Industriplanter og Frøavl, Roskilde, der har forestået dyrkning, forsøgsbehandling og opbevaring, og Kemisk Laboratorium, »Maribo Frø«, Holeby, der har udført analysearbejdet.

Materiale og metoder

Forsøgsplan

Der blev i årene 1981–87 udført i alt syv forsøg med opbevaring af sukkerroe uden og med en frostpåvirkning fire uger efter optagning. Fire forsøg (1981–84) blev udført efter følgende plan:

1. 4 uger ved 8°C
2. 6 uger ved 8°C
3. 8 uger ved 8°C
4. 4 uger ved 8°C , frost
5. 4 uger ved 8°C , frost, 2 uger ved 8°C
6. 4 uger ved 8°C , frost, 4 uger ved 8°C

Frostpåvirkningen varede et døgn, og den tilstræbte temperatur var $\div 5^{\circ}\text{C}$. Fra 1983 indgik et forsøgsled med langsom optøning:

7. 4 uger ved 8°C , frost, 1 uge ved 4°C , 3 uger ved 8°C .

De sidste tre forsøg (1985–87) blev udført efter ovennævnte plan, men uden leddene 2 og 5. I 1984, 1986 og 1987 blev frostpåvirkningen udført ved flere temperaturer (se afsnittet »Frostbehandling«).

Plantemateriale

I alle forsøgene blev benyttet sukkerroe af sorten Monova. Roerne blev sået med en rækkeafstand på 55 cm og en frøafstand på 17 cm. Der tilførtes pr. ha 800 kg PK 0–4–21 med Mg samt natriumkalkammonsalpeter svarende til 120 kg N. Roerne blev afpudset med et aftoppejern og taget op med en torækket Holbæk-optager med læsseelevator. Tidspunkterne for optagning fremgår af tabel 1. Før afvejning af prøver blev roerne vasket skånsomt i en specialbygget tromlevasker. Der blev afvejet 6 prøver á ca. 40 kg til opbevaring pr. forsøgsled + 12 prøver til analyse straks; alle prøver havde samme antal roer og samme vægt. Roerne til opbevaring blev anbragt i trækasser foret med perforeret plasticfolie.

Frostbehandling

Frostbehandlingen af roerne fandt sted i et kølerum med vertikalt opstigende luftstrøm. Den afkølede luft blev fordelt jævnt til hele rummet gennem et tremmegulv. For at udjævne temperaturudsving forårsaget af kølemaskinens kørsel blev der anbragt to lag betonfliser (SF-sten) i løs lejrings oven på tremmegulvet. Under frostpåvirkningen var roerne anbragt i et enkelt lag på løg-rammer, der var hævet ca. 30 cm fra gulvet.

Temperaturen blev målt ved hjælp af modstandsfølere (Pt 100) på undersiden og oversiden af roerne samt med termoelementer forskellige steder i roerne.

Da kølerummene ikke var beregnet for temperaturer under frysepunktet, var kølekapaciteten ikke stor nok til en hurtig nedkøling af roerne. I fig. 1 er vist et eksempel på temperaturforløbet på roernes underside og overside, og det ses, at den ønskede temperatur på undersiden først er opnået efter 10–12 timers forløb. Desuden kneb det med at få indstillet termostaten helt nøjagtigt, hvilket resulterede i temperaturer, der afveg op til en grad fra det ønskede. Da det senere viste sig, at

Tabel 1. Dato for såning og optagning samt roestørrelse og sukkerprocent.
Date of sowing and lifting, size of beet and percentage of sugar.

	Dato for Date of		Roestørrelse Size of beet kg	Sukker, pct. Sugar, %
	Såning Sowing	Optagning Lifting		
1981	8/4	19/10	0,97	17,4
1982	1/4	24/10	1,00	17,2
1983	18/4	24/10	0,62	18,0
1984	26/4	22/10	1,09	17,8
1985	7/5	21/10	0,82	17,1
1986	30/4	14/10	0,72	19,0
1987	30/4	19/10	0,74	17,4

små udsving i temperaturen netop i dette område havde stor virkning, blev det nødvendigt at foretage en opdeling af forsøgene efter målt temperatur. De målte gennemsnitstemperaturer i de sidste 12 timer af frostperioden var: i 1981 $\div 6,1^\circ$, i 1982 $\div 5,2^\circ$, i 1983 $\div 5,6^\circ$, i 1984 $\div 4,1^\circ$, $\div 4,7^\circ$ og $\div 5,1^\circ$, i 1985 $\div 5,1^\circ$, i 1986 $\div 4,0^\circ$ og $\div 5,0^\circ$ og i 1987 $\div 2,5^\circ$, $\div 4,0^\circ$, $\div 5,0^\circ$ og $\div 6,5^\circ\text{C}$.

Efter frostpåvirkningen blev roerne igen pakket i plastforede trækasser.

Analyser

Efter endt opbevaring blev roerne bedømt for spiring og svampeangreb, og en del blev skåret igen-

nem til bedømmelse af frostens påvirkning. Derefter blev roeprøverne vejede og analyseret for indhold af tørstof, sukker (målt ved polarisation og i det følgende benævnt pol eller roepol), K, Na, amino-N, uorganisk P, glucose, invertsukker og raffinose efter metoder som tidligere beskrevet (2). Impurity value (I.V.) blev beregnet efter formelen $I.V. = 2,5 \times K + 3,5 \times Na + 10 \times NH_2-N$, hvor K, Na og NH_2-N er målt i mg pr. 100 g polysukker (mg/100 S). Korrigeret pol (K-pol) er beregnet ved at korrigere den målte pol for den del af drejningen, som skyldes indhold af glucose, fructose og raffinose (2).

Resultater

Lige før frostpåvirkningen var roerne i alle forsøg friske og saftspændte og havde spirer på 1–2 cm længde. Efter frost var roerne i forsøg, hvor der i den sidste del af frostperioden målt temperaturer på roernes underside på $\div 5,6^\circ\text{C}$ eller lavere (1981 og 1983), frosne helt igennem. I de øvrige år, hvor temperaturen var omkring $\div 5^\circ\text{C}$, var roerne kun delvis frosne.

Efter yderligere 14 dages opbevaring var de frostbehandlede roer i 1981 og 1983 for størstepartens vedkommende glassede (vanddrukne) gennem hele tværsnittet, hvilket tyder på plasmolyse. Fire uger efter frostbehandlingen var mange af roerne slimede på overfladen. Topenden af roerne syntes mindst påvirket, idet der på mange af roerne, som var glassede i tværsnit, var små, friske spirer. I årene 1982, 1984, 1985 og 1986, hvor temperaturen kun nåede ned omkring $\div 5^\circ\text{C}$, var kun en mindre procentdel af roerne helt eller delvist glassede, mange havde sortfarvede ringe eller var del-

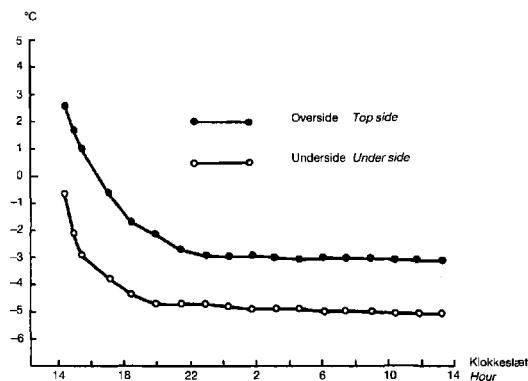


Fig. 1. Temperaturer under frostbehandling af roer 1984. Åbne cirkler: underside af roe, fyldte cirkler: overside af roe.

Temperatures during frost treatment of beet 1984. Open circles: under side of beet, filled circles: top side of beet.

Tabel 2. Sukkertab i pct. under opbevaring i 4–8 uger ved 8°C uden eller med en frostperiode på et døgn 4 uger efter optagning.

Per cent loss of sugar in sugar beet when stored for a period of 4–8 weeks at 8°C with or without 24 hours frost 4 weeks after lifting.

	Opbevaringstid i uger. F = frost i et døgn Storage in weeks. F = frost for 24 hours						Frost °C
	4	4 + 2	4 + 4	4 + F	4 + F + 2	4 + F + 4	
1981	1,7	2,7	4,5	2,7	11,7	22,6	-6,1
1982	1,1	2,5	3,0	1,8	6,0	10,4	-5,2
1983	1,6	2,6	4,3	3,1	12,6	19,1	-5,6
1984	2,2	2,8	3,3	2,7	6,3	11,7	-5,1
Gns.	1,65	2,65	3,78	2,58	9,15	15,95	-5,5
Mean							

vis brunfarvede, og enkelte var helt normale af udseende. Der var udbredt mugdannelse på overfladen af roerne i de fleste prøver, hvilket sikkert er fremmet af den høje luftfugtighed i de plastfærede kasser. Mange roer havde også begyndende rådangreb i sår. På de ikke-frostbehandlede roer var der i nogle tilfælde begyndende mugdannelse, men sjældent råd, og alle roer havde spirer på op til 6 cm længde.

Sukkertabet under opbevaring i fire, seks og otte uger ved 8°C uden og med en frostperiode på

et døgn fremgår af tabel 2. Tabet i de første fire uger var gennemsnitligt 1,65 pct., og i de ikke frosne roer var tabet i hver af de næste to 14-dages perioder omtrent 1 pct. I de frosne roer blev tabet første gang målt 1 dag efter frostperiodens ophør og var da ca. 0,9 pct. højere end i de ikke frosne roer. De gennemsnitlige tab i de næste to 14-dages perioder var næsten ens, 6–7 pct. Der var et tydeligt sammenhæng mellem frostgrad og tab, idet dette i 1981 og 1983, hvor temperaturen var lavest, var dobbelt så stort som i de to andre år.

Tabel 3. Mængde og kvalitet af sukkerroer opbevaret ved 8°C i 4–8 uger uden eller med en frostperiode på et døgn 4 uger efter optagning. Gns. af 4 forsøg, 1981–84.

Quantity and quality of sugar beet stored at 8°C for a period of 4–8 weeks with or without 24 hours frost 4 weeks after lifting. Mean of 4 experiments, 1981–84.

	Ved optagning At lifting	Opbevaringstid, uger Storage time, weeks					
		4	4 + 2	4 + 4	4 + F	4 + F + 2	4 + F + 4
Vægt af roer, fht. <i>Weight of beets, rel.</i>	1000	996	991	988	982	975	962
Pol.sukker, pct. <i>Pol.sugar, %</i>	17,57	17,35	17,26	17,12	17,43	16,27	14,90
Korr. pol.sukker, pct. <i>Corr. pol.sugar, %</i>	17,32	17,19	17,11	16,99	17,28	15,99	14,82
Invertsukker, mg/100S <i>Invert sugar</i>	576	729	902	1087	755	4372	13657
Glucose	342	413	528	623	426	3054	7596
Raffinose	404	485	427	380	463	309	273
Na	63	61	66	70	58	73	81
K	719	732	735	762	730	795	931
NH ₂ -N	91	110	114	123	105	105	114
Impurity value	2928	3138	3208	3373	3074	3289	3746
P, uorg.	100	109	108	120	110	109	142
P, inorg.	–						

Mængden og kvaliteten af roerne under opbevaringen fremgår af tabel 3. I de ikke frosne roer var der kun et ubetydeligt vægttab, medens det for de frosne roers vedkommende var nær 4 pct. efter otte uger. Polsukkerprocenten faldt knap en halv enhed i de ikke frosne roer, men godt 2,5 enheder i de frosne roer. De korrigerede pølsukkerprocenter faldt en lille smule mindre. I de frosne roer skyldtes en stor del af pølsukkertabet omdannelse til invertsukker, i gennemsnit 55 pct., men noget varierende fra år til år. I de ikke frosne roer udgjorde inverteringen gennemsnitligt kun 12 pct. af pølsukkertabet efter 8 ugers opbevaring. Raffinoseindholdet steg lidt i den første 4-ugers periode, men faldt derefter til lidt under det oprindelige niveau i løbet af de næsten fire uger. Frosten forstærkede faldet en lille smule.

Indholdet af Na og K steg svagt under opbevaringen målt i forhold til pølsukkerindholdet (tabel 3), men mængden pr. prøve var konstant. Mængden af aminokvælstof viste derimod en reel stigning pr. prøve. Stigningen i impurity value skyldtes især faldet i pølsukkerprocent og stigningen i aminokvælstofindhold og var for hele 8-ugers perioden gennemsnitlig 15 pct. i de ikke frosne roer og 28 pct. i de frosne roer. I sidstnævnte betød det meget store invertsukkerindhold en alvorlig forringelse af roernes saftkvalitet i forbindelse med stigningen i impurity value. Stigningen i indhold af uorganisk fosfat var størst i de frosne roer. Fosfatet må antages hovedsageligt at stamme fra nedbrydning af energirige fosfatbindinger.

I fig. 2 er roernes sukkertab efter i alt 8 ugers opbevaring vist i relation til temperaturen under sidste del af frostpåvirkningen. Punkterne længst til højre i figuren markerer tabet i ikke frostpåvirkede roer. Mellem -2° og 8°C er kurvens forløb ikke fastlagt eksperimentelt. Af figuren fremgår, at ved temperaturer ned til -4°C var tabene af samme størrelse som i ikke frostpåvirkede roer, medens der ved temperaturer under -5°C forekom overordentligt store tab.

I tabel 4 er foretaget en opdeling af forsøgene efter temperatur i sidste del af frostperioden for at vise, hvilken indflydelse denne har på saftkvaliteten. Tallene i kolonnerne 1–3 er gennemsnit af samtlige forsøg, idet behandlingen i de enkelte forsøgsled var ens. I kolonnerne 5–7 er foretaget den ovenfor nævnte opdeling af forsøg og forsøgsled (idet der i årene 1984, 1986 og 1987 blev behandlet ved 2–3 temperaturer, se fig. 2). Da tal-

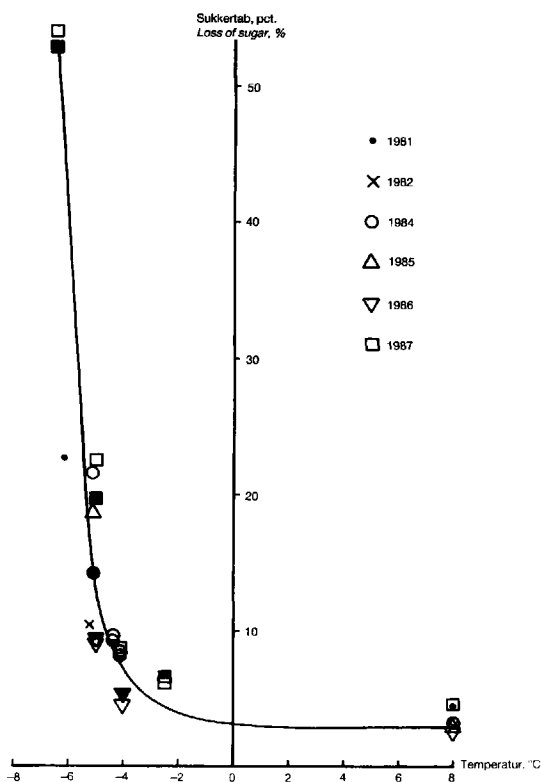


Fig. 2. Sukkertab under opbevaring i 8 uger med eller uden en frostperiode på 1 døgn efter 4 uger ved 8°C . I venstre halvdel af figuren angiver abscissen temperaturen i sidste del af frostperioden. Åbne signaturer: 1 uge ved 4°C + 3 uger ved 8°C efter frost. Lukkede signaturer: 4 uger ved 8°C efter frost. Helt til højre i figuren er angivet tabet i ikke frosne roer opbevaret ved konstant 8°C . Kurven er mellem -2°C og 8°C ikke underbygget eksperimentelt.

Loss of sugar in beets stored for 8 weeks with or without a 24 hours frost period after 4 weeks at 8°C . In the left half of the figure the abscissa shows the temperature during the last part of the frost period. Open signs: 1 week at 4°C + 3 weeks at 8°C after frost. Closed signs: 4 weeks at 8°C after frost. The signs in the right side of the figure indicate the loss from not frozen beets stored at a constant temperature of 8°C . Between -2° and 8°C the curve has not been based on experimental data.

lene i disse kolonner er beregnet på grundlag af forskellige forsøg, kan de ikke umiddelbart sammenlignes, men da tallene, som ligger til grund for gennemsnittene, var ret ensartede inden for hvert temperaturområde, må gennemsnitsvær-

Tabel 4. Kvalitet af sukkerroer efter opbevaring ved 8°C i 4–8 uger uden eller med 1 døgn frost ved forskellige temperaturer 4 uger efter optagning. A: gns. af 7 forsøg, 1981–87. B: gns. af 3 forsøg, 1984, 1986 og 1987. C: gns. af 5 forsøg, 1982, 1984–87. D: gns. af 3 forsøg, 1981, 1983 og 1987.

Quality of sugar beet after storage at 8°C over a period of 4–8 weeks with or without 24 hours of frost at various temperatures 4 weeks after lifting. A: mean of 7 expts, 1981–87. B: mean of 3 expts, 1984, 1986 and 1987. C: mean of 5 expts, 1982, 1984–87. D: mean of 3 expts, 1981, 1983 and 1987.

	Ved optagning At lifting	Opbevaringstid, uger Storage time, weeks					
		4	4 + 4	4 + frost	4 + frost + 4 Frost temp. °C		
					÷ 4 – ÷ 4,1	÷ 5 – ÷ 5,2	÷ 5,6 – ÷ 6,5
		A	A	A	B	C	D
Kolonne nr., Column no.	1	2	3	4	5	6	7
Invertsukker, mg/100S	631	790	1230	801	3636	10035	46555
Invert sugar	–						
Glucose	– 366	432	738	455	1444	4903	29458
Raffinose	– 377	465	371	449	243	192	402
Na	– 60	62	64	59	66	72	130
K	– 785	780	806	777	878	977	1683
NH ₂ -N	– 83	102	111	97	86	91	132
Impurity value	– 3003	3187	3349	3119	3286	3605	5983
P, uorg.	– 113	122	129	122	138	152	275
P, inorg.	–						

dierne antages at udtrykke tendensen i frostgradens virkning. Lige efter frostbehandlingen var der kun små forskelle mellem udslagene, og i forsøgsled 4 er alle forsøg derfor slået sammen uanset temperatur (kolonne 4).

Fire uger efter frostbehandlingen var der i de forsøg, hvor temperaturen havde været nede på ÷5,6°C og derunder, for de fleste stoffers vedkommende sket store ændringer i koncentrationerne. Størst betydning har stigningen i invert-sukkerindholdet, idet inverteringen i denne gruppe svarede til to tredjedele af det samlede sukkertab. Dertil kommer invertsukkerets betydning for farvedannelsen. Da roerne desuden var slimede grundet dannelse af dextraner, som er stærkt generende under fabrikationsprocessen, må disse roer anses for uegnede som råmateriale for fremstilling af sukker.

Opbevaring af de frosne roer ved 4°C i en uge efter frysningen i stedet for umiddelbar overførsel til 8°C havde kun i 1984 en lille, positiv virkning i form af mindre sukkertab og bedre saftkvalitet, medens der i 1983 og 1985–87 ikke var signifikante forskelle. Denne del af forsøgene er derfor ikke omtalt yderligere.

Diskussion

Den kritiske temperatur for opståen af irreversible forandringer i roer ved et døgn frostpåvirkning lå i ovennævnte forsøg på omkring ÷5°C. Roer, som udsattes for temperaturer i dette område eller lavere, forblev glassede efter optøning, og overfladen blev efterhånden slimet. Straks efter optøning kunne registreres et lille sukkertab, men endnu ingen alvorlig kvalitetsforandring. Når roerne efterfølgende blev opbevaret ved 8°C, begyndte en kraftig invertsukkerdannelse, som tiltog i styrke samtidig med, at impurity value steg som følge af et faldende polysukkerindhold. I andre undersøgelser (3, 5) er det vist, at frostvirkningen er afhængig af længden af frostperioden og af temperaturen i den efterfølgende periode. Det tidsrum, hvor roerne i denne undersøgelse reelt blev påvirket af den tilstræbte temperatur, oversteg næppe 12 timer. I hollandske undersøgelser fandtes, at 12 timer ved ÷5°C var tilstrækkeligt til at fremkalde en betydelig invertering, når roerne derefter opbevarede i to uger ved 10°C, medens der ikke skete noget under opbevaring ved 4°C.

Roer, som blev udsat for temperaturer under

deres frysepunkt, men over $\div 5^{\circ}\text{C}$, kunne øjensynligt tøj op, uden at væsentlig skade var sket. I flere tilfælde forekom dog en brunfarvning af parenkymcellerne omkring ledningsstrengene, medens resten af roen var uskadt. I sådanne roer er kun målt en svag stigning i indholdet af invertsukker og andre letopløselige forbindelser.

Konklusion

Den kritiske temperatur for frostskaade på sukkerroer ved et døgn's påvirkning er ca. $\div 5^{\circ}\text{C}$. Når sukkerroer i mere end ét døgn har været opbevaret ved en temperatur lavere end $\div 5^{\circ}\text{C}$, er der risiko for kvalitetsforringelser efter optøning, og roerne bør derfor oparbejdes hurtigst muligt. Blot en lille temperatursænkning under $\div 5^{\circ}\text{C}$ kan have meget stor effekt.

Litteratur

1. Ashworth, E. N. & Abeles, F. B. 1984. Freezing behavior of water in small pores and the possible role in the freezing of plant tissues. *Plant Physiol.* 76, 201-204.
2. Augustinussen, E. & Smed, E. 1979. Temperaturen's indvirkning på sukkertab og kemiske omdannelser under opbevaring af fabrikssukkerroer. *Tidsskr. Planteavl* 82, 549-563.
3. Bergkvist, R. 1971. Analytical evaluation of frost-damaged beets. *Socker. Handlingar* 25, 1-3.
4. Chelemski, M. S. 1967. *Die Lagerung von Zuckerrüben*. Berlin.
5. Heijbroek, W. & Huijbregts, A. W. M. 1984. Some factors affecting frost damage to sugar beets. I. I. R. B. 47th winter congress, Bruxelles 1984, 35-52.
6. Kammerer, F. X. & Delavier, M. J. 1967. Physikalische, chemische und mikrobielle Veränderungen von Zuckerrüben bei der Gefrierlagerung I, II und III. *Z. Zuck. Ind.* 17, 349-357, 419-427, 464-469.
7. Lemoyne, S. E. & Belval, H. 1948. Résistance des betteraves à l'action du froid. *Ind. Agric. Alim.* 65, 83-87.
8. Levitt, J. 1972. *Responses of plants to environmental stresses*. New York.
9. Vajna, S. 1962. *Zuckerrüben-Lagerung*. Berlin-Nikolassee.

Manuskript modtaget den 19. marts 1990.