

Institutt for grønnsakdyrking

ÅS-NLH

Stensiltrykk nr. 109

ISBN 82-576-5593-7

Lisensiatforelesing i faget grønnsakdyrking
fredag 12. januar 1979

BIOLOGISKE OG TEKNISKE PRINSIPP VED
LÅGTRYKKSLAGRING AV GRØNSAKER

ved

Halldor Hoftun

BIOLOGISKE OG TEKNISKE PRINSIPP VED LAGTRYKKSLAGRING AV GRØNSAKER

av

Halldor Hoftun

INNLEIING

Etter det eg kjenner til er det ikkje arbeidd med lågtrykkslagring av friske planteprodukt her i landet. Av den grunn rekner eg med at det kjennskap dei fleste her har til denne lagringsmetoden er heller periferert. Eg har difor funne det naudsynt å starta med bakgrunnen for lagring i låge lufttrykk, for deretter å komma inn på fysiske forhold og teknisk utføring, nemna nokre få ord om kostnader før eg tek for meg biologiske reaksjonar og lagringsresultat.

BAKGRUNN

Når grønsakene vert hausta er det slutt på tilførsel av vatn og næringsstoff. Livsprosessane held likevel fram, og det skjer fysiologiske og kjemiske/biologiske omsetjingar. Nokre av desse kan vera ønskjelege, som t.d. ettermogning av tomat, men dei fleste endringane fører til at nærings- og bruksverdien går ned utover i lagringsperioden. Mikrobiell nedbryting er også eit problem ved lagring av friske planteprodukt.

I tillegg til dette har vi transpirasjon, ein reint fysisk prosess, som resulterer i vekttap frå plantevevet. Friske grønsaker inneheld inntil 95% vatn, og dei fleste grønsakslag har ei oppbygging som gjer dei sterkt utsette for uttørking. Høg luftråme er difor ein viktig faktor for å unngå vekttap og visning.

For å oppnå best mogeleg kvalitet og lang lagringstid, der det er ønskjeleg, er det viktig å setja ned livsverksemda i grønsakene til eit minimum, men dei prosessane som går for seg i plantevevet må ikkje forstyrrast eller stogga opp. I slike tilfelle vert produkta svekka, og mikroorganismar får lett innpass. Plantevevet kan også bryta heilt eller delvis saman etter lagring ved for låg

eller for høg temperatur, eller dersom endringane i luftsamansetnad vert for store.

Dei fleste prosessane som går for seg i plantene er temperaturavhengige, og regulering av temperaturen er den eldste metoden for å redusera livsintensiteten i levande plantevev. For omlag 50 år sidan tok dei engelske forskarane Kidd og West i bruk lagring i kontrollert atmosfære for å lengja lagringstida hos eple. Lagring i kontrollert atmosfære vil seia å senka innhaldet av O₂ og/eller auka CO₂-konsentrasjonen samanlikna med i luft for på den måten å påverka fysiologiske prosessar i plantene og å redusera sjukdomsangrep. For grønsaker har ikkje lagring i kontrollert atmosfære fått særleg utbreiing.

I 1957 registrerte Hummel og Stoddard og Workman et al., uavhengig av kvarandre, at lagring i redusert lufttrykk kan senka livsprosessane i friskt plantevev, og ha positive verknader på kvaliteten hos einskilde produkt. Ein ny faktor kom dermed i tillegg til dei lagringsvilkåra (temperatur, luftsamansetnad, luftråme og luftrørsle) ein tidlegare hadde arbeidd med.

Det var likevel dei amerikanske forskarane Burg og Burg sitt arbeid i 1965 om gassveksling i frukter ved subatmosfæriske trykk, og deira rapport i 1966 om lagring av frukt ved låge lufttrykk, som sette fart i arbeidet med det ein på norsk kallar lågtrykkslagring. På engelsk er denne lagringsmetoden kalla "low pressure storage", "hypobaric storage", "subatmospheric storage" eller "vacuum storage". Dei mest omfattande forsøka med metoden er utførte i U.S.A. og Vest-Tyskland, men det er også arbeid i gang i andre land, m.a. i Danmark.

Ved lågtrykkslagring vert produkt lagra ved optimal temperatur i rom med konstant, kontrollert undertrykk og med kontinuerleg gjennomstrøyming av vassmetta luft. Trykket i rommet varierar etter kva for produkt som skal lagrast, men vert ofte halde på omlag 76 mm Hg, dvs. 1/10 av det normale. For sjampinjong (Agaricus bisporus) nytta Dilley (1977) trykk heilt ned til 10 mm Hg.

For dei biologiske prosessane i produktet er det to hovudfaktorar som er viktige ved lågtrykkslagring:

1. O₂-tilførsel til produktet vert redusert med dei følgjer

det har for respirasjon og andre omsetjingar i plantene. Lågtrykkslagring kan såleis seiast å vera ei form for lagring i kontrollert atmosfære med lågt O_2 -innhald.

2. Etylen og andre gassar som produktet produserar vert fjerna med den konsekvens at mognings- og aldringsprosessane vert hemma.

FYSISKE FORHOLD

Oksygen

Vi skal no komma inn på fysiske forhold og sjå kva redusert trykk har å seia for samansetjinga av atmosfæren, og er spesielt interessert i innhaldet av O_2 , vassdamp og gassveksling mellom produkt og ytre miljø.

Luft er samansett av ei rekkje gassar, kvar med sitt partialtrykk.

$$1. P_{\text{total}} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{Ar} + P_{CO_2} + P_{H_2} + P_{H_2O}$$

Ved 1 atmosfære og $0^\circ C$ får ein:

$$2. P_T (1 \text{ atm}) = P_{N_2} (0,7756) + P_{O_2} (0,2086) + P_{Ar} (0,0093) + \\ P_{CO_2} (0,00030) + P_{H_2} (0,0001) + P_{H_2O} (0,00603)$$

Omgjort til mm Hg vert partialtrykket:

$$3. P_T (760) = N_2 (589,454) + O_2 (158,563) + Ar (7,101) + \\ CO_2 (0,227) + H_2 (0,076) + H_2O (4,58)$$

Senking av lufttrykket fører ikkje til endring i den prosentvise samansetjinga av lufta, dvs. at dersom totalt trykk vert senka til 0,1 atmosfære, vil også partialtrykket av ulike gassar reduserast tilsvarande:

$$4. P_T (76) = N_2 (58,945) + O_2 (15,856) + Ar (0,710) + CO_2 (0,023) + \\ H_2 (0,008) + H_2O (0,458)$$

Det vesentlege for plantematerialet ved senking av lufttrykket i lagerrommet er at konsentrasjonen av dei ulike gassane vert redusert i høve til i normal atmosfære. For oksygen, som er nødvendig

for at m.a. respirasjonsprosessane skal gå normalt, vil det seia at innhaldet av denne gassen ved 76 mm Hg tilsvarar:

$$\frac{100 \times 15,856}{760} = 2,09\% \text{ ved } 760 \text{ mm Hg}$$

Fukting av fortynna luft vil også redusera innhaldet av O₂ og andre gassar. Dette er ein faktor det er viktig å vera klar over, særleg ved låge trykk, og/eller ved relativt høge temperaturar. Ved 15 mm Hg og 0°C, som er nytta ved lagring av sjampinjong, vil O₂-innhaldet i luft som ikkje er metta med vassdamp, tilsvara 0,41% ved 760 mm Hg. I vassmetta luft vil O₂-innhaldet ved same totaltrykk og temperatur tilsvara 0,29%. Dersom temperaturen vert sett opp til 10°C, vil lufta kunna innehalde meir vatn, og O₂-konsentrasjonen i vassmetta luft ved 15 mm Hg vil tilsvara 0,16% O₂ ved 1 atmosfære.

Luftråme

Som vi har sett av likning 4, vil reduksjon av lufttrykket til 1/10 av det normale senka vassdamptrykket tilsvarande. Skilnadene i vassdamptrykk mellom produktet, som har nært metningstrykk, og lufta omkring vert stort. Ved 1/10 atmosfære vil vassdampdeficit (V.P.D. mellom produkt (ikkje korrigert for vassdamp frå produktet) og lageratmosfære verta:

$$5. \text{ V.P. produkt} - \text{V.P. } 0,1 \text{ atm} = \text{V.P.D.}$$

$$4,58 \text{ mm Hg} - 0,458 \text{ mm Hg} = 4,122 \text{ mm Hg}$$

Ved høgare temperatur og/eller ved lågare trykk, vert vassdampdeficit større.

For å sikra høg luftråme og hindra uttørking, må lufta fuktast etter fortynning. Full vassmetting av fortynna luft vil endra partialtrykket av andre gassar, slik vi alt har vore inne på:

$$6. P_T (76) = N_2 (55,729) + O_2 (14,991) + Ar (0,671) + CO_2 (0,021) + H_2 (0,007) + H_2O (4,58)$$

Gassveksling

Gassveksling mellom produkt og det ytre miljø er et sentralt punkt

ved lågtrykkslagring. Fjerning av etylen og flyktige stoffer frå stoffskifteprosessane er rekna for å vera ein av dei viktigaste og mest positive verknadene av lågtrykkslagring.

Frå fysikken kjenner vi til at gassdiffusjonskoeffisienten er omvendt proporsjonal med totalt gasstrykk. Dette medfører at ved å senka totalt trykk til 1/10 av normalt, vil, som vi har sett, partialtrykket av kvar einskild gass omkring produktet verta redusert tilsvarande. Etylen, CO₂ og andre flyktige stoff som vert produsert i plantevevet, vil såleis verta friggitt 10 gonger raskare enn til luft med 1 atmosfære. Dette reduserar nivået av etylen og andre gassar som vert produsert inne i plantevevet med ein faktor på 10, dersom produksjonen av gassane ikkje vert påverka av at det totale trykk er redusert (figur 1 A).

TEKNISK UTFORMING

Burgs patenterte metode frå 1967 for lagring av frukt, dannar grunnlaget for lågtrykkslagringa. I figur 1 er vist prinsippet for metoden: Eit lagerrom (13) er bygd lufttett med vanlege isoleringsmaterialer (7). Ved hjelp av vakuumpumpe (15) vert det laga undertrykk. Fornyng av lufta skjer gjennom flow-meter (9) og reduksjonsventilar (8, 14) regulerar trykket. Lufttrykket vert avlest på manometer (1). Lufta vert fukta ved å bobla gjennom vatn (11) i eit kar (10) inne i lagerrommet. Vatnet inne i lageret vert etterfylt frå eit reservoar (3) gjennom ei kran (4). Temperaturen vert avlesen på eit termometer (6) og kan regulerast ved kulde- eller varmetilførsel gjennom røyr (17).

Det tekniske utstyret som krevst for lågtrykkslagring er ikkje meir komplisert enn generator/scrubber-system for atmosfærisk kontroll ved lagring i kontrollert atmosfære (Lougheed et al. 1978).

Bredmose ved Statens Væksthusforsøg, Årslev, Danmark (personleg informasjon), meiner at lågtrykkslagring er lettare å handtera enn lagring i kontrollert atmosfære.

Lågtrykkslagring har også den fordel at ønskt trykk kan etablerast i løpet av kort tid (30-100 min.). Ved opning av lageret trengs det berre få minutt for å komma opp i normalt trykk, og ein kan gå inn i lageret like etter. Det er heller ikkje registrert

skadeverknader på produktet om undertrykket vert brote raskt og ofte. Trykket er heller ikkje avhengig av fyllingsgraden i lageret. Dette er faktorar som gjer at lågtrykkslagring har føremuner framfor lagring i kontrollert atmosfære, der det trengs relativt lang tid for å etablere ønskt luftsamansetnad.

Av praktiske problem ved lågtrykkslagring kan nemnast at vekttapet i einiskilde tilfelle kan verta stort. Lougheed et al. (1978) fann at ei av årsakene til dette var lekkasjer som førte til at falsk luft med lågt vassdampinnhald kom inn i lagerrommet. Det er difor viktig å unngå lekkasjer sjølv om pumpekapasiteten er stor nok til å halda lågt trykk.

Ved lågtrykkslagring har Dilley (1977) nytta 1 til 4 luftskifte pr. time. Dersom systemet for luftfukting ikkje verkar tilfredsstillande, kan det verta sterk uttørking av plantematerialet, særleg når det er mange luftskifte pr. time. For å unngå problemet med vekttap ved lågtrykkslagring, vert det i Danmark nytta fleire luftinntak i kvar lagereining. Dette har ifølge Bredmose (personleg informasjon) fungert tilfredsstillande.

Ved lagringstemperaturar ned mot 0°C kan det verta utfrysing av vatn i slangar, vasskar og ventilar ved at fordamping av vatn ved lågt trykk senkar temperaturen til under frysepunktet. Dette problemet kan løysast ved å nytta varmekablar på utsette stader.

BYGGEMATERIALER

Dei aller fleste rapportar om lågtrykkslagring byggjer på forsøk utført i laboratoriemålestokk, og med små lagereiningar. Dette gjer at det er få opplysningar å finna om bygningstekniske spørsmål. Det kan likevel setjast opp visse krav til konstruksjonar og byggematerialer:

1. Lagring ved trykk ned til 10 mm Hg, som det er gjort forsøk med, krev at lagerromma må kunna motstå trykk på 1 atmosfære, dvs. ca. 10,4 tonn pr. m^2 .
2. Materialet må vera tett for å hindra falsk luft å komma inn i lageret og dermed skapa problem med å halda trykket nede.

Aktuelle byggematerialer er:

Aluminium

Ved transport av varer under lågt trykk er det viktig å nytta material som er lett i vekt, Grumman Allied Industries Inc. i U.S.A., har utvikla aluminiumskontainerar for transportformål (Burg 1975).

Stål

Til anlegget for lågtrykkslagring som er bygd ved Statens Forsøgsstation, Blangstedgård i Danmark, er det nytta 4 mm stålplater. Anlegget omfattar ialt 24 kontainerar, kvar på ca. 200 l, og er fordelt på 3 kjølerom. Bredmose (personleg informasjon) meiner at også kommersielle lagerrom bør byggjast av stålplater og delast inn i mindre einingar der skiljeveggene fungerer som avstiving. Ei innvending mot eit slikt system er at det kan verta lite rasjonelt og lite fleksibelt.

Betong

Armert betong er også aktuelt byggemateriale, og er nytta til bygging av store lågtrykksrom ved kjernekraftverk (Lougheed et al. 1978).

KOMMERSIELT BRUK

Burg skreiv i ein artikkel i 1975 at lågtrykkslager med kapasitet på frå 350 til 3500 m³ var planlagde, og at det første av desse var venta å vera driftsklart mot slutten av 1976. Om dette er tilfelle kjenner eg ikkje til, men Lougheed et al. seier i sin oversiktsartikkel om lågtrykkslagring av hagebruksprodukt som kom i 1978, at kommersielt bruk av metoden er avgrensa til nokre få transportable kontainerar.

KOSTNADER

Forsøksanlegget som er bygd i Danmark i 1975/76 med 24 kontainerar kosta omlag 100.000 danske kroner, dvs. ca. kr. 4.200 pr. lagereining. Kostnaden for kjølerom er ikkje med i denne prisen (Bredmose, personleg informasjon).

For isolerte lågtrykkslager på 360 m³ i armert betong og med nødvendig utstyr, reknar kanadiske forskarar med at kostnadene pr. m³

ligg 36,5% høgare enn for lagerrom for kontrollert atmosfære (Lougheed et al. 1975). I U.S.A. vert byggekostnadene for lågtrykksanlegg rekna for å vera 50% høgare enn for vanlege kjøleanlegg (Bredmose 1975). I Danmark reknar Bredmose med at anleggs- og driftskostnader for lågtrykkslager ligg på same nivå som for anlegg for CA-lager. Ei av årsakene til låge byggekostnader i Danmark kan vera at ein der ikkje er bundne av amerikanske patentar som synest å fordyra anlegg i U.S.A. Ifølge Burg (1975) vil driftskostnadene ved lågtrykkslagring ikkje vera høgare enn for vanleg kjøleanlegg.

BIOLOGISKE REAKSJONAR

Etylen

Etylen er ein gass som i små konsentrasjonar verkar på mogningsprosessane i frukt, på nedbryting av klorofyll i grønne vekster, på bladlosning hos t.d. blomkål, som fører til bladflekkar ("russet spots") hos salat, og som induserar bitterstoff i gulrot. Terskelverdien for verknaden av etylen på dei nemnde prosessane ligg i området 0,01 til 0,1 ppm. Reduksjon av lufttrykket, og fjerning av gassane i lufta omkring produkta, senkar det endogene etylennivået, slik som Bangerth (1973) har vist for eple, figur 2. Dette kan føra til at det indre nivået av etylen kjem under den fysiologisk verksame konsentrasjonen.

Mjukning av tomatfrukter er ofte sett i samband med innhaldet av pektinspaltande enzym, og i sitt arbeid fann Streif og Bangerth (1976) redusert aktivitet av polygalakturonase og pektinesterase i låge trykk. Dei mener dette skuldast lågt endogent etyleninnhald som såleis kan vera årsak til fastare frukter ved lågtrykkslagring. Dei registrerte også at syntese av lykopen synest å vera avhengig av etylennivået, men fann at nedbryting av klorofyll var meir påverka av partialtrykket av O₂ enn av lågt etyleninnhald.

Det kan også nemnast at Bangerth (1973) registrerte grønt og saftspent bladverk hos blomkål etter 5 veker ved 75 mm Hg og 3°C. Kontrollfruktene, lagra i normalt trykk ved same temperatur, hadde på same tid gule, lause blad. Kvaliteten av det matnyttige produktet var lite påverka av lagringsmetoden.

Respirasjon

Respirasjon ved lågtrykkslagring er granska av Streif og Bangerth (1976). Dei lagra tomatfrukter ved totaltrykk på 760 og 100 mm Hg, og ved partialtrykk av O₂ på 100 og på 20 mm Hg, med og utan etylen-tilførsel.

Av figur 3 går det fram at ved høgaste O₂-trykket var det klimakterieliknande forløp på kurvene. Den klimakteriske toppen kom først hos frukter som fekk tilført etylen, og omlag 12 døger seinare hos kontrollen og frukter ved lågt trykk utan etylen. Samstundes med respiratorisk klimakterium var det ein sterk auke i etylenproduksjonen som nådde ein topp på omkring 9 µl/kg/t hos kontrollfruktene. Frukter med eit totaltrykk på 100 mm Hg produserte berre 2/3 så mykje etylen på det høgaste som kontrollfruktene.

Ved å samanlikna figurane 3 og 4 går det fram at respirasjonen, uttrykt som CO₂-produksjon, var redusert med omlag 50% hos frukt lagra ved partialtrykk av O₂ på 20 mm Hg samanlikna med 100 mm Hg.

Av figur 4 går det fram at skilnadene i CO₂-produksjonen ved det lågaste O₂-trykket var lite, og først etter 40 døger var det teikn til klimakterium hos kontrollen og hos frukter ved lågt trykk + etylen. Etylenproduksjonen ved det lågaste O₂-nivået var svært lågt dei første 25 døger på lageret. Deretter var det auke i etylenproduksjonen hos kontrollfruktene, medan fruktene i lågt trykk ÷ etylen syntetiserte mindre enn 0,5 µl etylen pr. kg pr. time, sjølv etter 40 døger.

Klorofyll, lykopen, β-karoten

Tomat er eit av dei produkt der fargeendringane ved lågt trykk er granska mest inngåande. Hos tomatfrukter fann Wu et al. (1972) at senking av totaltrykket førte til redusert nedbryting av klorofyll, figur 5, og til hemming av lykopen-syntese, figur 6. Syntesen av β-karoten vart også hemma.

Etterlagring av tomater ved normalt trykk (636 mm Hg) førte til normal mogning og fargeendring, figurane 7 og 8.

Hos agurk, blomkål, knutekål og paprika, registrerte Bangerth (1973)

høgare klorofyllinnhald etter lagring ved 75 mm Hg enn ved 760 mm Hg. Bangerth (1974) har også lagra bladpersille i lågt trykk og fann reduksjon i klorofyllnedbryting, slik det går fram av figur 9.

Sukker, stivelse, protein

Wu et al. (1972) granska innhald av sukker, figur 10, og stivelse, figur 11, hos tomater lagra under ulike trykk, og registrerte at etter lagring ved 102 mm Hg var det små endringar i innhaldet av desse stoffa etter 100 døger. Etterlagring i normal atmosfære førte til raske endringar i innhald av stivelse og sukker, figur 12.

I bladpersille fann Bangerth (1974) høgare innhald av protein etter lagring ved 76 mm Hg, samanlikna med kontrollen i normalt trykk, figur 9.

Askorbinsyre

Innhaldet av askorbinsyre hos grønsaker lagra i normalt og i låge trykk er granska av Bangerth (1973 og 1974) hos paprika, karse og bladpersille, og av Dilley (1977) hos asparges. Begge forskarane fann høgast innhald av askorbinsyre etter lågtrykkslagring slik det er vist for bladpersille i figur 9 og for asparges i tabell 1.

Årsaka til redusert nedbryting av askorbinsyre ved lågtrykkslagring er vanskeleg å forklara, men Bangerth (1973) har sett fram følgjande hypotese: Askorbinsyre vert oksydert (reversibelt) til dehydroaskorbinsyre og vidare (irreversibelt) til 2,3 diketogulonsyre. I desse oksydasjonsprosessane deltek fire ulike enzym: askorbinsyreoksydase, fenolase, peroksydase og cytokromoksydase. For peroksydase er det vist at syntesen av enzymet kan verta stimulert av etylen. Det er difor mogeleg at høgare askorbinsyreinnhald i lågtrykkslagra produkter kan skuldast mindre syntese eller mindre aktivitet hos askorbinsyreoksyderande enzym p.g.a. lågare endogent etyleninnhald.

Smak, aroma

Sensoriske analyser av grønsaker etter lågtrykkslagring er det lagt liten vekt på. Vi har difor få haldepunkter for å vurdere smaksqua-

liteten etter bruk av denne metoden. Tolle (1969) registrerte rett nok normal og akseptabel smak hos tomat etter lagring i opptil 28 døger ved eit totaltrykk på 180 mm Hg.

Ved lenger lagringstid, opptil 100 døger, og ved trykk ned til 102 mm Hg fann Wu et al. (1972) nedgang i innhald av flyktige stoffer hos tomat med nedgang i trykk, slik det er vist i figur 13. Dette skuldast bortføring av aromastoffer ved kontinuerleg ventilering ved lågt trykk. Det er ikkje rapportert om korleis smaks kvaliteten hos tomatene var etter lagring i dette forsøket.

Det bør også nemnast at Bangerth (1973) melder om at hos eple var sortstypisk aroma langt svakare etter lagring i 6-7 månader i 75 mm Hg enn etter same lagringstid ved normalt trykk eller i kontrollert atmosfære (3% CO₂ + 4% O₂).

Kjøleskade

Lyons (1973) har sett fram ein teori om at akkumulering av toksiske metabolittar, slik som acetaldehyd og etanol, kan vera involvert i mekanismar som gir seg utslag i kjøleskade. Lågtrykkslagring vil, i tillegg til å redusera partialtrykket av gassar, også senka kokepunktet hos slike metabolittar, og kan såleis føra til at dei lettare vert frigjevne frå lagra produkt. Faren for kjøleskade skulle dermed kunna reduserast. Frå forsøk med ulike produkt føreligg det motstridande resultat med omsyn til kjøleskade etter lagring ved låge trykk, og det er på noverande tidspunkt uråd å trekkje sikre konklusjonar.

Mikroorganismar

Den høge luftråmen det er mogeleg å oppnå i lågtrykkslager skulle vera ideell for vekst av mikroorganismar. Bangerth (1973) registrerte likevel svakare sjukdomsangrep hos agurk og paprika i lågtrykkslager enn etter lagring ved normalt lufttrykk, men skriv at angrepet var stort nok til at det var eit problem.

Dilley (1977) melder om svake angrep av Fusarium hos tomat ved 76 mm Hg. Hos asparges registrerte han bakterieråte etter lagring ved 80 og 760 mm Hg, men ikkje ved 20 og 40 mm Hg.

Lougheed et al. (1978) skreiv at hos tomat kan sjukdomsangrep vera eit problem ved den luftråmen som er naudsynt for å hindra vekttap ved lang lagring.

Resultata til Burg (1973) og Spalding og Reeder (1976), tyder på at lågtrykkslagring kan ha ein viss fungistatisk effekt.

Wu og Salunkhe (1972) dyrka ulike sjukdomsorganismar på potetdekstrose agar, og fann nedgang i sporulering og i mycelvekst med nedgang i trykk, figur 14. Partialtrykket av O_2 i 102 mm Hg tilsvarar 2,8% O_2 i normal atmosfære, og som det går fram av figur 14, var veksthemminga sterkare ved 102 mm Hg enn i kontrollert atmosfære med 2,7% O_2 .

Lågtrykkslagring set ned aldringsprosessane i plantevevet, og kan såleis indirekte føra til at lagringsprodukta får større motstandskraft mot sjukdom. Det er også kjent at høg luftråme hemmar utviklinga av einskilde organismar, m.a. Botrytis cinerea, og ved å halda høg luftråme omkring plantene kan lågtrykkslagring også på den måten redusera sjukdomsangrep i lagringsperioden.

LAGRINGSTID

Innafor dei produkta vi reknar med til grønsakvekstene er det arbeidd mest med tomat. Ei årsak til dette er at tomatfrukter har spesifikke mogningskjenneteikn og er såleis lette å arbeida med reint lagringsteknisk. Tomat er også ein økonomisk viktig kultur.

Som vi alt har vore inne på, har lågtrykkslagring seinka mogningsprosessane og lengd lagringstida hos dette produktet.

Arbeidet med andre grønsakslag synes å ha vore meir tilfeldig, men for agurk, bladpersille, bønner, issalt, mais, paprika og sjampinjong er det oppnådd gode lagringsresultat i lågt trykk, slik det går fram av tabell 2. For andre grønsaker som har vore med i forsøk er det registert liten eller ingen positiv verknad av lågtrykkslagring. For blomkål og reddik er resultata motstridande.

Korleis grønsakeneheld kvaliteten etter uttak frå lågtrykkslager er det få opplysningar om, men Bangerth (1973) fann at agurker etter 3

veker ved 75 mm Hg + 5 døger ved 25°C hadde intens grønn farge og høgare tørrstoffinnhald (3,5% mot 2,8%) enn kontrollfruktene som etter same lagringstid var nesten gule.

Hos eple registrerte same forfattar (1973) at CO₂-produksjonen i ein etterlagringsperiode på 8 døger ved 20°C var lågare hos frukter lagra ved 75 mm Hg enn hos frukter ved normalt lufttrykk eller i kontrollert atmosfære (3% CO₂ + 4% O₂).

OPPSUMMERING

Lagring av friske planteprodukt i låge atmosfæretrykk er ein relativt ny metode som har gitt lovande resultat for ei rekkje grønssakslag, i første rekkje for fruktgrønssaker.

Prinsippet for metoden er at ein oppnår låg O₂-atmosfære nesten fri for etylen og dei verknader denne gassen har på mognings- og ald-ringsprosessane i plantevevet.

Lagring i låge lufttrykk har hemma nedbryting av klorofyll og askorbinsyre hos ulike grønssaker, og hemma syntese av lykopen og β-karoten hos tomat.

Vekttapet ved lågtrykkslagring vil under normale forhold vera lite, men ved inntak av luft som ikkje er vassmetta kan uttørking av plantematerialet skje raskt.

Lågtrykkslagring har føremun framfor lagring i kontrollert atmosfære ved at planlagde lagringsvilkår kan etablerast på kort tid, og metoden høver såleis også for korttidslagring og for transport av friske produkt.

Eit forhold ved lågtrykkslagring det ikkje er gjort forsøk med, men som kan få praktisk betydning, er spørsmålet om den kontinuerlege fjerninga av etylen kan føra til at problemet med samlagring av ulike produkt, t.d. tomat og agurk, kan verta mindre.

Når lågtrykkslagring berre i liten grad er tatt i kommersielt bruk, har dette truleg fleire årsaker. Byggekostnadene er relativt høge samanlikna med vanlege kjøleanlegg. Metoden er gjennomprøvd for

relativt få planteslag. Det har også vist seg at innholdet av flyktige aromastoffer som kan ha verknad for smakskvaliteten, går ned med lang lagring i låge trykk.

Reint teknisk synest ikkje oppføring av lågtrykksanlegg å by på vesentlege problem, men metoden stiller store krav til konstruksjonar og byggematerial.

For praktisk bruk er hovudspørsmålet om lågtrykkslagring kan gi økonomisk vinst. Svar på dette spørsmålet kan ikkje gjevast utan grundige økonomiske vurderingar, og det ligg utanfor ramma for denne førelesninga.

LITTERATUR

- Arbeidsgruppen for lavtryksopbevaring af havebrugsprodukter, 1975: Lavtryksopbevaring af havebrugsprodukter, behov, biologi, teknik og økonomi, problemanalyse og -vurdering. Virum d. 6. maj.
- Bangerth, F. 1973: Zur Wirkung eines reduzierten Drucks auf Physiologie, Qualität under Lagerfähigkeit von Obst, Gemüse und Schnittblumen. Gartenbauwissenschaft 38(6): 479-508.
- " 1974: Hypobaric storage of vegetables. Acta Hort. 38(1): 23-32.
- Bredmose, N. 1975: Lavtryksopbevaring af havebrugsprodukter. Ugeskrift for Agronomer og Hortonomer 4(50): 963-966.
- " 1979: Statens Væksthusforsøg Årslev, Danmark. Personleg informasjon.
- Burg, S.P. 1967: Method for storing fruit. U.S. Patent Office No. 3.333.967. Sit. Burg 1975.
- " 1973: Hypobaric storage of cut flowers. Hort Science 8: 202-205.
- " 1975: Hypobaric storage and transportation of fresh fruits and vegetables. Symposium: Postharvest biology and handling of fruits and vegetables (Edit. Haard, N.F. & Salunkhe, D.K.) p. 172-188. The AVI Publishing Company INC. Westport, Connecticut, 1975.
- Burg, S.P. & Burg, E.A. 1965: Gas exchange in fruits. Physiol. Plant. 18: 870-884.

- Burg, S.P. & Burg, E.A. 1966: Fruit storage at subatmospheric pressures. *Science*, 153: 314-315.
- Dilley, D.R. 1977: Hypobaric storage of perishable commodities - fruits, vegetables, flowers and seedlings. *Acta Hort.* 62: 61-70.
- Hummel, C.E. & Stoddard, E.S. 1957: Methods of improving food preservation in home refrigerators. *Refrig. Eng.* 65: 33-39.
- Lougheed, E.C., Franklin, E.W., Papple, D.J., Pattie, D.R., Malinowski, H.K. & Wenneker, A. 1975: A feasibility study of low pressure storage. Hort. Sci. Dept. and School of Engineering, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. (Processed Rpt.) *Sit. Lougheed et al.* 1978.
- Lougheed, E.C., Murr, D.P. & Berard, L. 1978: Low pressure storage for horticultural crops (Review). *Hort Science* 13(1): 21-27.
- Lyons. J.M. 1973: Chilling injury in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24: 445-466.
- Spalding, D.H. & Reeder, W.F. 1976: Low pressure (hypobaric) storage of limes. *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101(4): 367-370.
- Streif, J. & Bangerth, F. 1976: The effect of different partial pressures of oxygen and ethylene on ripening of tomato fruits. *Scientia Hort.* 5: 227-237.
- Tolle, W.E. 1969: Hypobaric storage of mature-green tomatoes. *Mktg. Res. Rep. U.S. Dept. Agric.* 842, pp. 9.
- Ward, C.M. 1975: Hypobaric storage. *Rpt. Nat. Veg. Res. Sta.* 1974, Wellesbourne, England p. 85 (*Sit. Lougheed et al.* 1978).
- Workman, M., Pratt, H.K. & Morris, L.L. 1957: Studies on the physiology of tomato fruits. I. Respiration and ripening behaviour at 20 degrees C. as related to date of harvest. *Proc. Amer. Hort. Sci.* 69: 352-365.
- Wu, M.T., Jadhav, S.J. & Salunkhe, D.K. 1972: Effects of sub-atmospheric pressure storage on ripening of tomato fruits. *J. Food Sci.* 37: 952-956.
- Wu, M.T. & Salunkhe, D.K. 1972: Fungistatic effects of sub-atmospheric pressures. *Experientia* 28: 866-867.

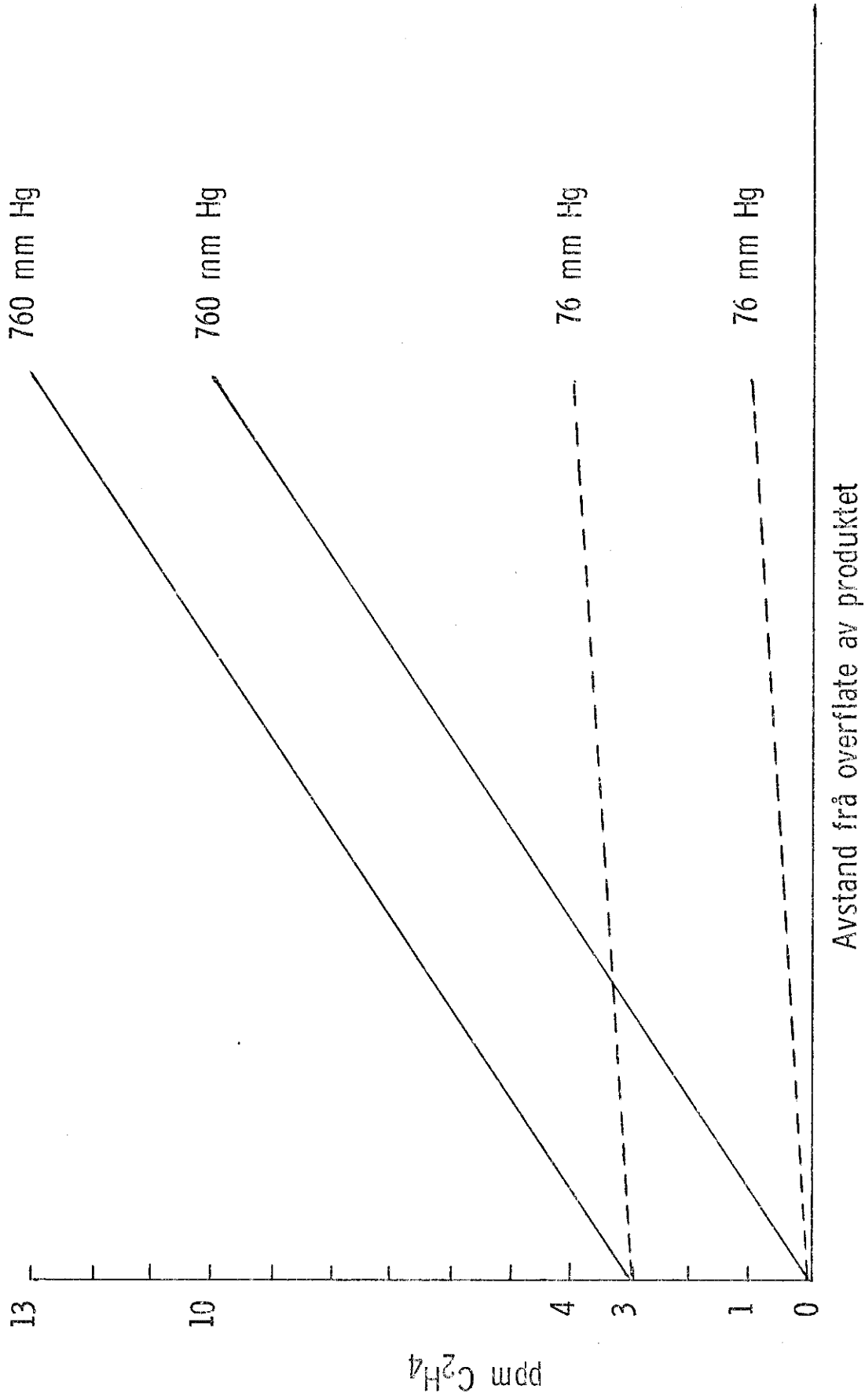
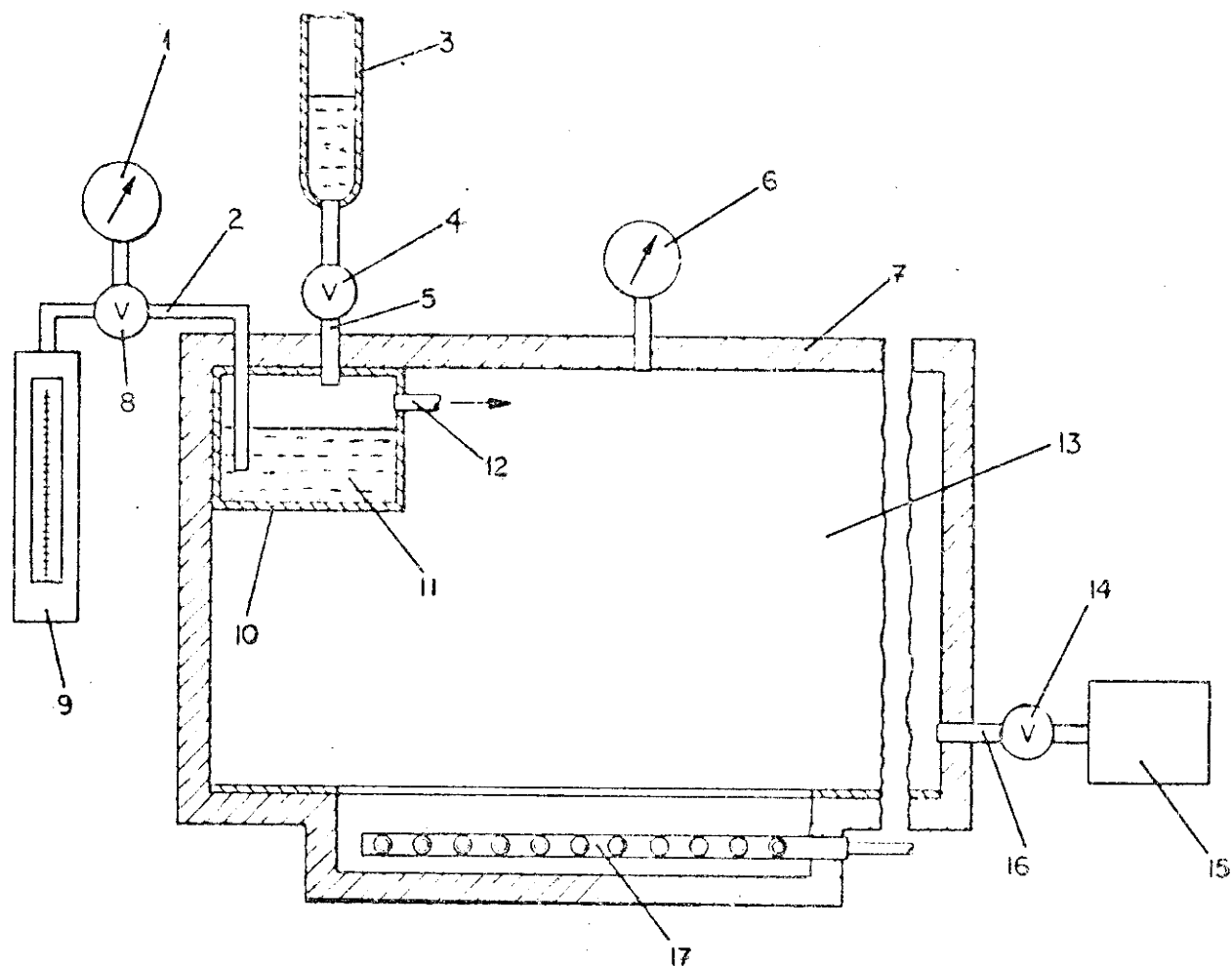


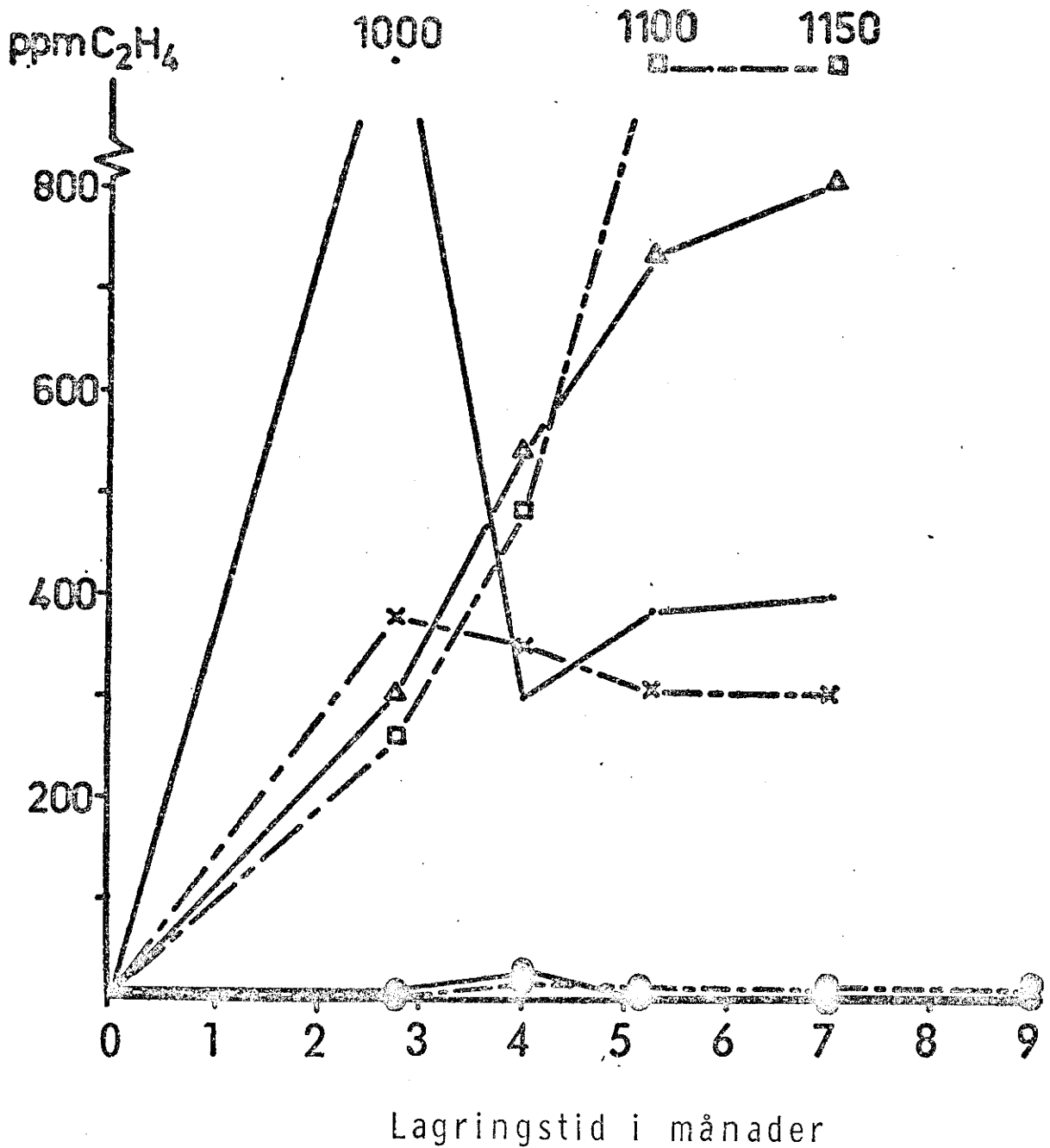
Fig. 1A. Etyleninnhald i plantevev ved 760 og 76 mm Hg når etylennivået utafor plantene er 0 eller 3 ppm.



Figur 1. Apparat for lågtrykkslagring:

- | | |
|--------------------|--|
| 1. Manometer | 10. Vasskar |
| 2. Røyrleiing | 11. Vatn |
| 3. Vassreservoar | 12. Røyr frå vasskar til lagerrom |
| 4. Ventil | 13. Lagerrom |
| 5. Røyrleiing | 14. Ventil |
| 6. Temperaturmålar | 15. Vakuumpumpe |
| 7. Isolerte vegger | 16. Røyr frå lagerrom til vakuumpumpe |
| 8. Nåleventil | 17. Røyr for kulde- eller varmetilførsel |
| 9. Flowmeter | |

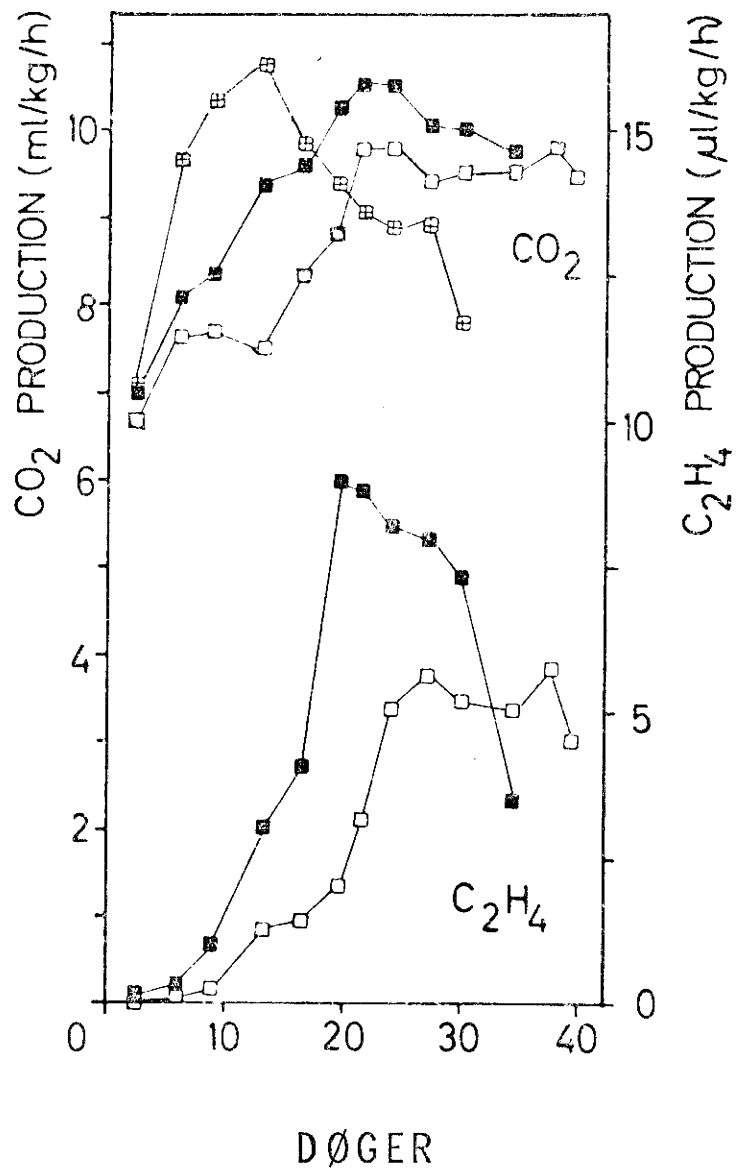
(Burg 1975)



Figur 2. Endogent etyleninnhold i 'Golden Delicious' og 'Boskoop' ved lagring i 3°C.

- 'Golden Delicious', normal atmosfære
- △— " " , C. A. 3% CO₂ + 4% O₂
- " " , 75 mm Hg
- - - x - - - 'Boskoop' , normal atmosfære
- - - □ - - - " , C. A.
- - - ⊕ - - - " , 75 mm Hg

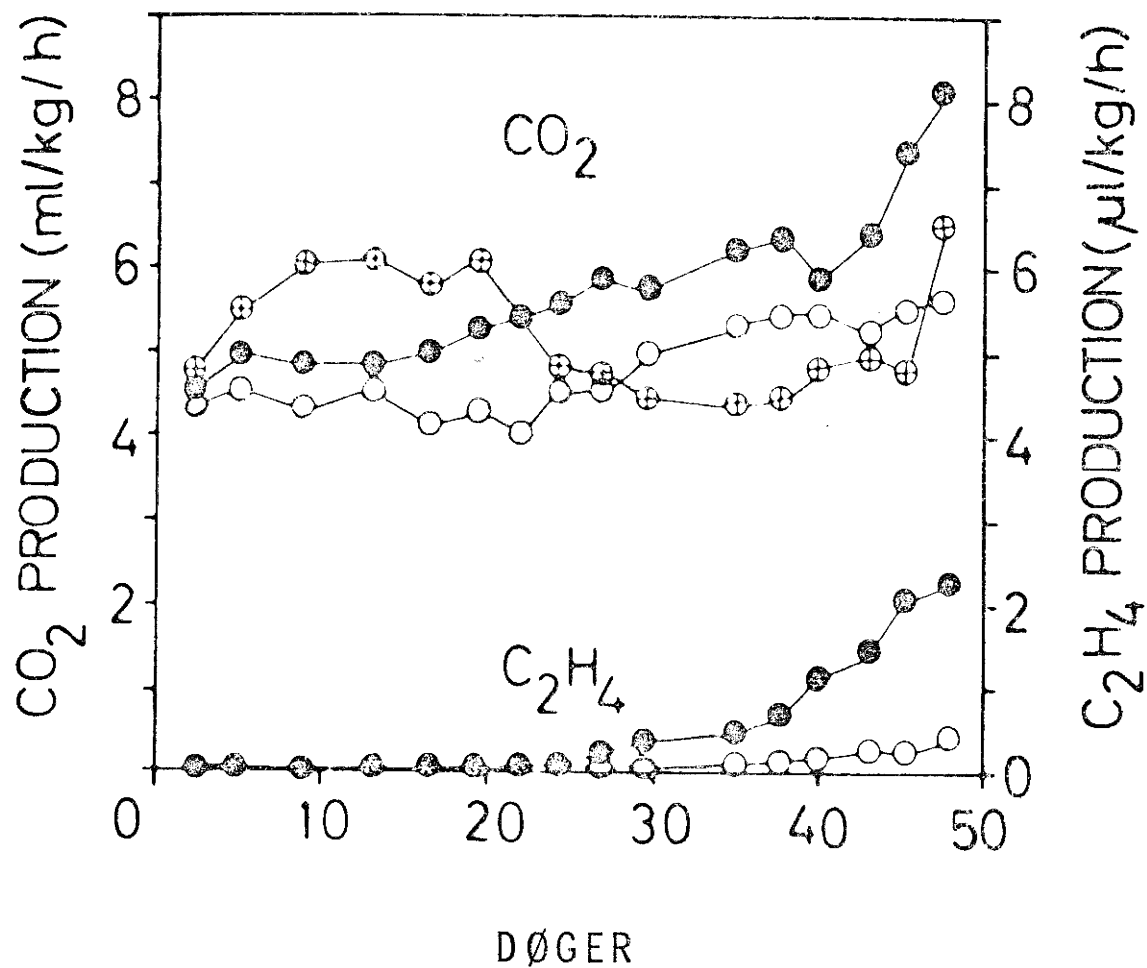
(Bangerth 1973)



Figur 3. Produksjon av CO₂ og C₂H₄ hos tomat etter ulik lagring ved 12^oC.

Trykk mm Hg			
P _T	P _{O₂}	P _{C₂H₄}	
■ — ■	760	100	-
□ — □	100	100	-
◻ — ◻	100	100	0,6

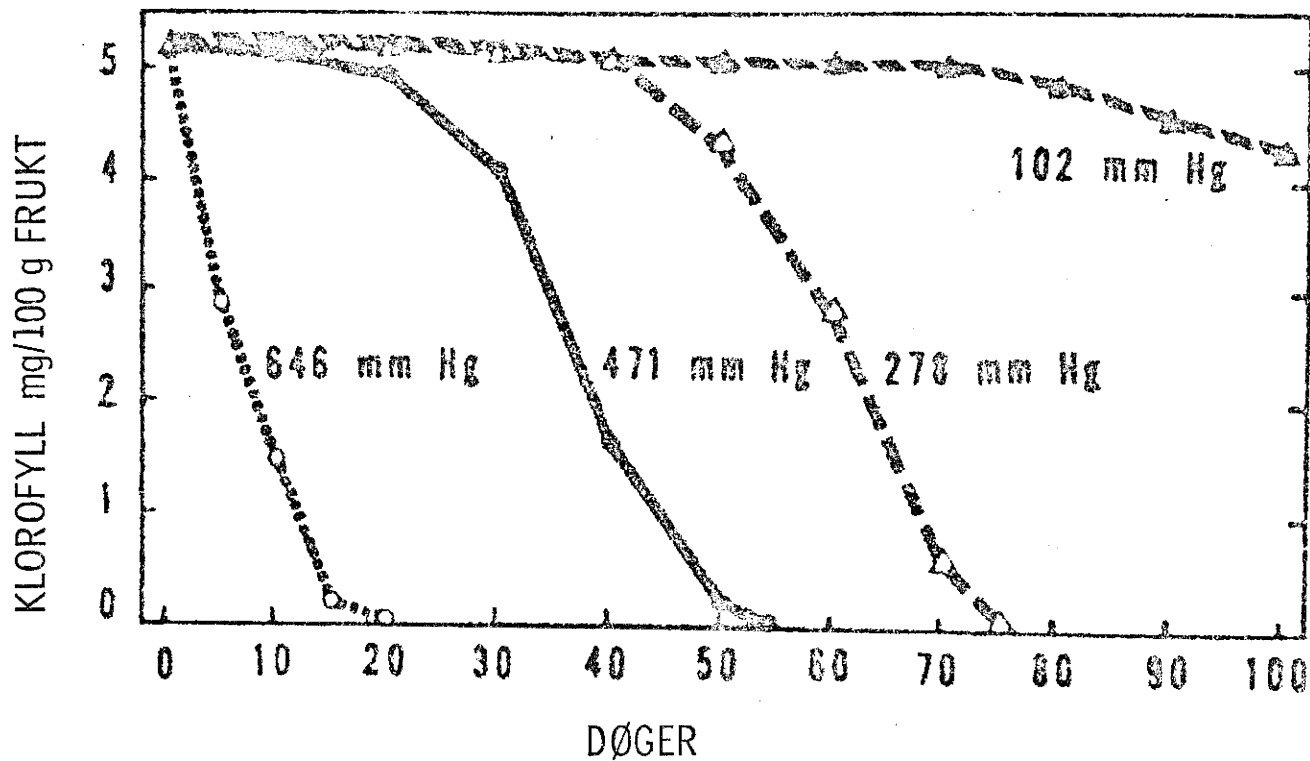
(Streif & Bangerth 1976)



Figur 4. Produksjon av CO₂ og C₂H₄ hos tomatfrukter etter ulik lagring ved 12^oC.

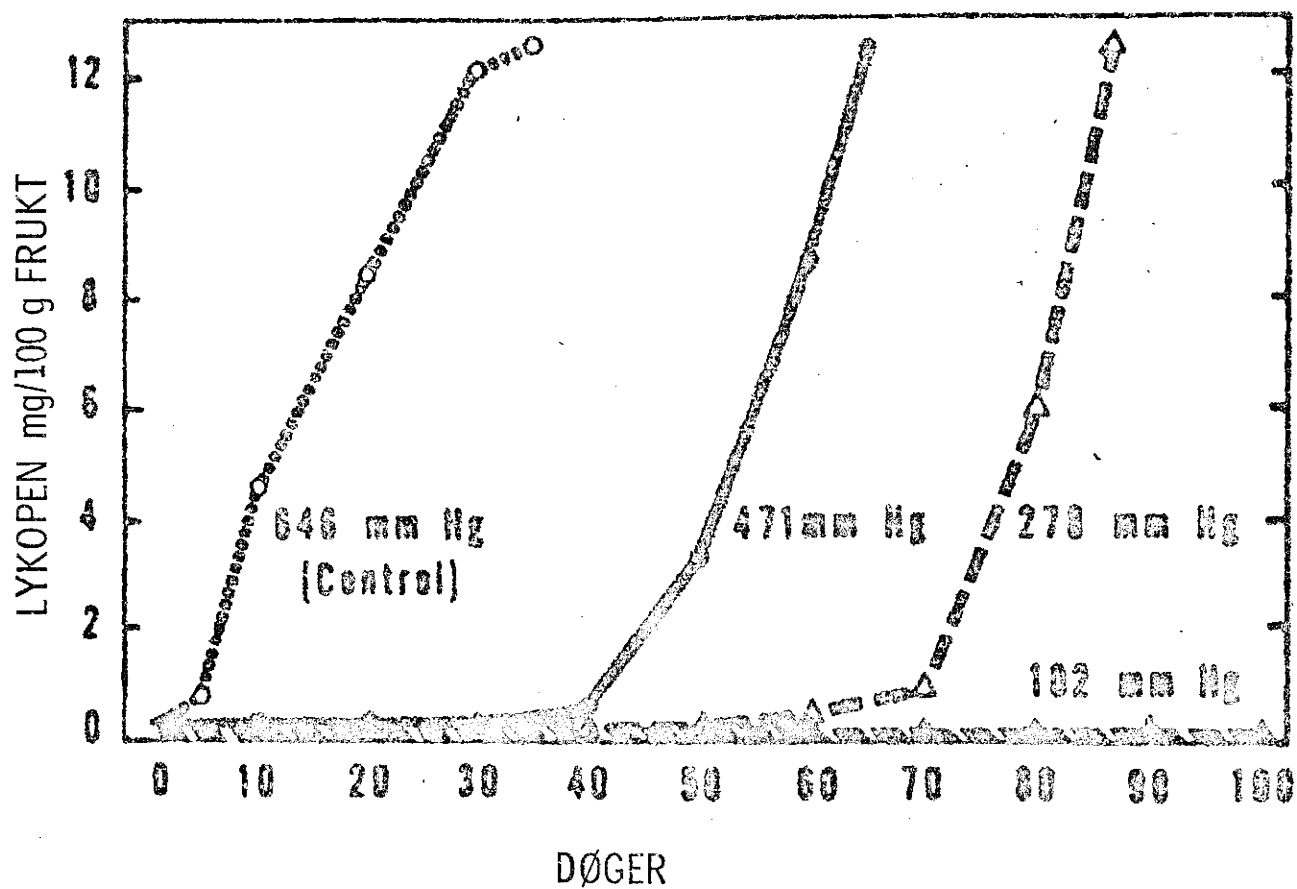
	Trykk, mm Hg		
	P _T	P _{O₂}	P _{C₂H₄}
●—●	760	20	-
○—○	100	20	-
⊕—⊕	100	20	0,6

(Streif & Bangerth 1976)



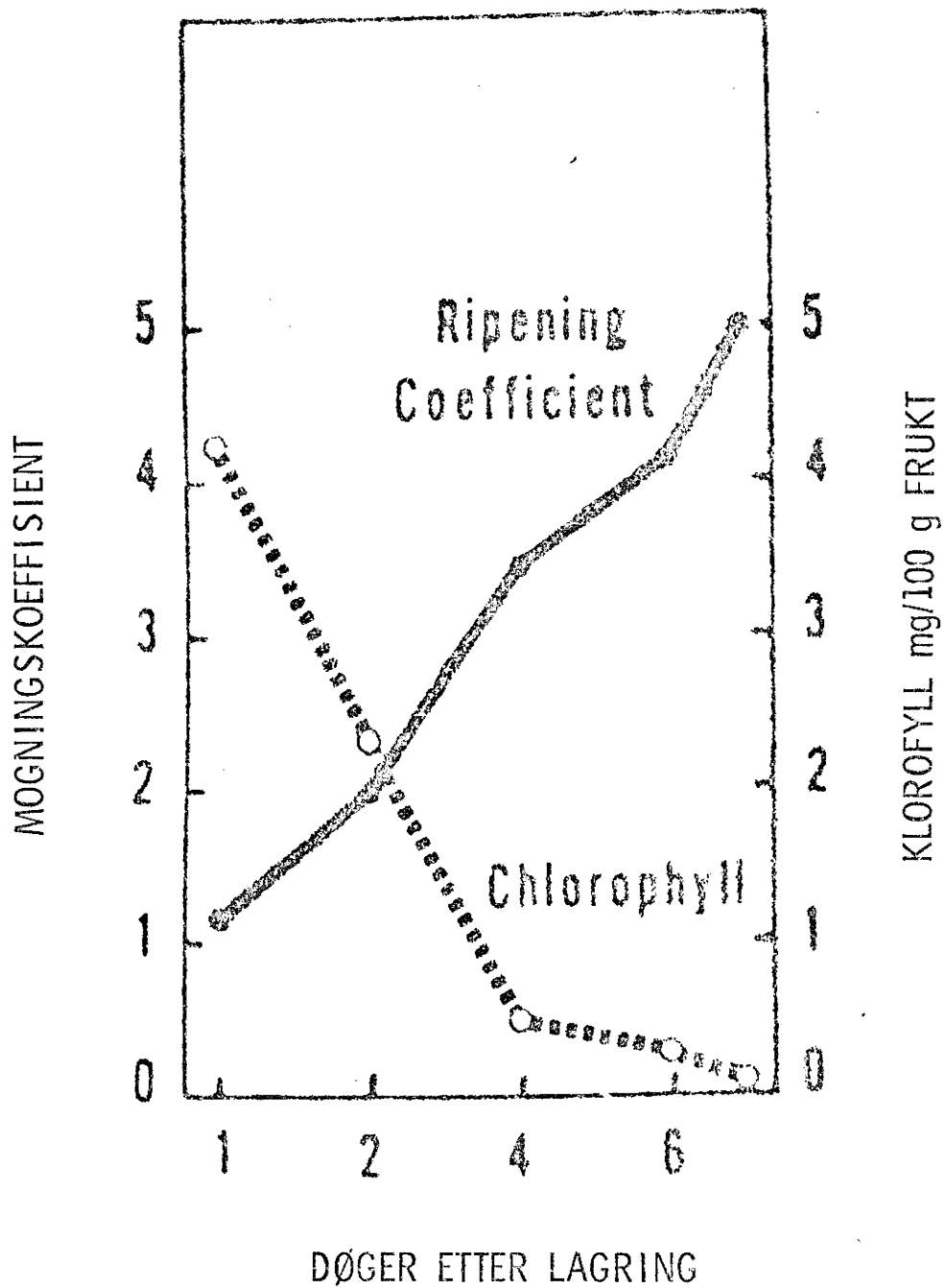
Figur 5. Verknad av lågtrykkslagring på nedbryting av klorofyll hos tomater ved 12,8°C og 90 - 95% R. H.

(Wu et al. 1972)



Figur 6. Verknad av lågtrykkslagring på danning av lykopen hos tomater ved 12,8°C og 90 - 95% R.H.

(Wu et al. 1972)

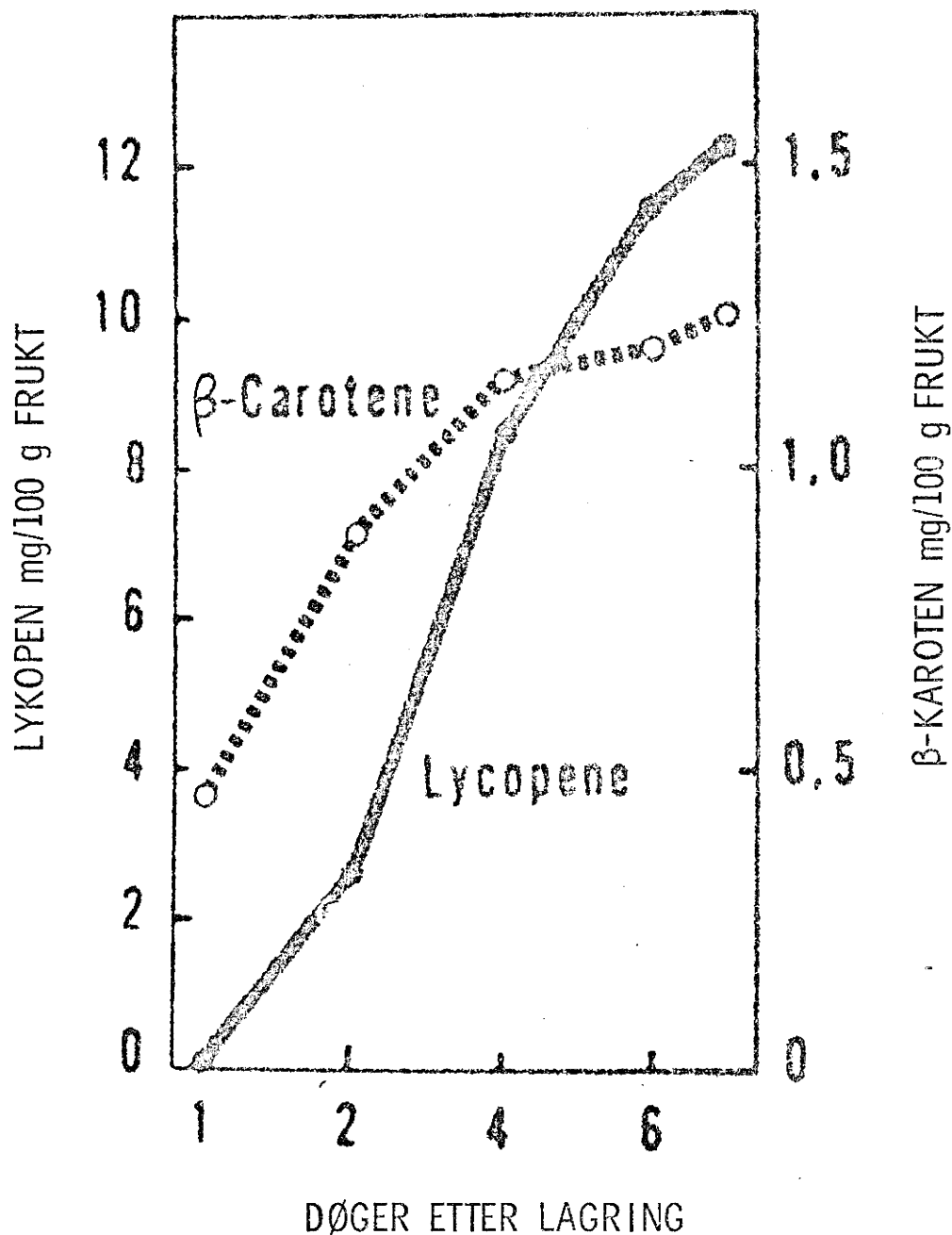


Figur 7. Mogningsutvikling og nedbryting av klorofyll hos tomat ved 646 mm Hg etter lagring ved 102 mm Hg i 100 dg. ved 12,8°C og 90 - 95% R. H.

1 = Grønmoget

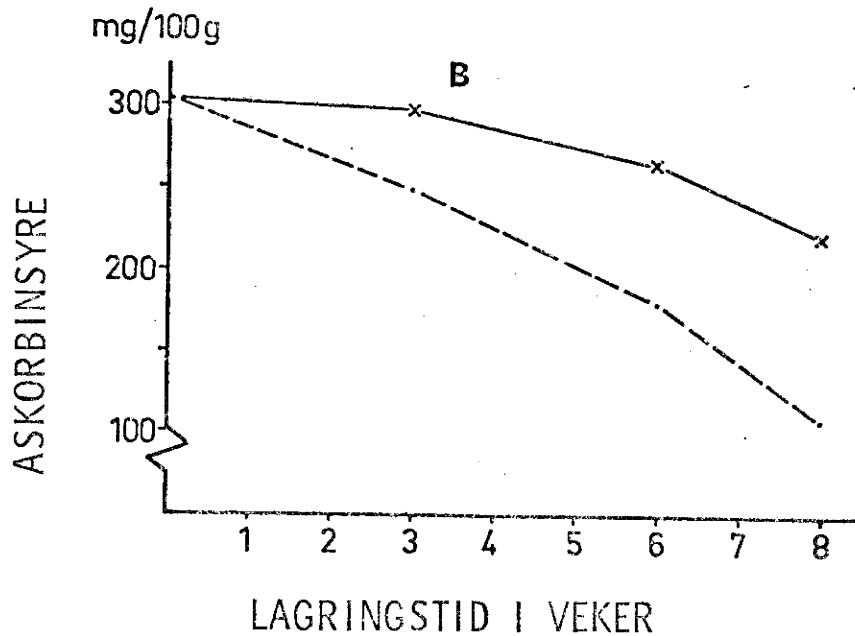
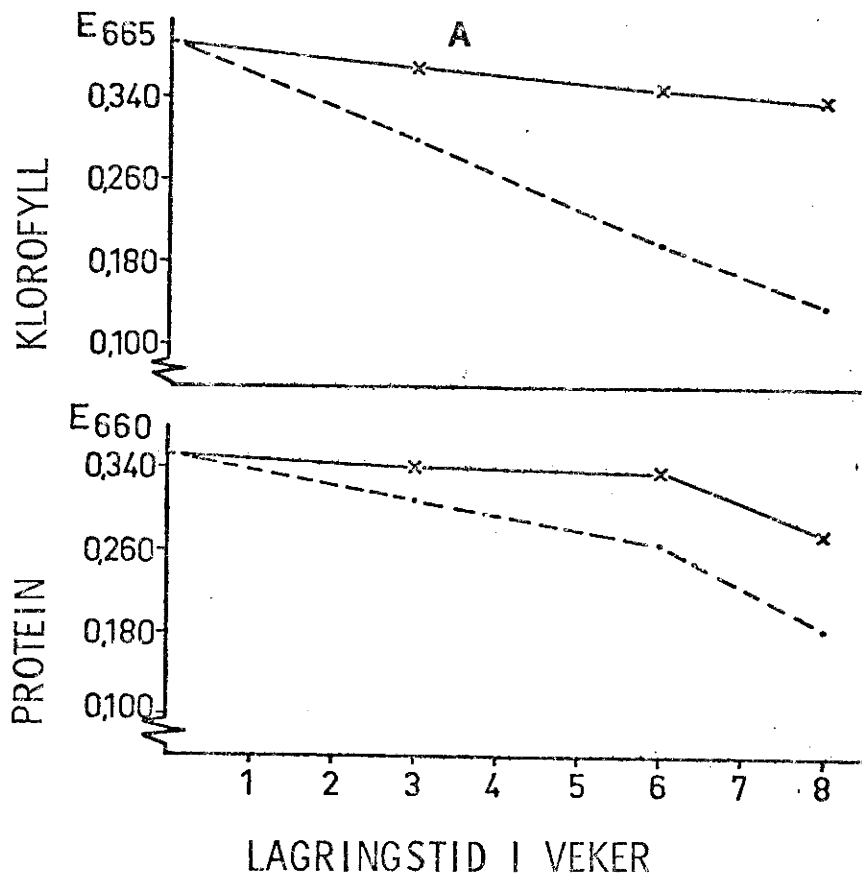
5 = Fullmoget

(Wu et al. 1972)



Figur 8. Endring i innhald av lykopen og β -karoten hos tomat ved 646 mm Hg etter lagring ved 102 mm Hg i 100 dg. ved $12,8^{\circ}\text{C}$ og 90 - 95% R. H.

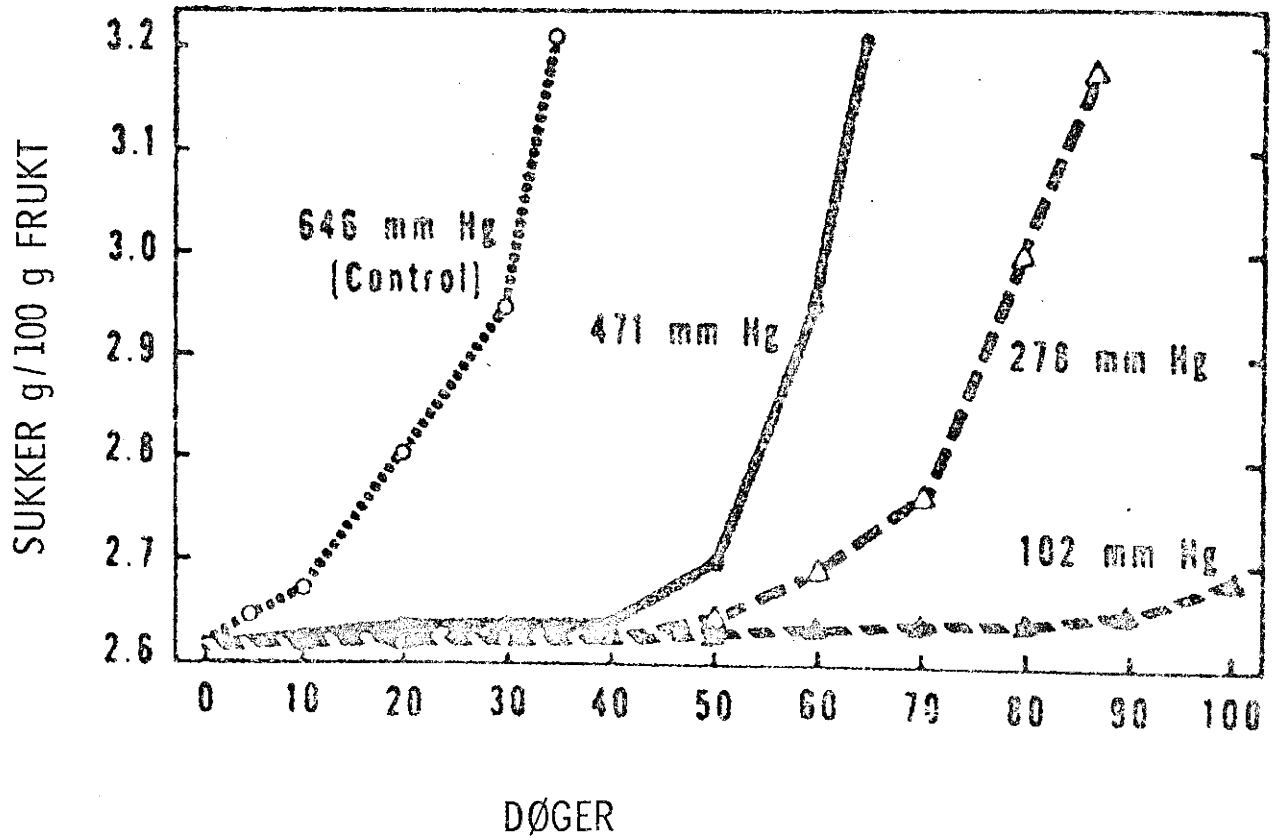
(Wu et al. 1972)



Figur 9. Verknad av lågtrykkslagring på innhald av klorofyll og protein (A) og askorbinsyre (B) hos bladpersille ved 2 - 3°C.

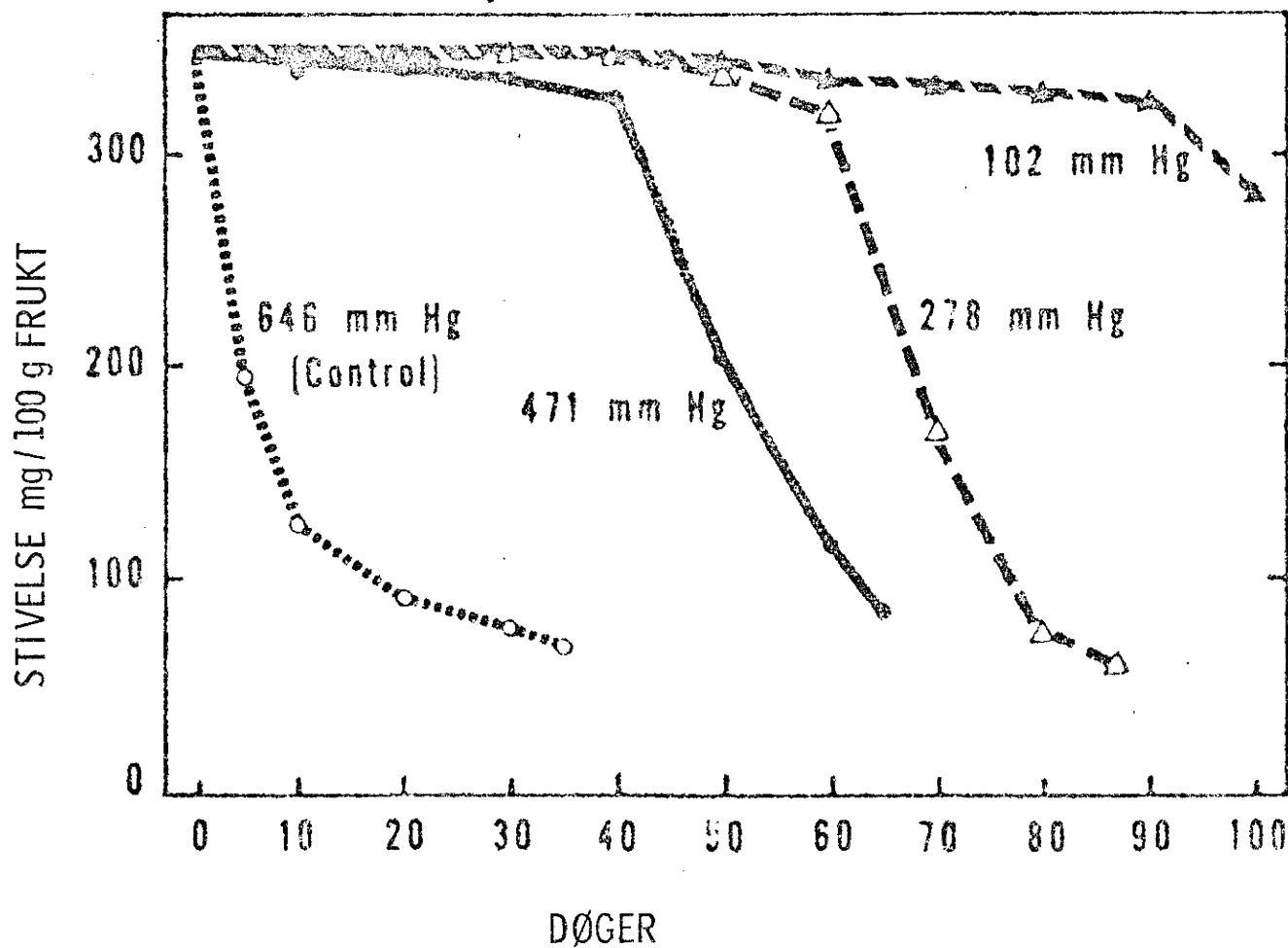
○ - - - ○ 760 mm Hg
 x - - - x 76 " "

(Bangerth 1974)



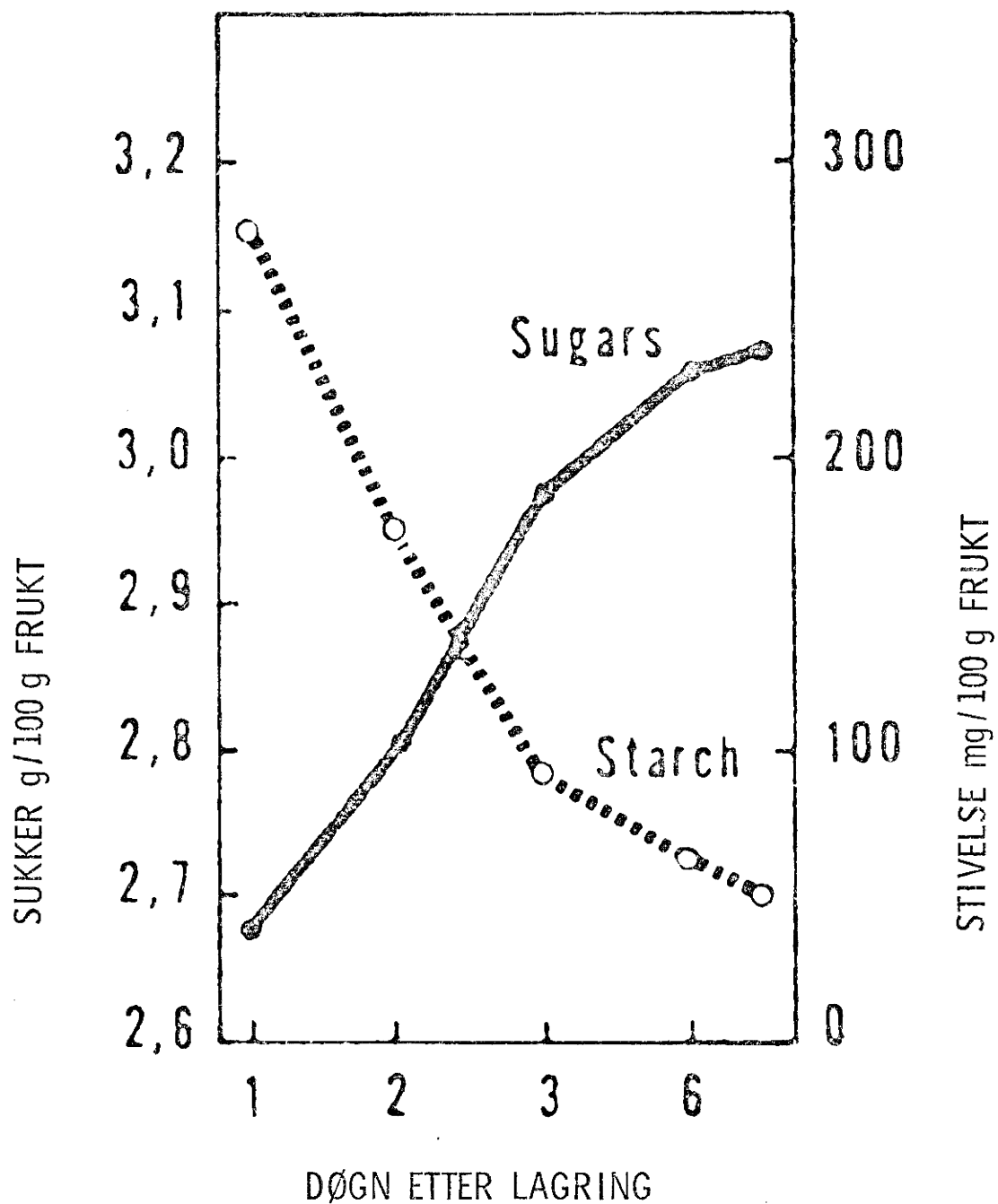
Figur 10. Verknad av lågtrykkslagring på innhald av sukker hos tomat ved 12,8°C og 90 - 95% R. H.

(Wu et al. 1972)



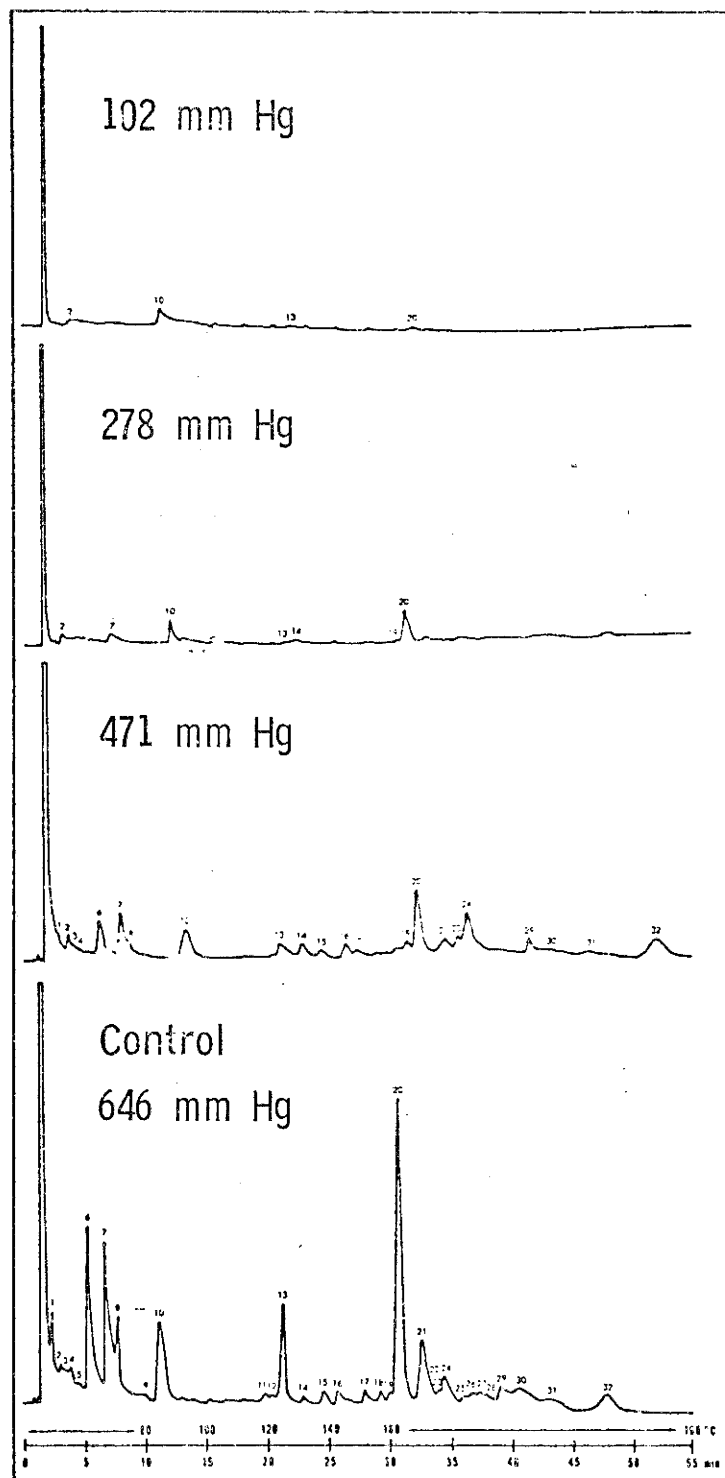
Figur 11. Verknad av lågtrykkslagring på innhald av stivelse hos tomater ved $12,8^{\circ}\text{C}$ og 90 - 95% R. H.

(Wu et al. 1972)



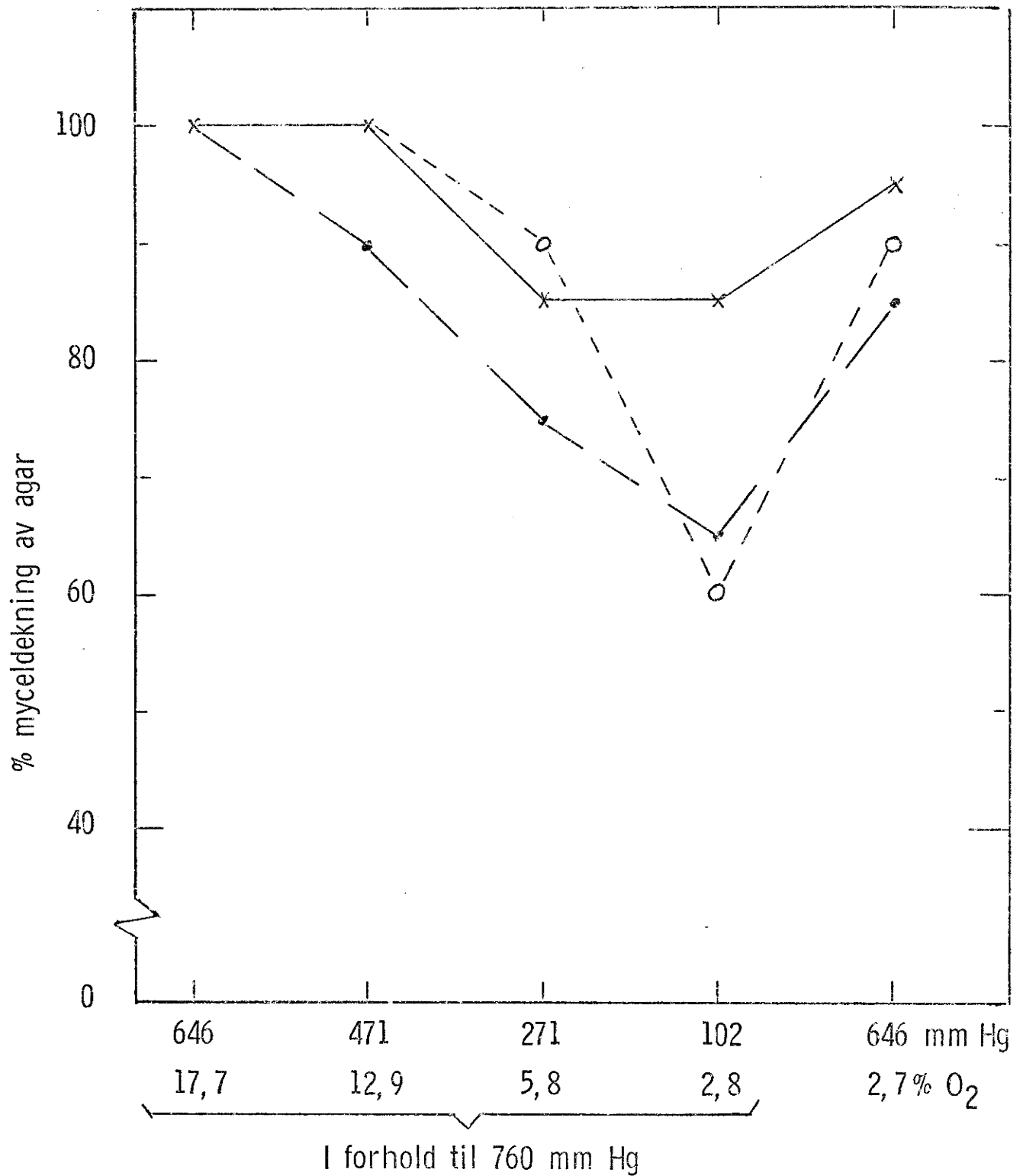
Figur 12. Endring i innhald av sukker og stivelse hos tomat ved 646 mm Hg etter lagring ved 102 mm Hg i 100 dg. ved 12,8°C og 90 - 95% R. H.

(Wu et al. 1972)



Figur 13. Gasskromatogram av flyktige stoffer frå tomater etter lagring ved ulike lufttrykk.

(Wu et al. 1972)



Figur 14. Prosent dekning av mycel på potetdekstroseagar.

- x—x *Penicillium expansum*
- o--o *Botrytis allii*
- *Aspergillus niger*

(Wu & Salunkhe 1972)

Tabell 1. Verknad av lågtrykkslagring på totalt innhald av askorbin-
syre (mg/100 g friskvekt) hos asparges.

Trykk (mm Hg)		Tilsv. vol. % O ₂ 1 atm.	Lagring ved 0°C i døger				
Totalt	P _O ₂		0	8	14	22	29
760	155	20,4	65,8	40,4	26,3	21,8	18,0
80	15,8	2,07		33,7	32,3	20,1	18,6
40	7,4	0,97		41,6	35,5	22,3	16,3
20	3,4	0,45		52,0	45,2	31,1	21,2

(Dilley 1977)

Tabell 2. Lagringstid for ulike hagebruksprodukt lagra i kjølelager eller under lågt trykk.

Produkt	Lagringstid, dg.		Kjelde
	Kjølelager	Lågt trykk	
<u>Grønsaker:</u>			
Agurk	10 - 14	41	Burg 1975
Bladpersille	35	56	Bangerth 1974
Bønner	10 - 13	30	Burg 1975
Issalat	14	40 - 50	"
Mais	4 - 8	21	"
Paprika, grønne	16 - 18	50	"
Sjampinjong	(1 - 2)	21	Dilley 1977
Tomat, grønmogne	14 - 21	60 - 100	Burg 1975
Tomat, gulraude (breaker)	10 - 12	28 - 42	"
<u>Frukt:</u>			
Eple (ulike sortar)	60 - 90	300	Burg 1975
Pære, Bartlett	45 - 60	300	"
<u>Snittblomster:</u>			
Krysanthemum	6 - 8	21 - 28	Burg 1975
Nellik	10	91	"
Roser	7 - 14	56	"
<u>Stiklingar, urota:</u>			
Krysanthemum (ulike sortar)	10 - 28	42 - 94	"
Nellik	90	300	"
<u>Stiklingar, rota:</u>			
Krysanthemum	7 - 14	90	"

Tabell 2 forts.

Positive resultat av lågtrykkslagring, men samanliknande resultat ikkje oppgitt:

Blomkål	}	Bangerth 1973 og 1974
Karse		
Knutekål		
Reddik		
Spinat		

Ingen positiv verknad av lågtrykkslagring:

Hovudsalat		Bangerth 1973
Blomkål	}	Ward 1975
Hovudsalat		
Kepalauk		
Purre		
Reddik		
Rosenkål		
Asparges		Dilley 1977, Chu et al. 1976
