

Statens Forsøgsstation ved Roskilde
(Poul Rasmussen)

Kuldioxyd- og iltkoncentrationens indvirkning på lagringstab hos bederoer og gulerødder

Effect of the carbon dioxide and oxygen concentrations on storage loss in beets and carrots

Erik Augustinussen, Inge Jørgensen og Torben Huld¹⁾

Resumé

I årene 1969-74 blev der ved statens forsøgsstation, Roskilde, udført forsøg med opbevaring af bederoer og gulerødder ved forhøjet kuldioxydkoncentration og normal eller reduceret iltkoncentration. Ved opbevaring af roer i indtil 3 måneder påvirkedes tørstoftabet kun lidt af luftsammensætningen. Ved længere tids opbevaring steg det samlede tørstoftab med stigende kuldioxydkoncentration og forstærkedes ved en samtidig reduktion af iltkoncentrationen. CO₂-koncentrationer op til 4-5 pct. og O₂-koncentrationer ned til 16-17 pct. øgede dog ikke tabet. Årsagen til de forøgede tab ved større ændringer af lagerluftens sammensætning var især forstærkede råangreb.

For gulerødders vedkommende gav opbevaring ved kuldioxydkoncentrationer over 4 pct. en ringe holdbarhed, og den salgbare del reduceredes stærkt med stigende CO₂-koncentration. Mens sukkerprocenten syntes upåvirket af luftsammensætningen, var der tendens til lavere carotinindhold ved 4 pct. kuldioxyd end ved både mindre og større koncentrationer.

Summary

In the years 1969-1974 experiments were carried out at the Government Research Station, Roskilde, on storage of fodder beets and carrots at increased CO₂-concentration and normal or reduced O₂-concentration. The experiments were carried out in airtight iron boxes having a volume of about 900 litres. Each iron box contained six samples of about 30 kg of beets or carrots. An increased CO₂-concentration and a (almost) normal O₂-concentration was reached by continuously supplying atmospheric air mixed with CO₂ from a cylinder. An increased CO₂-concentration together with a reduced O₂-concentration was reached by the respiration of the roots and by regulating with atmospheric air. In the latter case the sum of the CO₂- and O₂-concentrations remained always 21 per cent (RQ=1).

The dry matter loss of beets was changed but slightly by CO₂-concentrations under 4-5 % and by O₂-concentrations over 15-16 %. At greater deviations from the normal composition of the air the loss of dry matter rose with increasing CO₂- and decreasing O₂-concentration (table 1, fig. 1); yet the rise was not measurable until after storage for three months (table 2 and 3, fig. 2). The increased dry matter loss was due to an intensified rot attack which was also hiding a possible reduction of the respiration of the beets.

¹⁾ civ. ing., Statens Byggeforskningsinstitut.

As for the carrots storage at carbon dioxide concentrations over four per cent gave a poor keeping of the quality, and the marketable part was highly reduced with increasing CO₂-concentration. While the sugar percentage seemed to be unaffected by the air composition there was a tendency towards a lower carotene content at four per cent carbon dioxide than at both lower and higher concentrations. (Table 4, 5 and 6).

Indledning

I 1967-1970 blev der ved Statens Byggeforskningsinstitut gennemført en serie laboratorieforsøg, hvis formål var at muliggøre opstilling af retningslinier for isolering af roerum, for ventilering af roebeholdninger og for ventilationssystemer til roerum (*Huld og Augustinus-sen* 1972). En del af disse forsøg blev udført i samarbejde med statens forsøgsstation ved Roskilde, bl.a. forsøg vedrørende luftsammensætningens indflydelse på holdbarheden. På grund af tekniske vanskeligheder nåede disse forsøg ikke færdiggørelse inden rapportens publicering, hvorfor de siden 1970 opnåede resultater meddeles i nærværende beretning.

Sideløbende med roeforsøgene blev der i årene 1969-1971 og 1972-1974 gennemført forsøg med lagring af gulerødder ved forskellige luftsammensætninger. Anledningen til disse forsøgs påbegyndelse var, at der i midten af 60'erne på mange kølelagre opstod kraftige angreb af hvid lagersvamp (*Rhizoctonia carotae*), og at smittekilden viste sig at være de benyttede trækasser (951. medd. 1970). Blandt de midler, der blev taget i brug til beskyttelse af gulerødderne mod smitten, var foring af kasserne med plasticfolie; men derved nedsattes luftsiftet kraftigt, og der opstod risiko for ophobning af en skadelig koncentration af kuldioxyd. Også efter overgangen til opbevaring i containere benyttes plasticindlæg, nu for at undgå udtørring. Om de første 3 års resultater er udsendt medmeddelelse nr. 1146 (*Jørgensen* 1974).

Tidligere undersøgelser

Ved åndingen hos roer omsættes hovedsageligt sukkerarter, og i en normal atmosfære (21 pct. O₂, 0,03 pct. CO₂) er det molekulære forhold mellem udskilt kuldioxyd og optaget ilt 1:1 (den respiratoriske kvotient=1). Ved højere CO₂-

koncentrationer opløses kuldioxyd i cellesaften, og indtil en ny ligevægt har indstillet sig, vil den afgivne kuldioxydmængde tilsyneladende være mindre end den optagne iltmængde (*Stout* 1954). Den i plantesaften opløste kuldioxyd er formentlig årsag til den formindskelse af åndingen, som er påvist ved forhøjede CO₂-koncentrationer i den omgivende atmosfære (*Stout* 1954, *Bakermans* 1963). Også reduktion af iltspændingen hæmmer åndingen. *Stout* (1954) viste, at åndingen var ligefrem proportional med det partielle ilttryk ned til ca. 40 mm Hg (svarende til ca. 5 pct. ilt), mens der ved yderligere sænkning af iltspændingen begyndte at optræde anaerob ånding. Ved fuldstændig iltmangel målte *Stoklasa et al.* (1903) kun halvt så stor CO₂-produktion som under aerobe forhold.

Mens alle undersøgelser over kort tids indvirkning af forhøjede kuldioxydkoncentrationer viser formindsket ånding, hersker der større usikkerhed med hensyn til langtidsvirkningen. *Bakermans* (1963) fandt ved opbevaring ud over 1½ måned, at åndingen steg med CO₂-procenten, og *Strohmer et al.* (1903), *Stout* (1954) og *Bakermans* (1963) fandt alle, at rådgangrebene var større ved forhøjet CO₂-koncentration end ved normal luftsammensætning. Derimod har *Wu et al.* (1970) og *Karnik et al.* (1970a, 1970b) ved opbevaring af sukkerroer i indtil 200 dage dels i lukkede polyethylensække, dels i en kontrolleret atmosfære bestående af 5 pct. O₂ og 6 pct. CO₂ fundet mindre spiring, lavere ånding og højere sukkerindhold end ved opbevaring i almindelig atmosfærisk luft. Svampebestanden var af nær samme størrelse ved de to opbevaringsformer.

Ved lagring af gulerødder er åndingsintensiteten størst i de første dage efter indsætningen på lager, og den vil i løbet af lagringsperioden

falde meget stærkt. *Weichmann* (1970) fandt således, at mens CO_2 -produktionen de første 14 dage efter indlagring i gennemsnit var 5,25 mg pr. 10 kg pr. time, var den efter 60 dages opbevaring 0,43 mg pr. 10 kg pr. time. Ved undersøgelser af 2 sorter var åndingsintensiteten størst i den med de mindste gulerødder (*Weichmann* 1970).

Forsøg med opbevaring af uvaskede gulerødder ved $+2^\circ$ over en længere periode (ca. 60 dage) ved forskellige CO_2 -koncentrationer og konstant iltpænding viste, at rådtabet var mindre ved 4 end ved 0 pct. CO_2 , mens der ved højere koncentrationer var en stærk stigning af rådtabet. Ved 19 pct. CO_2 var der 100 pct. rådne rødder (*Weichmann* 1970). Vægttabet var ligeledes mindst ved 4 pct. CO_2 og steg stærkt ved CO_2 -koncentrationer over 9 pct. Carotinindholdet faldt med stigende CO_2 -koncentration op til 9 pct. for derefter at stige igen ved 14 pct. CO_2 . Spiringsforløbet blev undersøgt ved $+22^\circ$; det viste aftagende spiring ved stigende CO_2 -koncentration, og spiringen var helt ophørt ved 14 pct. CO_2 .

Senere forsøg med opbevaring ved CO_2 -koncentrationer fra 0 til 7,5 pct. blev gennemført i 2 sorter: Nantes Frühbund, en sommergulerod, opbevaret i 70-100 dage, samt »Lange Rote Stumpfe ohne Herz«, en vintergulerod, opbevaret i 150 dage. Rådtabet efter opbevaring steg i Nantes sorten med stigende CO_2 -koncentration, mens der i LRSt. var det største rådtab ved 7,5 pct. CO_2 , mindre ved 0 og 2,5 pct. og mindst ved 5 pct. CO_2 ; dog var der i denne sort ikke sikker forskel mellem ledene. Tørstof og carotinindhold var uden sikker påvirkning af CO_2 -koncentrationen. Indholdet af monosaccharider faldt, mens indholdet af disaccharider var stigende ved stigende CO_2 -koncentration (*Weichmann* 1972).

Andre undersøgelser viser ligeledes, at en CO_2 -koncentration på over 5 pct. virker skadelig på gulerøddernes holdbarhed (*Berg og Lentz* 1966). En reduktion af iltindholdet til 5 pct. resulterer i en lavere åndingsintensitet, mens en yderligere reduktion til 2,5 pct. ikke reducerer åndingen yderligere, men tværtimod over en

længere periode kan give en forøget ånding (anaerob). Ved 0° har iltkoncentrationen mindre indflydelse på åndingsintensiteten end ved $10-12^\circ$. En reduktion af iltkoncentrationen til 10,5 pct. har ikke påvirket rådtabet, hvorimod en yderligere reduktion til 5 og 2,5 pct. har forøget tabet to til tre gange (*Apeland og Hoftun* 1970). Forfatterne konkluderer, at en stærkere beskadigelse af store end af små rødder og forskelle mellem stammer skyldes overflade/vægtforholdet. I samme undersøgelse er fundet større spiring ved 10 pct. O_2 , samme spiring ved 5 pct. O_2 og en stærkt reduceret spiring ved 2,5 pct. O_2 , sammenlignet med spiringen ved opbevaring i almindelig atmosfærisk luft.

Forsøgenes udførelse

Med henblik på at undersøge indvirkningen af såvel kuldioxyd som ilt udførtes nogle af forsøgene i 2 afdelinger. I den ene afdeling blev den ønskede kuldioxydkoncentration opretholdt ved kontinuerlig tilførsel af en blanding af kuldioxyd og atmosfærisk luft, hvorved iltkoncentrationen selv ved et højt kuldioxydindhold kunne holdes nær det normale. I den anden afdeling ændredes atmosfærens sammensætning udelukkende gennem plantedelens ånding, hvorved der samtidig med en stigning i CO_2 -indholdet skete en nedgang i O_2 -indholdet. Målinger viste, at summen af koncentrationerne af CO_2 og O_2 altid var 21 pct., altså af samme størrelse som luftens normale iltindhold. Efter at de ønskede koncentrationer var nået, fastholdtes niveauet ved tilførsel af atmosfærisk luft. I denne afdeling varede det sædvanligvis $\frac{1}{2}$ -1 $\frac{1}{2}$ måned, før de endelige koncentrationer var nået.

I boxe, hvor CO_2 -indholdet efter forsøgsplanerne skulle være det for atmosfærisk luft normale, nemlig 0,03 pct., var det for at undgå for stærk ventilation nødvendigt at acceptere et indhold på 0,1-0,5 pct. Forsøgsled med dette indhold er i tekst og tabeller betegnet 0 pct. CO_2 .

For at gøre det muligt at opretholde de forskellige luftsammensætninger blev forsøgene udført i lufttætte boxe (14 ialt), fremstillet af

1 mm galvaniseret jernplade. Hver box havde et rumfang på ca. 900 l og kunne rumme 6 trækasser à 25-30 kg roer eller gulerødder. I hver box var anbragt en ventilator, hvormed luften kunne blandes. Boxene var placeret i et almindeligt kølerum med fordamper og kraftig ventilator. Måling af CO₂-koncentrationen i boxene foretoges ved hjælp af en infrarød-analysator, URAS 2. Fra boxe med kontinuerlig luft- og CO₂-tilførsel ledtes luft til måleinstrumentet gennem en automatisk kanalomskifter, hvorved CO₂-indholdet i den enkelte box måltes hver 6. minut. I to af boxene reguleredes CO₂-tilsætningen automatisk gennem magnetventiler, der styredes af en kontrolenhed forbundet med analysatoren. I de øvrige boxe med CO₂-tilsætning reguleredes denne manuelt.

Da analysatoren kun var beregnet til måling af CO₂-koncentrationer op til 10 pct., foretoges måling af højere procenter med et Orsat-apparat. Med dette foretoges endvidere alle iltmålinger.

Som tidligere beskrevet (*Huld og Augustinussen* 1972) opstod der i de første forsøg problemer med udtørring af roerne, fordi fugtigheden i luften kondenserede på indersiden af boxvæggene og samlede sig i bunden. I de følgende år søgtes udtørringen reduceret ved sparsom brug af ventilatorerne og i forsøgene 1972-74 ved at fore trækasserne med plasticfolie, der dog ikke lukkedes foroven.

I alle roeforsøg anvendtes fodersukkerroe, Korsroe Pajbjerg. Roerne blev taget op og aftopet med hånd og iøvrigt behandlet så skånsomt som muligt. Forud for afvejning blev de vasket eller skrabet let. Temperaturen under opbevaringen var 5°C, i 1973-74 dog 8°C. Efter opbevaring blev roernes sundhedstilstand og tørstoftab beregnet som i tidligere forsøg (*Augustinussen* 1967).

I forsøgene 1972-74 er tørstoftabet ved spiring beregnet som spiretørstof i pct. af totaltørstof ved indlagring. I de øvrige år indgår tabet ved spiring i åndingstabet.

I 1972-74 udførtes en del af gulerødsforsøgene i plasticbeholdere med et rumindhold på ca. 54 l. Selv om spandene kun fyldtes halvt op

med gulerødder, måtte CO₂-koncentrationen justeres dagligt på grund af det ringe rumfang.

Forsøgene med gulerødder udførtes med sorten Nantes 405, dyrket på Lammefjorden på dyb dyndjord i en så ensartet kvalitet som muligt. Optagning skete i perioden 1.-10. november, i 1969, 1972 og 1973 med hånd, i 1970 med maskine. Temperaturen under opbevaringen var 1,0-1,5°C. Ved udtagning blev gulerødderne sorteret i friske og frasorterede (alle med rådgreb uanset dets størrelse og udbredelse). På frasorterede blev råddet skåret fra og rådprocenten beregnet.

Forsøg med bederoer

I 1970-72 udførtes to forsøg med 7 forskellige luftsammensætninger som opbevaringsmedium for roer. Resultaterne fremgår af tabel 1. De tre første forsøgsled havde stigende CO₂-koncentrationer uden væsentlig reduktion af O₂-koncentrationen, medens iltindholdet i de fire sidste forsøgsled var faldende med stigende kuldioxydindhold.

Det ses, at det procentiske antal spirede roer og spirelængden var nogenlunde ens ved 0 og 4 pct. CO₂, medens spiringen aftog med stigende kuldioxydindhold udover 4 pct. Ved 10 pct. CO₂ (led 3 og 6) var spiringen mindst ved den laveste O₂-procent (led 6). Roernes sundhedstilstand var bedst ved 0 og 4 pct. CO₂, medens den aftog stærkt med stigende CO₂-koncentration.

Åndingstabet steg i 1971-72 relativt stærkt med stigende CO₂-koncentration, medens det i 1970-71 var forholdsvis konstant. Rådtabet steg begge år kraftigt med stigende kuldioxydindhold, dog gav 4 pct. CO₂ nær samme tab som 0 pct. Af de to forsøgsled med 10 pct. CO₂ gav led 6 med 11 pct. O₂ et tydeligt højere rådtab end led 3 med 19 pct. O₂. At de totale tørstoftab var betydeligt højere i 1970-71 end i 1971-72 kan udover en længere opbevaringsperiode hænge sammen med en kraftigere udtørring og et meget større Na/K-forhold, hvilket ifølge *Bakermans* (1962) nedsætter holdbarheden.

Tabel 1. 2 forsøg med opbevaring af bederoer ved forskellige CO₂- og O₂-koncentrationer i kølerum ved 5° C. Opbevaringsperiode 1970-71: 210 døgn, 1971-72:175 døgn

Table 1. Two trials on storage of beets at various CO₂- and O₂-concentrations in cold store at 5° C. Storage period 1970-71: 210 days, 1971-72: 175 days

Forsøgsled	1	2	3	4	5	6	7
CO ₂ , pct.	0	4	10	4	7	10	15
O ₂ , pct.	21	20	19	17	14	11	6
Spirede roer, pct. Sprouted beets, %							
1970-71	61	62	30	54	48	9	0
1971-72	78	87	66	92	78	60	21
Gns. spirelængde, cm Avr. sprout length, cm							
1970-71	5,2	5,4	3,0	5,4	4,1	2,0	-
1971-72	3,5	6,5	2,7	6,5	2,8	1,0	1,0
Sunde roer, pct. Healthy beets, %							
1970-71	43	29	3	23	18	5	2
1971-72	77	74	62	83	68	66	34
Fordampningstab, pct. Evaporation loss, %							
1970-71	5,4	5,3	7,2	7,3	7,2	9,2	7,9
1971-72	3,4	3,9	3,1	4,2	3,3	3,1	4,3
Åndingstab, pct. Respiration loss, %							
1970-71	12,3	11,0	11,0	11,7	13,6	13,6	15,2
1971-72	1,9	2,8	4,0	1,6	3,6	4,3	5,3
Rådtab, pct. Loss by rot, %							
1970-71	7,2	8,0	21,1	7,8	14,5	29,4	28,5
1971-72	1,6	2,7	2,4	1,7	2,3	3,4	5,7
Tørstoftab ialt, pct. Total dry matter loss, %							
1970-71	19,5	19,0	32,1	19,5	28,1	43,0	43,7
1971-72	3,5	5,5	6,4	3,3	5,0	7,7	11,0

Tabel 2. Bederoer opbevaret ved forskellige CO₂- og O₂-koncentrationer i kølerum ved ca. 5° C. 1972-73

Table 2. Beets stored at various CO₂- and O₂-concentrations in cold store at about 5° C. 1972-73

Antal døgn <i>No.</i> <i>of</i> <i>days</i>	Tilstræbt <i>Aimed</i> CO ₂ O ₂ % %		Spirede roer <i>Sprouted</i> <i>beets</i> %	Spire- længde <i>Length</i> <i>of</i> <i>sprout</i> cm	Sundhedstilstand, %			Fordamp.	Tørstoftab, %			Ialt
					sun- de <i>Health</i>	plet- rådne <i>Part-</i>	o. ¾ rådne <i>Over</i> <i>¾</i> <i>rotten</i> <i>rotten</i>	tab % <i>Evapo- ration</i> loss %	ånding spirer <i>Dry matter</i>	råd råd <i>loss, %</i>		
104	0	21	62	4,0	64	36	0	3,0	3,1	0,2	0,8	4,1
—	15	6	21	0,8	30	70	0	2,8	2,9	0,0	0,3	3,2
139	0	21	72	4,3	63	37	0	3,5	6,2	0,2	1,4	7,8
—	15	6	18	1,0	29	71	0	3,2	6,4	0,0	3,0	9,4
181	0	21	74	4,3	62	37	1	4,9	7,1	0,3	2,6	10,0
—	15	6	20	1,0	3	97	0	6,2	11,3	0,0	5,9	17,2
224	0	21	67	4,3	42	56	2	4,6	10,3	0,3	6,4	17,0
—	15	6	31	1,7	16	83	1	4,5	10,9	0,0	9,7	20,6

I 1972-74 undersøgtes forløbet af roeopbevaring i en gennem ånding opbygget atmosfære af 15 pct. CO₂ og 6 pct. O₂. Til sammenligning opbevarede roer i en normal atmosfære. Begge år foretoges 4 udtagninger med ca. 40 dages mellemrum. I 1973-74 var forsøget ved første og sidste udtagning udvidet med flere mellemliggende koncentrationer.

Resultaterne af forsøget i 1972-73 fremgår af tabel 2. I forsøgsleddene med 15 pct. CO₂ nåedes slutkoncentrationen efter 1-1½ måneds forløb undtagen ved den længste opbevaringsperiode, hvor det på grund af vanskeligheder med at lokalisere en utæthed i boxen varede næsten 3 måneder, før det ønskede niveau var nået. De målte tab i dette forsøgsled (nederste linie i tabel 2) er sikkert mindre, end de ville have været ved en hurtigere stigning til slutkoncentrationen.

Generelt var spiringen ringe ved 15 pct. CO₂, og tørstoffet i spirene udgjorde ved alle

4 udtagningstider under 0,05 pct. af det indlagrede tørstof. Åndingstabene ved de to luftsammensætninger var stort set ens ved alle udtagninger undtagen den tredje, hvor et større vandtab ved 15 pct. CO₂ muligvis har øget åndingen. Sundhedstilstanden var ved alle udtagninger bedst hos de roer, der var opbevaret ved normal luftsammensætning, og forskellen mellem rådtabene ved de to opbevaringsmåder voksede med tiden. Den lille forskel mellem de totale tørstofftab ved første udtagning til fordel for den ændrede atmosfære (15 pct. CO₂, 6 pct. O₂) var ikke signifikant, og ved de øvrige udtagningstider gav denne luftsammensætning tydeligt de største tab.

Resultaterne af forsøget i 1973-74 (tabel 3) udviser nogenlunde samme tendens som i de foregående år, nemlig svagere spiring jo højere CO₂- og jo lavere O₂-procent, og lidt større ånding og noget større råd ved de høje CO₂-procenter end ved normal luftsammensætning.

Tabel 3. Bederøer opbevaret ved forskellige CO₂- og O₂-koncentrationer i kølerum ved ca. 8° C. 1973-74

Table 3. Beets stored at various CO₂- and O₂-concentrations in cold store at about 8° C. 1973-74

Antal døgn No. of days	Tilstræbt Aimed CO ₂ O ₂ % %		Spirede roer Sprouted beets %	Spire- længde Length of sprout cm	Sundhedstilstand, %			Fordamp. tab % Evapo- ration loss %	Tørstoffab, %			ialt
					de rådne Health condition, % Part- Over ly rotten rotten	o. ¾ rådne ¾ Over rotten	ånding spirer Dry matter loss, % Respi- ration Sprouts Rot		råd To- tal			
94	0	21	96	5,7	100	0	0	1,1	4,6	0,8	0,0	5,4
—	4	17	93	6,0	97	3	0	1,7	5,3	0,9	0,0	6,2
—	7	14	93	4,8	96	4	0	1,0	5,2	0,9	0,1	6,2
—	10	11	91	4,0	99	1	0	1,2	6,1	0,8	0,0	6,9
—	15	6	67	1,0	90	9	1	0,9	6,4	0,2	0,9	7,5
136	0	21	94	5,8	98	2	0	1,4	4,6	0,8	0,1	5,5
—	15	6	79	2,8	84	16	0	0,5	7,6	0,3	0,7	8,6
171	0	21	97	5,0	88	12	0	2,2	7,8	0,8	0,2	8,8
—	15	6	91	3,8	59	40	1	1,8	9,6	0,3	2,4	12,3
208	0	21	93	6,0	96	4	0	2,3	9,9	0,6	0,3	10,8
—	4	17	99	6,0	95	4	1	2,5	8,0	1,0	0,8	9,8
—	7	14	91	5,5	68	26	6	0,0	8,5	0,8	7,8	17,1
—	10	11	93	5,3	69	26	5	2,4	10,5	0,8	5,8	17,1
—	15	6	91	3,8	28	63	9	2,5	14,5	0,3	17,5	32,3

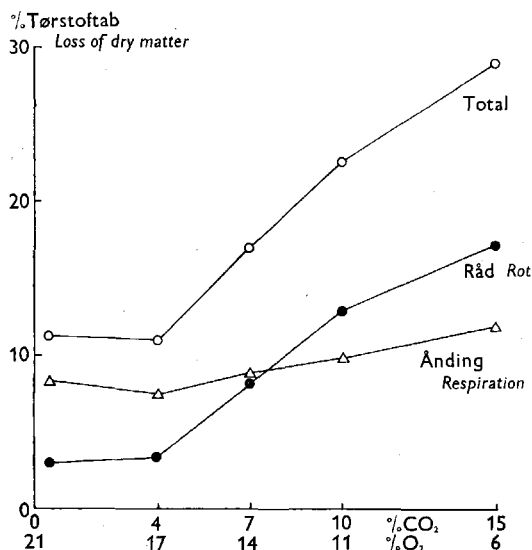


Fig. 1. Tørstofstab ved stigende CO₂- og faldende O₂-koncentration. Gns. af 3 forsøg, 1970-72 og 1973-74. Gns. opbevaringsperiode 198 døgn.

Fig. 1. Dry matter loss at increasing CO₂- and decreasing O₂-concentration. Mean of three trials, 1970-72 and 1973-74. Aver. storage period 198 days.

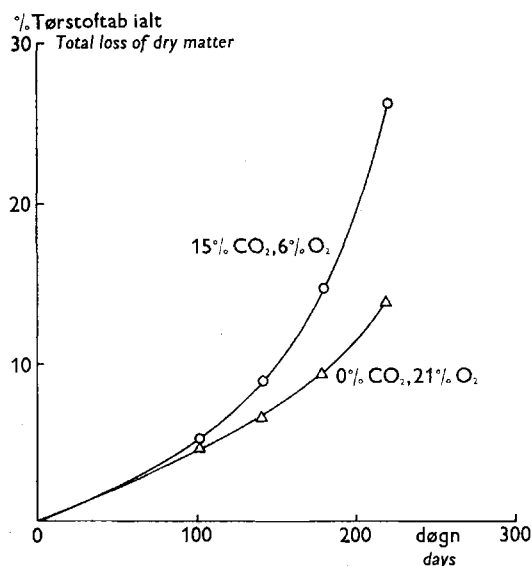


Fig. 2. Luftsammensætningens indflydelse på tørstof-tabet som funktion af tiden. Gns. af 2 forsøg, 1972-74.

Fig. 2. Influence of composition of air on dry matter loss as a funktion of time. Mean of two trials, 1972-74.

I figurerne 1 og 2 er de gennemsnitlige tørstofstab i de ovennævnte forsøg gengivet grafisk. Figur 1 viser tørstof-tabene hos roer opbevaret i 6-7 måneder i forskellige luftblandinger, som er opnået gennem roernes ånding og fastholdt ved tilledning af almindelig luft. Det fremgår af kurverne, at forøgelsen af tørstof-tabene ved de højere CO₂-koncentrationer især skyldes kraftigere rådgang. Det har ikke været muligt at påvise en eventuel CO₂-induceret reduktion i roernes ånding, fordi denne, målt i tab af tørstof, ikke har kunnet skelnes fra rådsvampenes ånding. I figur 2 er vist det akkumulerede tørstof-tabets afhængighed af tiden ved 0 og 15 pct. CO₂. I de første 3 måneder er tabene næsten ens, derefter vokser tabet hurtigere ved 15 pct. end ved 0 pct.

Den af Stoklasa et al. (1903) og Stout (1954) påviste hæmning af åndingen ved forøgelse af CO₂-indholdet i lagerluften har ikke i disse forsøg kunnet udnyttes til reduktion af tørstof-tabet på grund af en samtidig forøgelse af rådtabet. Bakermans (1963) nåede samme resultat i sine forsøg. Derimod fandt Huld og Augustinussen (1972) i et forsøg, der løb fra marts til juli 1969, et mindre tørstofstab ved 4 og 8 pct. CO₂ end ved normal luftsammensætning. I dette forsøg var rådtabet lille, hvilket sikkert skyldes, at de til forsøget udvalgte, sunde roer har haft større holdbarhed end gennemsnittet. Også de af Karnik et al. (1970 a og b) benyttede sukkerroer har sandsynligvis haft større modstandskraft mod råd end foderroer.

Ved opbevaring af bederoer med normalt jordvedhæng og uden bladrester i ventilerede kuler eller roerum vil man næppe nå op på skadelige CO₂-koncentrationer. Christensen (1916) fandt ved målinger i jorddækkede kuler højst 0,5 pct. CO₂ og i roerum højst 1,65 pct. Derimod kan det ikke udelukkes, at en skadelig CO₂-koncentration vil kunne oparbejdes i roebeholdninger, hvor ventilation forhindres af jord og toprester, eller i kuler, der dækkes tæt med plasticfolie.

Konklusion

Ved opbevaring af bederoer i længere tid end 3 måneder bør CO₂-koncentrationen i lagerluften ikke overstige 4 pct. En direkte udnyttelse af kuldioxydens neddæmpende virkning på åndingen synes ikke mulig ved længere tids opbevaring, idet reduktionen af åndingstabet overgås af en samtidig forøgelse af rådtabet.

Forsøg med gulerødder

I 1969-73 udførtes 3 forsøg med 6 forskellige luftsammensætninger som opbevaringsmedium for gulerødder. Resultaterne fremgår af tabel 4. De tre første forsøgsled havde stigende CO₂-koncentration uden væsentlig reduktion af O₂-koncentrationen, medens O₂-indholdet i de tre sidste forsøgsled var faldende med stigende CO₂-indhold.

Vægttabet er beregnet som differencen mellem indvejet og udvejet mængde, og er udtryk for udtørringsgraden. Fordampningen i de luft-

tætte boxe er lille, vægttabene har været små, og der har ingen forskel været mellem forsøgsleddene. Både mængden af frasorterede og pct. råd på frasorterede steg stærkt med stigende CO₂-koncentration, dog gav 0 og 4 pct. CO₂ omtrent samme tab. Af de to forsøgsled med 10 pct. CO₂, gav led 6 med 11 pct. O₂ et højere rådtab end led 3 med 21 pct. O₂. I 1970-71, hvor gulerødderne er taget op med maskine, er forskellen mellem forsøgsleddene meget markant; dette skyldes en stærkere såring, og viser, at beskadigede gulerødder endnu dårligere tåler høje CO₂-koncentrationer. Rådgangene blev forårsaget af en række svampearter: Gråskimmel (*Botrytis cinerea*), Guleroens Sortrød (*Stemphylium radicinum*), Violet Rodfiltsvamp (*Helicobasidium purpureum*) m.fl. I forsøgsleddene med meget råd var det helt overvejende en *Cylindrocarpus*art, der var tale om. Denne svampeart anses for at være en svag parasit, der kun optræder, når værtsplan-

Tabel 4. Gulerødder opbevaret ved forskellige CO₂- og O₂-koncentrationer i kølerum ved 1-1,5° C. Opbevaringsperiode 1969-70: 183 døgn, 1970-71: 212 døgn og 1972-73: 200 døgn

Table 4. Carrots stored at various CO₂- and O₂-concentrations in cold store at 1-1,5° C. Storage periode 1969-70: 183 days, 1970-71: 212 days and 1972-73: 200 days

Forsøgsled	1	2	3	4	5	6
CO ₂ pct.	0	4	10	4	7	10
O ₂ pct.	21	21	21	17	14	11
	Vægttab, pct. Loss of weight, %					
1969-70	5,8	5,0	7,1	3,3	3,7	4,4
1970-71	3,6	3,7	—	3,4	—	—
1972-73	3,2	2,5	3,7	2,3	2,7	3,1
	Pct. frasorterede %outsorted					
1969-70	7	8	84	17	54	95
1970-71	5	22	100	22	100	100
1972-73	36	15	38	21	36	74
	Pct. råd på frasorterede % rot on outsorted					
1969-70	12	9	27	12	15	31
1970-71	11	25	100	21	100	100
1972-73	15	13	8	16	16	18
	Spiringsintensitet Sprouting intensity					
1969-70	ret kraftig	svag	ingen	ingen	ingen	ingen
1970-71	ret kraftig	svag		ingen		
1972-73	ret kraftig	svag	meget svag	svag	ingen	ingen
	ret kraftig: rather high, svag: low, meget svag: very low, ingen: none					

ten er svækket. Den primære årsag til det store rådtab må derfor tilskrives en kvælning af gulerødderne, og ødelæggelsen er derefter fuldbyrdet af svampeangrebet. Der er ikke målt spirelængde eller optalt antal spirede rødder, men givet en vurdering af spiringens intensitet. Spiringen var kraftigst ved 0 pct. CO₂, aftog med stigende CO₂-koncentration, og ophørte helt eller var kun ganske svag ved 7 pct. CO₂ og derover. Om der var normal eller reduceret O₂-spænding har ikke haft væsentlig indflydelse på spiringen.

For at følge forløbet af gulerøddernes opbevaring er der i 1972-74 gennemført 2 forsøg i plasticbeholdere ved 3 CO₂-koncentrationer, 0, 5 og 10 pct. og tilsvarende reducerede O₂-koncentrationer. Til hver beholder afvejedes

20 kg gulerødder, og med ca. 1 måneds intervaller blev en beholder pr. CO₂-koncentration taget ud til analyse. Resultaterne af forsøgene fremgår af tabel 5 og 6. Vægttabene har, som i de før omtalte forsøg, været små, og uden væsentlige forskelle mellem forsøgsleddene. Sundhedstilstanden var generelt noget dårligere i 1973-74 end i det foregående år, og var i de første 60-70 dage af opbevaringsperioden lige god i alle 3 forsøgsled, mens forskellen mellem leddene derefter blev større med tiden. Ved 5 pct. CO₂ er der ikke sket alvorlige skader på gulerødderne, hvilket kan ses af rådprocenterne, men derimod en betydelig kvalitetsforringelse, som følge af plettede rødder. Carotinindholdet viser faldende tendens mellem 0 og 5 pct. CO₂, for derefter at stige mellem 5 og

Tabel 5. Gulerødder opbevaret ved forskellige CO₂- og O₂-koncentrationer i kølerum ved ca. 1-1,5° C. Indsat 18/12 1972

Table 5. Carrots stored at various CO₂- and O₂-concentrations in cold store at approx. 1-1,5° C. Inserted 18/12 1972

				Vægt- tab	Fra- sorterede	Råd på fraseror- terede	Mg carotin pr. kg friskvægt	Sukker	Tørstof
	Døgn Days	CO ₂ %	O ₂ %	Loss of weight %	Out- sorted %	Rot on out- sorted %	Mg carotene per kg fresh carrots	Sugar %	Dry matter %
Ved indsætning At insertion									
		0	21	0,1	0	—	98	7,42	13,14
25/1	38	5	16	0,2	0	—	106	7,50	13,16
		10	11	0,1	0	—	99	6,58	11,54
		0	21	0,7	0	—	104	6,75	11,73
26/2	70	5	16	0,7	0	—	106	7,33	11,87
		10	11	0,7	0	—	93	7,11	12,43
		0	21	0,5	0	—	98	6,62	11,39
27/3	99	5	16	0,5	0	—	98	7,16	12,05
		10	11	0,5	0	—	93	6,76	11,31
		0	21	1,0	8,8	ikke delt not divided up	121	6,64	11,48
30/4	133	5	16	0,9	10,0		72	7,43	12,35
		10	11	0,7	44,2		71	6,33	11,39
		0	21	1,5	24,2	25,6	84	6,46	11,47
4/6	168	5	16	1,0	44,2	7,7	74	6,74	11,78
		10	11	1,0	69,5	14,9	75	6,51	10,94
		0	21	1,7	19,4	22,2	66	6,27	11,00
25/6	189	5	16	1,2	30,8	9,3			
		10	11	1,3	71,9	16,6			

Tabel 6. Gulerødder opbevaret ved forskellige CO₂- og O₂-koncentrationer i kølerum ved ca. 1-1,5° C. Indsat 21/11 1973

Table 6. Carrots stored at various CO₂- and O₂-concentrations in cold store at approx. 1-1,5° C. Inserted 21/11 1973

				Vægt- tab	Fra- sorterede	Råd på fraseror- terede	Mg carotin pr. kg friskvægt	Sukker	Tørstof
	Døgn Days	CO ₂ %	O ₂ %	Loss of weight %	Out- sorted %	Rot on out- sorted %	Mg carotene per kg fresh carrots	Sugar %	Dry matter %
Ved indsætning At insertion									
		0	21	0,4	3,0	1,1	104	5,92	10,96
21/1	61	5	16	0	2,5	4,1	105	6,09	10,69
		10	11	0	1,1	0,1	101	5,83	10,46
		0	21	0,6	19,4	7,0	111	6,08	11,21
20/2	92	5	16	0,3	25,6	12,0	116	5,87	10,62
		10	11	0,3	38,1	18,1	115	5,98	10,63
		0	21	0,7	18,2	11,9	113	5,82	10,88
13/3	113	5	16	0,2	16,5	10,3	103	6,17	11,23
		10	11	0,5	65,3	27,1	102	5,78	10,69
		0	21	0,9	25,2	14,8	110	5,66	10,68
2/4	133	5	16	0,5	37,4	16,5	101	6,01	11,17
		10	11	0,5	40,1	13,1	99	5,40	10,47
		0	21	1,1	23,4	19,5	107	5,98	11,01
24/4	155	5	16	0,6	40,0	21,0	108	5,74	10,32
		10	11	3,0	100	100	115	6,16	11,04
		0	21	1,1	19,3	23,8	—	—	—
14/5	175	5	16	0,7	51,0	22,8	114	5,59	10,65
		10	11	2,6	100	100	119	5,72	10,63
							—	—	—

10 pct. CO₂. Carotinindholdet har i 1973-74 ikke ændret sig væsentligt gennem lagringsperioden, mens der i 1972-73 er sket et fald, især i den sidste del af perioden. Carotinanalyserne er i 1972-73 foretaget ved hver udtagning, mens samtlige prøver i 1973-74 blev nedfrosset og derefter analyseret samtidig; den sidste metode er efter vore erfaringer den mest korrekte.

Sukkerprocenten varierer noget, i 1973-74 uden nogen sikker forskel mellem CO₂-koncentrationer eller udtagningstider, i 1972-73 sker der et fald i sukkerprocenten ved stigende CO₂-koncentration, og i den sidste del af lagringsperioden er der en faldende sukkerprocent.

Ved opbevaring af gulerødder i plastforede

kasser (25 kg) eller containere (500-600 kg) vil CO₂-koncentrationen i mange tilfælde stige. 89 målinger udført af Arne Jensen (951. medd. 1970) i kølerum på Lammefjorden viste følgende CO₂-koncentrationer:

16 målinger	0- 1 pct. CO ₂	
38	1- 3	—
20	3- 5	—
10	5-10	—
2	10-15	—
3	>15	—

I vinteren 1973-74 er foretaget målinger i plastforede containere. Disse viste i ingen tilfælde CO₂-koncentrationer på mere end 1-2 pct.

Konklusion

Såfremt køling og udluftning er effektiv på lageret, og plastindlæggene er perforerede, vil CO₂-koncentrationen kunne holdes på et niveau, hvor der kun vil være ringe risiko for CO₂-skader. En forbedring af holdbarheden ved 4 pct. CO₂ som Weichmann (1970) har fundet, har ikke kunnet måles i disse forsøg, og det må antages, at der ikke vil være økonomisk fordel ved at opbevare gulerødder i kontrolleret atmosfære.

Litteratur

- Apeland, J., & Hoftun, H. (1970). Physiological effects of nitrogen on carrots in storage. *Acta Horticulturae* 20, 108-114.
- Augustinussen, E. (1967). Plasticdækning af bede-roekuler. *Tidsskr. f. Planteavl* 71, 11-26.
- Bakermans, W. A. P. (1963). Bewaring van voederbieten I. Versl. Landbouwk. Onderz. nr. 68.10.
- Bakermans, W. A. P. (1962). Bewaring van voederbieten II. Versl. Landbouwk. Onderz. nr. 69.6.
- van den Berg, L., & Lentz, C. P. (1966). Effect of temperature, relative humidity and atmospheric composition on changes in quality of carrots during storage. *Food technology* 20, 104-107.
- Christensen, H. R. (1916). Undersøgelser over luftens sammensætning i forskellige roeopbevaringsrum. *Tidsskr. Landbr. Planteavl* 23, 581-590.
- Huld, T., & Augustinussen, E. (1972). Klimatisering af roerum. SBI-landbrugsbyggeri 38.
- Jørgensen, Inge (1974). Opbevaring af gulerødder ved forskellige CO₂-koncentrationer. 1146. medd. fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plante kultur.
- Karnik, V. V., Salunkhe, D. K., Olson, L. E., & Post, F. J. (1970 a). Physio-chemical and microbiological studies on controlled atmosphere storage of sugarbeets. *Jour. Amer. Soc. Sugar Beet Techn.* 16 (2) 156-167.
- Karnik, V. V., Olson, L. E., Salunkhe, D. K. & Singh, B. (1970 b). Evaluation of effects of controlled atmosphere storage on roots of sugarbeets grown at various levels of nitrogen fertilizer. *Jour. Amer. Soc. Sugar Beet Techn.* 16 (3) 225-234.
- Stoklasa, J., Jelinek, J., & Bitek, E. (1903). Die intramolekulare Atmung der Zuckerrübe. *Blatt. f. Zuckerrübenbau* 10, 268, 284, 302 og 316.
- Stout, M. (1954). Some factors that affect the respiration rate of sugar beets. *Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Techn.* 8 (2) 404-409.
- Strohmer, F., & Stift, A. (1903). Über die Veränderungen der Zuckerrübenwurzel bei Aufbewahrung unter Luftabschluss. *Österr.-Ungar. Zeitschr. Zuckerind. und Landw.* 32, 913-928.
- Weichmann, J. (1970). Experiments concerning the CO₂-production and -storage of carrots in small store boxes. *Acta Horticulturae* 20. 98-107.
- Weichmann, J. (1972). Lagerung und Gasstoffwechsel von Möhren (*Daucus carota* L.) in veränderter Atmosphäre. Diss. 1972 München.
- Wu, M. T., Singh, B., Theurer, J. C., Olson, L. E., & Salunkhe, D. K. (1970). Control of sucrose loss in sugarbeet during storage by chemicals and modified atmosphere and certain associated physiological changes. *Jour. Amer. Soc. Sugar Beet Techn.* 16 (2) 117-127.
951. medd. fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plante kultur (1970). Bekæmpelse af hvid lagersvamp (*Rhizoctonia carotae*) i gulerodskølelager.

Manuskript modtaget den 20. december 1974.