S P R E N G E R  I N S T I T U U T
Haagsteeg 6, Wageningen
Tel.: 0 8370 - 5351

RAPPORT NO. : 1702.

ONDERWERP : Stikstofbewaring, literatuuronderzoek.

UITGEBRACHT AAN : De Directeur van het Sprenger Instituut.

SAMENGESTELD DOOR : Mej. C.M. Swemle en Ir. N. Stenvers.

Publikatie uitsluitend met
toestemming van de Directeur.

Proj.nr.: 230
Datum : 11-1-'71

INHOUD


| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | Algemeen | blz. | 1 |
| 1.1. | Introductie | " | " |
| 1.2. | Voorgeschiedenis | " | " |
| 1.3. | Ontwikkeling van de bewaring in gecontroleerde atmosfeer | " | 3 |
| 1.4. | Laatste ontwikkelingen | " | 4 |
| 1.5. | Het gebruik van vloeibare stikstof bij de C.A.-bewaring | " | 6 |
| 2. | Vloeibare stikstof als middel om de bewaarbaarheid van produkten te verbeteren met behoud van kwaliteit | " | 7 |
| 2.1. | Probleemstelling en doel van dit literatuuronderzoek | " | " |
| 2.2. | Eigenschappen van vloeibare stikstof | " | " |
| 2.3. | Mogelijkheden en gebruik van vloeibare stikstof | " | 8 |
| 2.4. | Economische aspecten | " | 16 |
| 3. | Invloed van vloeibare stikstof op de houdbaarheid van produkten. | " | 19 |
| 3.1. | Aardbeien | " | " |
| 3.2. | Sla | " | 25 |
| 3.3. | Tomaten | " | 36 |
| 3.4. | Andere produkten | " | 38 |
| 4. | Literatuuropgave | " | 43 |

STIKSTOFBEWARING, LITERATUURONDERZOEK

1. Algemeen

1.1 Introductie

De belangrijkste nieuwigheid in de bewaring van tuinbouwprodukten sinds mechanische koeling gebruikt werd is de C.A.-bewaring en vooral de gecontroleerde C.A.-bewaring (C.A. = controlled atmosphere).

C.A. houdt in, in het algemeen, koeling en regelen van zuurstof en/of koolzuur-gehalte van de atmosfeer om de rijping en de kwaliteitsachteruitgang van fruit en groente (en andere levensmiddelen) te vertragen. Geoogst fruit ademt, gebruikt zuurstof en koolhydraten en geeft koolzuur, water en warmte af. Door koeling wordt de ademhaling aanzienlijk vertraagd. Maar ze kan nog langzamer gemaakt worden door het zuurstofgehalte van de atmosfeer te verlagen en/of het koolzuurgehalte te verhogen tot bepaalde gehaltes in een luchtdichte ruimte. Lucht bevat gewoonlijk 78% stikstof, 20,8% zuurstof en 0,03% koolzuur. De samenstelling van de atmosfeer in een bewaarruimte met C.A. varieert sterk met type of variëteit van fruit of groente, type van C.A.-proces e.d. Het resultaat is langzamer rijpen, en de mogelijkheid langer bewaard te blijven met behoud van kwaliteit, in een bewaarplaats (veiling of teler) of in de detailhandel.

1.2 Voorgeschiedenis

Hoewel C.A. een betrekkelijk nieuw proces is heeft het toch een lange en internationale geschiedenis achter de rug. (23). Wat er aan gegevens bestaat heeft in hoofdzaak betrekking op appels. C.A. is er tot op zekere hoogte al lang geweest, de oude gewoonte vaten appels in de grond te stoppen en te bedekken met grond en afval was waarschijnlijk een primitieve vorm van C.A.-bewaring. Hetzelfde geldt voor het vroege transport van fruit in ongeventileerde scheepsruimen. Maar een verklaring voor het goed of verkeerd gaan was er niet. Het verschijnsel als zodanig had geen enkel wetenschappelijk fundament.

Het eerste wetenschappelijk onderzoek van het effect van de atmosfeer op het rijpen van fruit is gedaan door Jacques Etienne Bérard in Montpellier (24). Hij publiceerde de uitkomsten van in 1819 en 1820 uitgevoerde proeven in 1821 en kreeg er de "Grand Prix de Physique" voor van de Franse Academie van Wetenschappen. Bérard was er van op de hoogte, dat geoogste vruchten zuurstof verbruiken en koolzuur afgeven en hij stelde vast, dat vruchten in een atmosfeer zonder zuurstof niet rijpten. Maar, voegde hij eraan toe, dit gaat alleen goed

als het niet te lang duurt, het rijpingsproces kan dan weer op gang gebracht worden door het fruit in gewone lucht te zetten.
Bérard deed een absorberende chemische "pasta" in een pot en zette er gezond fruit bij dat geplukt was vóórdat het rijp was, daarbij ervoor zorgend, dat fruit en "pasta" elkaar zo min mogelijk raakten. De "pasta" bestond uit kalk, ijzersulfaat en water. Dit zal zowel lage zuurstof als lage koolzuur gegeven hebben. De pot werd dan dichtgemaakt en volgens Bérard konden perziken, pruimen, abrikozen dan 20 dagen tot een maand bewaard worden, peren en appels ongeveer drie maanden. Als het fruit eruit gehaald werd rijpte het hierna normaal.
Hoewel Bérard's studie de aandacht trok in wetenschapskringen kwam het toch niet tot een practische toepassing in het bedrijfsleven.
Onafhankelijk van Bérard bouwde en gebruikte een "remarkable storage operator" in Cleveland, U.S.A., tussen 1860 en 1870 een bewaarruimte voor fruit waar veel essentiële componenten van C.A.-bewaring gebruikt werden. Deze man, Benjamin Nyce, zag als chemische basis van het rijpen van fruit de ademhaling. Hij legde het zo uit :
"in een gesloten ruimte, gevuld met fruit in een geleidelijk proces van rijpen, ontstaat voortdurend koolzuur en water. De zuurstof zal gewoonlijk in 48 uur opgebruikt zijn. Dan bestaat de atmosfeer uit de stikstof van de lucht en koolzuur. Het eerste heeft helemaal geen actieve eigenschappen, goed of kwaad, van het laatste is ook niet gevonden dat het iets doet met het fruit dat erdoor omgeven is. Waterstof en koolstof houden dan op uit het fruit te ontsnappen, omdat er niets is waarmee ze zich verbinden kunnen....., de ontleding stopt".
Al zag Nyce dus duidelijk waar het om ging, hij scheen toch niet te beseffen, dat het fruit beschadigd kon worden door te lage zuurstof of te hoge koolzuur-gehalten.
De bewaarplaats was luchtdicht gemaakt en werd gekoeld met ijs. Nyce liet de temperatuur niet boven $34^{o}F$ komen. Het fruit kwam er over het algemeen in goede conditie uit. Hij maakt wel melding van problemen in sommige partijen, die op koolzuurbeschadiging lijken, later in het seizoen. Hij vond dat het minder werd door de bewaarruimten te openen. Op het eerste gezicht lijkt het vreemd dat hij niet meer proefjes nam over die koolzuurbeschadiging, maar er waren factoren die dat niet in de hand werkten: 1e. was de deur wel dicht maar niet verzegeld en telkens als hij geopend werd kwam er een zekere hoeveelheid lucht naar binnen, 2e.waarschijnlijk was er wel enige luchtlekkage door de muren.

In 1903 begonnen de eerste Amerikaanse wetenschapsmensen het effect op te merken van verschillende atmosferen op de duur van "fruit life" en begonnen een paar mensen een onderzoek naar de mogelijkheden van een langzamer rijpen van fruit anders dan door koud opslaan (Washington State University). O.a. bewaarden ze appels in afgesloten ruimten in vijf verschillende atmosferen, $H$,$N$,$O$,$CO_2$, $SO_2$, met een luchtmonster als controle. Na zes maanden werden de potten geopend. De appels die in koolzuur geweest waren hadden hard vruchtvlees, hadden de karakteristieke appelkleur, hoewel het gas in de pot enigszins naar gegist appelsap rook, en waren wat het aroma betreft niet merkbaar beschadigd. De appels uit de andere gassen waren er minder goed afgekomen. De onderzoekers merkten dus op, dat"de verschijnselen die gewoon samenhingen met rijping aanzienlijk geremd werden door een $CO_2$-atmosfeer.
Hier en daar werden meer proefjes gedaan, allemaal rond koolzuur, verhouding koolzuur/zuurstof en het optreden van gisting of een afwijkend aroma, maar niemand ging erop door en niemand schijnt er ook temperatuurvariaties in betrokken te hebben. Nyce bracht de basisingrediënten van atmosfeer en temperatuur samen in een "commerciële operatie", maar ging niet in op de kritische vraag van de optimale koolzuur/zuurstof balans.
Al deze waarnemingen en proefjes stonden nogal los van elkaar en er was niemand die ze bundelde. Het was alles nog wat fragmentarisch.

## 1.3 Ontwikkeling van de bewaring in gecontroleerde atmosfeer

Het eerste intensieve en systematische speurwerk over C.A. werd in Engeland begonnen door Kidd en West die verbonden waren aan het Low Temp. Research Station in Cambridge. In 1918 begonnen ze daar laboratoriumproeven met fruit, appels, peren, pruimen, aardbeien, kruisbessen, frambozen. Ze vonden dat, in het algemeen, rijping tijdens bewaring vertraagd kon worden zonder nadelige gevolgen door de hoeveelheid zuurstof in de lucht te verlagen. Ook vonden ze, dat een bepaald gehalte aan koolzuur in de lucht de rijping vertraagde. In een rapport van 1919 tonen ze aan, dat aardbeien 3 à 4 weken in opslag kunnen blijven bij 1 à 2°C in atmosferen met verlaagde zuurstofgehalten en matige hoeveelheden koolzuur, verkregen door bewaren in een gesloten vat met een regelbaar diffusielek. In 1920-22 werden bewaarplaatsen gebouwd op semicommerciële schaal, zonder koelsysteem, maar de appels hadden een twee maal zo lang leven dankzij C.A. en de opbrengst was 2.34 x de prijs van de appels bij de inzet van de bewaring.

Het probleem wat bleef was om de bewaarruimte gasdicht te maken. In 1923/24 werd in Cambridge een proefruimte gebouwd met mechanische koeling aan het begin van het seizoen als de buitentemperaturen nog hoog zijn en de ruimte werd bekleed met gegalvaniseerd ijzer en uitgerust met een deur met schroefsluiting. Dit was de voorloper van de voor het bedrijfsleven te bouwen ruimten. Met de koeling was het mogelijk een constante temperatuur te handhaven van 7°C (45°F) over het hele bewaarseizoen van acht maanden. In 1927 vatten Kidd en West hun werk samen in het klassieke bulletin over de Gasbewaring van fruit.(23,25). Ze erkennen dat,"het idee om gebruik te maken van kunstmatige atmosferen voor de bewaring van fruit niets nieuws is." Maar ze vervolgen met er op te wijzen, dat hun rapport een beschrijving geeft van de eerste wetenschappelijke aanpak van het probleem van de samenstelling van de atmosfeer en de invloed hiervan op fruit in opslag. Het rapport was een mijlpaal in de ontwikkeling van C.A.-storage en droeg er toe bij zowel wetenschappelijke als commerciële aandacht op het proces te vestigen.
Het werk met appels werd voortgezet, ook met ander fruit werd geëxperimenteerd en de eerste commerciële bewaarplaats werd gebouwd door een teler in Kent in 1929. De London Times wijdde er een mooi artikel aan en roemde de kwaliteit van het fruit toen de bewaarplaats eind 1930 geopend werd. Daarna breidde de commerciële C.A. zich geweldig uit, 100.000 bu in 1932, 1.8 millioen bij het uitbreken van de oorlog in 1939. In Amerika trok het werk van Kidd en West ook de aandacht en gebeurde in aansluiting hierop ook wel het een en ander. Smock was daar de grote man, in juni 1941 publiceerden Smock en von Diren een gedetailleerd rapport van hun bevindingen in een veel omvattend bulletin, getiteld Controlled Atmosphere Storage of Apples (23,26). Dit bulletin was een mijlpaal voor de C.A.-storage in de U.S.A. Niet alleen gaf het de resultaten van het onderzoek over atmosferen, temperaturen, variëteit van het fruit, maar hierin werd ook de constructie en exploitatie van de bewaarruimte ter discussie gesteld.
Ook in andere landen werd gewerkt, Canada, Australië, Nieuw-Zeeland, Europa, Zuid-Afrika.
Samenvattend: tussen de beide wereldoorlogen was er een intensieve wetenschappelijke activiteit, waarvan het begin lag bij het werk van Kidd en West in Engeland.(23).

## 1.4 Laatste ontwikkelingen

Na 1960 waren er belangrijke ontwikkelingen op technisch gebied en kwamen min of meer automatisch werkende systemen op. Tot dan was het zo geweest, dat de bewaaratmosfeer bepaald werd door het produkt, d.w.z. het fruit zelf gebruikte de lucht - zuurstof op en produceerde koolzuur. Werd het

zuurstofgehalte te laag dan werd buitenlucht ingelaten en de atmosfeer in de ruimte door een scrubber gehaald als het koolzuurgehalte te hoog werd. Maar na 1960 werden verscheidene min of meer automatisch werkende generatiesystemen geïntroduceerd.

a. Tectrol (= total environment control), ontwikkeld door de Whirlpool Corp. in Michigan (6,23).
Bestaat uit een verbrandingskamer, gevoed met gewone buitenlucht en gas (gewoon of propaan) die verbrand worden om de meeste zuurstof kwijt te raken. Dit produkt wordt gewassen om de meeste koolzuur er uit te krijgen en dan naar de bewaarruimte gevoerd. Dit systeem is continu gemaakt zodat de bewaaratmosfeer voortdurend doorgespoeld wordt om de door het fruit geproduceerde koolzuur weg te nemen. Het systeem werd uitgewerkt in het lab, vervolgens werden veldproeven gedaan en in 1962/63 werd het in omloop gebracht op verhuurbasis.
Voordelen van de externe generator waren : 1) de bewaarruimte hoefde niet bijzonder gasdicht te zijn, 2) de juiste bewaaratmosfeer werd eerder bereikt, 3) de bewaarruimte kon tijdens het bewaarseizoen geopend worden om er wat uit te halen of voor reparaties en dan weer dichtgemaakt voor verdere bewaring. Het grootste nadeel was, dat de kosten wat hoger waren. De voordelen wonnen het, het Tectrolsysteem wordt veel gebruikt.

b. Arcagen (23,27) (= Atlantic Research Controlled Atmosphere Generator). Verschilt van de Tectrol hierin dat, inplaats van een continu doorspoelen met gasmengsel, de atmosfeer van de bewaarruimte voortdurend opnieuw gecirculeerd wordt door de generatoruitrusting. De twee basiseenheden van het Arcagensysteem zijn een Arcosorb koolzuurwasser en een Arcat zuurstofomvormer (convector). De Arcat Unit zet zuurstof om in koolzuur en waterdamp door katalytisch te verbranden met een gasvormige brandstof. De Units kunnen apart of gecombineerd gebruikt worden.

c. Andere systemen. De Linde Division van Union Carbide Corp. modificeerde een Polarstream koelproces, (6,23);het draait om het gebruik van stikstof. In 1966 waren er nog geen commerciële installaties.
Twee Fransen (23,27) ontwikkelden in 1964 een automatisch atmosfeercontrolesysteem met behulp van een silicone rubber, exchanger-diffuser", die de gevraagde gassamenstelling, d.i. : 3% O, 3% $CO_2$, 94% N, ten allen tijde handhaaft. Gemakkelijk te bedienen, verbruikt geen materiaal en gebruikt weinig energie. Bediening van de installatie bleek gedurende het seizoen 1965-1966 heel eenvoudig, de enige supervisie was de geregelde analyse van de gasmengsels.

1.5 Het gebruik van vloeibare stikstof bij de C.A.-bewaring

C.A.-storage is in een dynamisch stadium van ontwikkeling, er zijn steeds nieuwe technische vondsten. Toen mechanische koeling, MR (= mechanical refrigeration) een rol ging spelen kwamen naast stationaire bewaring onder C.A. ook de mogelijkheden voor transport over lange afstanden van bederfelijke produkten, waar vervoer altijd het zwakke punt was geweest in de distributieketen.

De toepassing van vloeibare stikstof is hierin een grote rol gaan spelen en merkwaardig genoeg is hier in de U.S.A. de ruimtevaart, die geweldige hoeveelheden N gebruikt en dus fabricage op grote schaal nodig maakte, een grote stimulans in deze richting geweest. Vloeibare N is daar door de grote produktie betaalbaar.

Dixon was de grote man, hij stuitte puur uit toeval op wat hij uitwerkte tot zijn Oxytrolsysteem (6,13) (= oxygencontrol). In 1962 was hij voor zichzelf bezig in Oakland met koeleenheden voor vrachtauto's. Hij gebruikte N als koelmiddel en merkte op een dag de wonderbaarlijke frisheid van een paar kroppen sla die hij onopzettelijk enkele dagen in een proefkoeler had laten liggen. Hij ging dit nazoeken en vond heel wat wetenschappelijke gegevens voor dit fenomeen, maar niets dat in de richting van een praktische toepassing ging. Toen ondernam Dixon zelf stappen om zijn vondst te "kapitaliseren". Verscheidene grote firma's gingen er niet op in, de Californische telers waren er ook niet van onder de indruk, de plaatselijke figuren van het Departement van Landbouw vonden het interessant maar zeiden, dat er veel research gedaan zou moeten worden.

Dixon construeerde een eenvoudige cylinder voor vloeibare stikstof en een electronisch controle-apparaat dat aangebracht kon worden op trailers of vervoercontainers. De electronische controle bedient kranen die meer N toelaten in de trailer of de container als de zuurstofgehalten een vastgesteld punt bereiken. Hij rustte toen 25 trucks uit met deze apparatuur en bracht een stuk of wat plaatselijke telers er toe Oxytrol te proberen door hen te garanderen, dat alle risico's voor hem waren. De resultaten waren spectaculair, vooral met zéér bederfelijke produkten. Een vrachtautolading aardbeien b.v. kon vervoerd worden dwars door Amerika naar Boston voor 1500 dollar met weinig of geen verlies door bederf. Luchtvervoer, per express, 's nachts, van dezelfde hoeveelheid kostte 2200 dollar. En vergeleken met langzamer maar goedkoper vervoer per spoor (ook express) waren de Oxytrol-vruchten in een zoveel betere conditie, dat ze daartegenover 700 dollar per lading meer opbrachten. Experimenten met conserveren van vlees, vis en zelfs bloemen bleken evenzeer te slagen.

Voor de combinatie C.A. - MR zijn naast stationaire bewaring nu dus ook de mogelijkheden gekomen voor transport over lange afstanden (3,5,6,15,20) en voor distributie voor de kleinhandel (4). De toepassing van vloeibare stikstof is vooral hierbij een grote rol gaan spelen. Trailers zijn omgebouwd tot luchtdichte bewaarruimten en voorzien van MR en een installatie om de samenstelling van de atmosfeer te regelen.

## 2. Vloeibare stikstof (LN) als middel om de bewaarbaarheid van produkten te verbeteren met behoud van kwaliteit.

### 2.1 Probleemstelling en doel van dit literatuuronderzoek

Hoewel mechanische koeling op zichzelf reeds een belangrijke verbetering betekent bij de bewaring van groenten en fruit bestaat er bij verschillende produkten een behoefte aan verlenging van de bewaartijd.
Het doel van deze studie is na te gaan in hoeverre er reële toepassingsmogelijkheden zijn voor vloeibare stikstof bij deze verlenging van bewaartijd.

### 2.2 Eigenschappen van vloeibare stikstof

De volgende tabel (21) geeft enige physische eigenschappen van vloeibare stikstof.

Physical properties of liquid nitrogen for immersion freezing of foods.

| | |
|---|---|
| Boiling Point (1ATM, °F.) | -320.454 |
| Latent Heat of Vaporization (At B.P.,BTU/Lb) | 85.67 |
| Sensible Heat (Gas to 70°F.) BTU/Lb | 98.50 |
| Total Heat to 70°F. | 184.17 |
| Liquid Density at B.P. (Lb/Ft3) | 50.44 |
| Gas Density at 0°C., 1ATM )Lb/Ft3) | 0.078 |
| Specific Volume Standard Conditions (Ft3/Lb) | 13.80 |
| Specific Heat Ratio (K) at 70°F. 1ATM, K=CP/CV | 1.40 |
| Specific Heat, Const.Pressure at 70°F. | 0.2484 |
| Specific Heat, Const.Volume at 70°F. | 0.1774 |
| Molecular Weight | 28.016 |
| Color, Odor | None. |

Uit: Webster et al. (21).

Warmtecapaciteit, van -320°F. tot 0°F. 70 Btu/Lb. Koelt waar het mee in contact komt doordat het verdampt.

1 l vloeibare stikstof geeft ± 700 l gasvormige stikstof. Inert, beïnvloedt smaak en consistentie van levensmiddelen niet. Heeft een dubbele conserverende werking:

1e. door snelle en sterke verlaging van temperatuur,

2e. door het verdrijven van de zuurstof waardoor de ademhaling geremd wordt.

Remt ook de groei van bacteriën.

Prijs: Afhankelijk van de omvang van de fabricage.

In de U.S.A. door toepassing bij ruimtevaart redelijk, in andere landen hoog, in het algemeen te hoog bij toepassing voor het conserveren van levensmiddelen.

De nadruk zal dan ook meer gelegd moeten worden op de snelle verdrijving van zuurstof en de daarmee verbandhoudende conserverende werking dan op de verlaging van temperatuur.

Vooralsnog lijkt i.v.m. de prijs de combinatie van conventionele koeling en snelle instelling van een gewenste zuurstofconcentratie de beste oplossing.

## 2.3 Mogelijkheden en gebruik van vloeibare stikstof

### 2.3.1 Gebruik vloeibare stikstof bij de CA-bewaring

In het nieuwe proces reduceert het inerte gas de ademhalingsprocessen van het produkt waardoor bederf zeer sterk teruggedrongen wordt.

De meeste zuurstof en koolzuur worden verdreven door LN, ongeveer 0,25% tot 4% zuurstof moet echter aanwezig blijven in de beschermende atmosfeer als beveiliging tegen anaerobe gisting. Het gaat hierom (1) : hoewel een atmosfeer van 99% stikstof en 1% zuurstof de bederf veroorzakende "aerobe ademhaling" blokkeert in fruit en groente kan een verlagen van het zuurstofgehalte van maar ½%. tot 99½% stikstof en ½% zuurstof de weg vrij maken voor "anaerobe ademhaling", die een fermentatiesmaak kan veroorzaken, d.w.z. afwijkingen in smaak en aroma. Anaerobe ademhaling vindt plaats zonder zuurstof. De kunst is nu de stikstofgehaltes op een kritisch punt te houden, waar aeroob bederf (en warmteontwikkeling) ophoudt, maar niet zó laag dat anaerobe ademhaling een kans krijgt.

Het succes van C.A. hangt wel af van ultrakritische factoren (1), de samenstelling van de atmosfeer luistert zeer nauw. Een van de meest opvallende bevindingen was, dat 1% verschil in stikstofatmosfeer een heel verschillende uitwerking kan hebben op een produkt.

Harvey (22) wijst erop, dat gemodificeerde atmosferen beslist niet gezien moeten worden als een vervanging voor koeling, maar als een aanvulling. Temperatuur is een controlerende factor bij het bepalen van het effect. B.v. een produkt kan gebaat zijn bij een speciale

combinatie van zuurstof en koolzuur als het bewaard wordt bij 36°F, maar dezelfde combinatie bij 50°F zou beschadiging veroorzaken. Omgekeerd, sommige produkten, met name Mc Intosh appels, die geen heel lage temperatuur kunnen verdragen, zijn gebaat bij gemodificeerde atmosferen bij temperaturen boven de meestal in de bewaring gebruikte.

Harvey(10) geeft een kritische beschouwing over het gebruik van N. Hij noemt zes punten :

1. Vruchten die groen geoogst worden en nà het oogsten rijpen, worden het meest beïnvloed door C.A.-bewaring, d.w.z. de rijping kan in een passende atmosfeer vertraagd worden. Omgekeerd kunnen ze ongunstig reageren en interne beschadigingen of afwijkend aroma ontwikkelen als die atmosfeer voor hen niet te verdragen is.
2. Voor vruchten die niet na het oogsten rijpen, zoals druiven, is van C.A.-bewaring niet veel te verwachten.
3. Vruchten met een lang bewaarleven zouden waarschijnlijk maar licht beïnvloed worden door een aansluitende korte vervoersperiode onder C.A.; gedurende een langer vervoer zoals voor exportfruit zou er wel een voordeel zijn.
4. Ieder produkt, van sommige zelfs iedere variëteit, reageert verschillend op een bepaalde atmosfeer. Voor gemengde ladingen is dus één optimale atmosfeer meestal niet mogelijk.
5. Sommige produkten zouden een atmosfeer bij een bepaalde temperatuur kunnen verdragen, bij een andere niet. Of ze zouden een atmosfeer wel voor een korte maar niet voor een lange tijd kunnen verdragen.
6. Zeer bederfelijke produkten met een korte levensduur zouden waarschijnlijk zeer gebaat zijn bij C.A.-vervoer. Aardbeien, kersen, vijgen, sommige groenten zullen er zeer geschikt voor zijn.

Uit deze overwegingen is duidelijk, dat de biologische reacties van onze produkten op C.A. zeer complex zijn en dat om een zo effectief mogelijk gebruik te maken van deze technologie een gedegen research naar de achtergronden gedaan moet worden. Niet alleen om de reacties van het produkt zelf op de gebruikte atmosfeer te bepalen, maar ook om de reacties te bepalen van de afbraakorganismen die met ieder produkt verbonden zijn.

Canadian Food Ind. (2). De hoge N-atmosfeer doet meer dan alleen de ademhaling remmen. In veel vruchten, en groenten remt de N ook de groei van bacteriën, en de bij tussenpozen werkende N-injecties wassen schadelijke gassen als koolzuur en aethyleen weg.

Niet alle produkten zijn even gevoelig voor de zuurstof/stikstof-verhouding(1). Tot de gevoelige horen snijbloemen (anjers) en asperges. Als een compromis zijn de meeste Oxytrolsystemen afgesteld op 1¼% zuurstof. Dixon heeft een tabel gemaakt van de ideale zuurstofgehalten voor verschillende "perishables".

In bijna alle gevallen, met uitzondering waarschijnlijk van sla en anjers, is gemengd vervoer mogelijk, daar de overlapping van de ideale punten gewoonlijk binnen de toelaatbare afwijkingen ligt. Dixon zegt: hoewel dat zuurstofpeil dus binnen nauwe grenzen ligt, is er niets aan de hand mits de gewenste "controlled atmosphere" maar gedurende het hele transport gehandhaafd blijft.

Uit een en ander volgt, dat,zij het met beperkingen, een zeer ruim gebruik van LN zou kunnen worden gemaakt, zowel voor stationaire bewaring als voor vervoer, echter zal er nog veel onderzoek gedaan moeten worden.
Union Carbide (2) heeft twee mobiele labs, compleet uitgerust, om het effect te evalueren dat een N-atmosfeer heeft op de kwaliteit van verse vruchten en groenten tijdens vervoer. Lang is koelen, onder speciaal te voren vastgestelde omstandigheden, beschouwd als de enige belangrijke bijdrage tot succesvolle bewaring tijdens transport. Nu met de komst van LN voor in transit koeling waargenomen is dat de kwaliteit van het produkt aanzienlijk verbeterd is, meer dan toegeschreven kan worden aan een van te voren vastgestelde temperatuur alleen, is Union Carbide een uitgebreid onderzoek begonnen om het samenspel tussen koeltemperatuur en atmosferische samenstelling na te gaan. Hierbij wordt kwalitatief en kwantitatief het effect onderzocht van de beschermende atmosfeer bij verschillende temperaturen.
Voor de verschillende systemen toegepast tijdens vervoer kan verwezen worden naar de introductie, terwijl praktische bijzonderheden onder "Werkwijze" en "Vervoer" te vinden zijn.

### 2.3.2 Invloed vloeibare stikstof op schimmelgroei

Ryall (14) schrijft over proeven die werden gedaan om de uitwerking te bepalen van 100% N en 99% N op de groei van parasitaire schimmels in "culture media" of geïnoculeerd op vruchten. Hoewel nog in een beginstadium, geven de uitkomsten vrij duidelijk aan, dat de geteste fungi (gewone Rhizopus, Penicillium, Phomopsis en Sclerotinia) bijna geheel geremd worden in atmosferen van zuivere N, maar slechts 1% zuurstof (99% N) is voldoende om de groei precies dezelfde te laten zijn als die in lucht.

### 2.3.3 Vriezen door middel van vloeibare stikstof

Het verbruik van N voor het vriezen van voedsel (15) hangt af van tijd en afstand van het vervoer, de gevraagde constante temperatuur, het produkt en de doelmatigheid van de vrachtwagenisolatie: Liquid Carbonic Co meldt een verbruik van 2700 l N om een 40 ft lading bevroren sap te vriezen en te verzenden in speciaal geïsoleerde opleggers van Californië naar New York.

Liquefreeze Co.(15) oppert, dat koelen met LN concurrerend kan zijn in de levensmiddelenindustrie bij tenminste 75 kleinverpakkingen per minuut bij een 8-urige werkdag. Een andere minimum capaciteit is een dagelijks vervoer van tien ton over afstanden van minstens drie dagen. Op bescheiden schaal (15) is het vriezen d.m.v. LN al gebruikt door de US-krijgsmacht voor de voedselvoorziening op lange afstand van de Verenigde Staten uit. Gedurende twee jaar is de methode, waarbij gebruik gemaakt werd van grote geïsoleerde containers, onderzocht en bleek een aanzienlijke besparing te geven.

Gecoma (5), Zwitserland, geeft een beschrijving van een koelketen die de distributie van bederfelijke levensmiddelen in Europa beter mogelijk maakt. Containers, gebouwd voor het gebruik van LN als koelelement, kunnen op een normale spoorwegwagon of op een oplegger vervoerd worden, iedere eenheid fungeert als een klein koelhuis, wat laden e.d. zeer vereenvoudigt, grote convooien volgen of gaan vooraf aan de T.E.E.

De K.L.M. (20) vervoerde op 23 maart 1967 1300 pond aardbeien naar Schiphol die daags te voren in Miami in het Zuiden van de U.S.A. van de koude grond waren geplukt. De kosten van dit vervoer per N-gekoelde container zijn zodanig, dat de prijs voor een groot publiek aantrekkelijk blijft.

In de U.S.A. zijn (6) een 300.000 gekoelde trucks en een 70.000 gekoelde trailers, de meeste worden mechanisch gekoeld. Maar er zijn een 4.000 "liquid nitrogen units" in gebruik op trucks en trailers (1966).

In een proeftocht (15) werd door Liquefreeze Co. in 1960 een lading van 61.000 lb vervoerd van Californië naar New York, over een afstand van 3.000 mijlen en arriveerde met een gemiddelde temperatuur van $-124^{o}F$. Voor handelsdoeleinden kan misschien op een hogere aankomsttemperatuur gemikt worden, wat een besparing geeft in het LN-gebruik.

British Oxygen (7) heeft sinds kort een methode ontwikkeld, waarbij zuurstof uit produkten wordt gewassen. Het proces wordt sparging genoemd en komt erop neer, dat het heel of half vloeibare produkt door een leiding stroomt waarin door een ventiel stikstof wordt geperst. De stikstof vormt ontelbare kleine gasbellen, doordringt het produkt en neemt in een snelle wenteling de aanwezige zuurstof op, waarna het in een speciale scheidingstank de gelegenheid krijgt met de opgenomen zuurstof te ontsnappen. De produkten kunnen daarna worden opgeslagen of verpakt in met stikstof gevulde containers. Bij één maal doorstromen schijnt 90% van de aanwezige zuurstof uit de produkten te worden verwijderd. Sparging wordt o.a. aanbevolen voor vruchtensappen.

2.3.4 Apparatuur

Dompelvriezers en tunnelvriezers zijn beiden met succes gebruikt voor levensmiddelen.

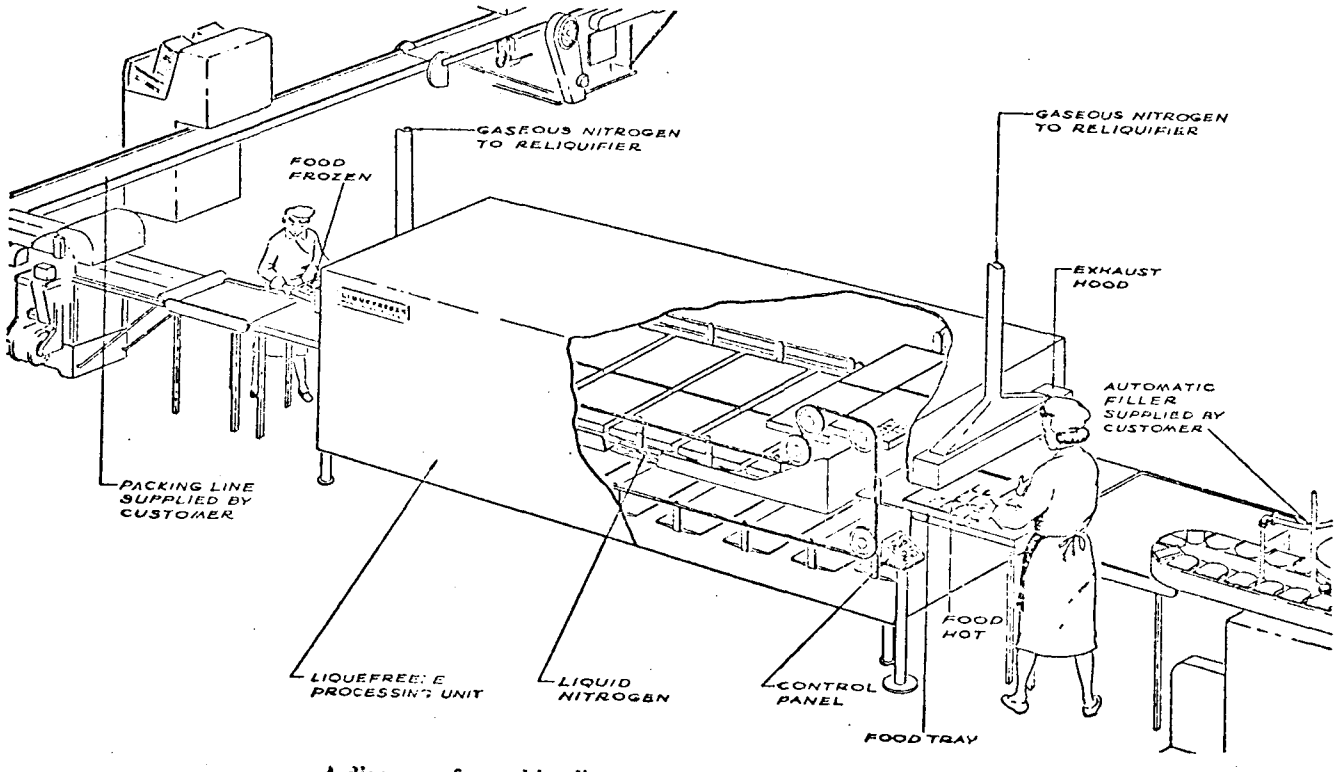
De dompelvriezer is eenvoudig een geïsoleerde tank met een geperforeerde korf. In de U.S.A. kon een exemplaar van dit type met een bodem van 3 x 4 ft. meer dan 1250 lb aardbeien per uur bevriezen, waarbij de vriesduur voor één vulling ± 1 min. bedroeg.

De vruchten komen van de sorteerband meteen in een korf van roestvrij staal (21). De tevoren gewogen korf met inhoud wordt dan in de dompelvriezer geplaatst voor een tevoren vastgestelde, automatisch geregelde vriescyclus. Aan het eind van de vriescyclus (minder dan 60 sec.) stijgt de mand uit de vloeistof en wordt vervoerd naar de pakafdeling.

De tunnelvriezer is een geïsoleerde kamer uitgerust met een transportband. Sproeiers voor LN zijn aangebracht bij de uitgang van de tunnel en het uitstromende gas vindt een uitweg bij de ingang. Een deel van de praktische warmtecapaciteit van het koude gas wordt gebruikt om het produkt betrekkelijk langzaam af te koelen vóór de LN erop gesproeid wordt. De werkwijze is eenvoudig (15). Voedsel wordt uit het produktieproces rechtstreeks door een geïsoleerde ruimte die vloeibare N bevat, gevoerd. Door directe warmteuitwisseling wordt het produkt snel onderkoeld (in minder dan 5 minuten van 180°tot 5°F.), de verdampte N wordt door spleten, teruggetrokken en opnieuw vloeibaar gemaakt.

Als het produkt de koelruimte verlaat wordt het op de verpakkingslijn (zie tekening) gebracht en dan direct op geïsoleerde wagentjes die ook gekoeld zijn door vloeibare N, gebracht. Het proces is gedemonstreerd in Los Angeles in een fabriek die 60-120 kleinverpakkingen per minuut gaf, met een koeltijd van 2-3 min. om tot -5°F. te komen.

Tekening van een verpakkingslijn met LN.




A diagram of a packing line arranged for freezing with liquid nitrogen.

De technische bruikbaarheid is duidelijk bewezen. Bijna alle voedingsmiddelen zijn op deze manier gevroren en weer ontdooid terwijl ze in uitstekende staat bleven en ook de smaak zeer goed bleef.
De sleutel (15) voor het technische succes van LN bij het vriezen van voedsel is de zeer snelle koeling (een paar minuten vergeleken met de bijne 24 uur bij de conventionele methode). Een gevolg van dit snelle koelen is, dat er in zo korte tijd in de cellen van het produkt geen druk kan ontstaan, die ze doet barsten. Een ander voordeel is, dat de zuurstof door de N verdreven wordt wat de bewaarbaarheid zeer ten goede komt. Dit principe wordt gebruikt voor bevroren sinaasappelsap en "pressure-packed"koffie o.a.

Metingen (16) met individuele aardbeien gedompeld in LN toonden aan, dat de gemiddelde temperatuurdaling meer dan $100^{o}F$/min. is. Grotere eenheden koelen langzamer daar de warmtegeleiding van het produkt een beperkende factor gaat worden, maar ook dan gaat vriezen sneller dan met de conventionele vriesmethoden. Dit zeer snelle vriezen door LN kan ook ongewenste effecten hebben. Als bij normale temperatuur in LN gedompeld wordt, ontstaat een warmtegradiënt van $\pm$ $400^{o}F$. in het produkt. Dit temperatuurverschil veroorzaakt fysische spanningen, waardoor sommige produkten uit elkaar gaan vallen. Dit probleem kan

omzeild worden op verschillende manieren, b.v. door grondig vóórkoelen, door het vriesproces te beginnen met koude gasvormige N voor het produkt aan LN blootgesteld wordt of door pas te vriezen na verpakking.

Het gebruik van (16) LN in direct contact met het produkt neemt de noodzaak van warmtewisselaars in de vriesuitrusting weg. Afgezien van de vereenvoudiging in ontwerp van de vriezer vervalt met het weglaten van pompen en ventilatoren ook een stuk niet-produktieve koeling. Met als gevolg geen waterafzetting in koelbuizen en periodiek ontdooien.

Enerzijds heeft het vriezen met LN grote voordelen in arbeids- en tijdsbesparing. Anderzijds heeft dit snelle proces bij sommige produkten fysische spanningen in de cellen tengevolge waardoor deze uit elkaar vallen.

2.3.5 Vervoer

LN koelt waar (6) het mee in contact komt doordat het verdampt. Levensmiddelen worden tijdens vervoer op de vereiste temperatuur gehouden door LN uit een kop aangebracht in het dak van de laadruimte van een truck of trailer. Stijgt de temperatuur boven de ingestelde temperatuur, dan wordt automatisch een stoot N losgelaten die het teveel aan warmte weer wegneemt. Dit is het Polar Stream proces, gebouwd door Linde Comp. in de U.S.A. Het Polar Stream systeem bestaat uit een container voor de LN, temperatuurregelaar, drukregelklep, een sproeikop en de nodige kranen, leidingen en veiligheidstoestellen. De stroom benodigd voor het systeem is gering, gewoonlijk wordt ze rechtstreeks ontleend aan de vrachtwagenmotor.
In Linde's systeem is de injectie van LN gebaseerd op de temperatuur, bij Oxytrol daarentegen op het zuurstofgehalte in de trailer.
Met Oxytrol wordt het zuurstofgehalte verlaagd tot 1% à 2% en koolzuur bijna geheel verdreven. Vroeger meende men, dat koolzuur goed was voor sommige produkten. Best Express heeft andere ervaringen. Vochtigheid van 98-99% is gehandhaafd met Oxytrol-vervoer, dus geen rimpeling van het produkt.
Best Fertilizers gebruiken het "Oxytrol"-proces, in dit systeem wordt LN ingespoten in wisselende hoeveelheden onderweg.
Tectrol (6) gebruikt een "one shotprocess", de trailer wordt van binnen eerst met vinylplastic bekleed om lekkage onderweg te voorkomen. Dan wordt in de tevoren gekoelde ruimte een op de lading berekend gasmengsel gespoten.
Er zijn dus twee (16) methoden voor lange afstandvervoer in de U.S.A. Welke de voordeligste is moet nog uitgemaakt worden. Het ene systeem behelst de terugdringing van de temperatuur tot een peil, dat een reis van verscheidene dagen mogelijk maakt in een geïsoleerde maar niet gekoelde

wagen.

In het andere systeem (16) wordt automatisch, zoveel LN op de lading gesproeid, dat een temperatuur van $0^{o}$F. of lager gehandhaafd blijft. Dit is ook toegepast voor levering aan de kleinhandel, waarbij een contrôlesysteem geïncorporeerd is, dat de veiligheid van de chauffeur garandeert als hij in de koelwagen moet zijn. Van dit tweede systeem een afbeelding.

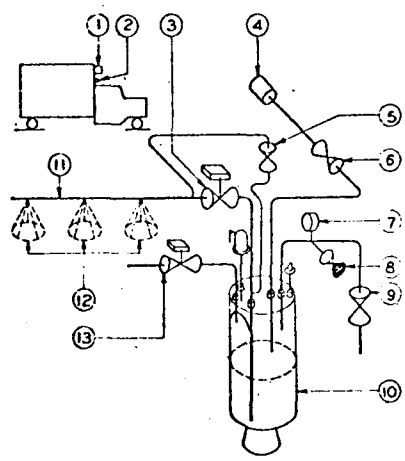



*FIG. 5. Liquid Nitrogen system for temperature control in Frozen food transport vehicles.*

1. Filling Connection Box; 2. Temperature Controller; 3. Liquid Solenoid Valve; 4. Liquid Filling Connection; 5. Liquid Bypass Valve; 6. Liquid Fill Valve; 7. Pressure Gauge; 8. Emergency Pressurizing Valve; 9. Full Trycock Valve; 10. Liquid Nitrogen Container; 11. Spray Header; 12. Liquid Nitrogen Spray; 13. Gas Phase Solenoid Valve.

De nieuwste eenheden (3) van Best Fertilizers zijn uitgerust met een 40 PK motor generator die 220 VAC stroom fourneert om de $7\frac{1}{2}$ PK compressor in de koeleenheid te laten lopen. Ventilatoren laten de lucht voortdurend circuleren. Mocht het mechanische systeem uitvallen dan kan een 12 volts batterij de zaak overnemen. Als een truck ergens aangekomen is en de motor is afgezet dan draait de compressor door de 220-voltstroom "at dock", wordt dus aangesloten op het stroomnet. Dit spaart brandstof, is rustiger en vraagt geen veelvuldige contrôle tijdens vrije uren.

Liquefreeze Corp. of America in New York heeft "liquid nitrogen frozen foods" regelmatig in 5-daagse reizen van New York naar Bermuda en Europa gezonden. (6). Bederfelijke levensmiddelen, in spoorwagons op dezelfde manier behandeld, bleven beneden $0^{o}$C op reizen van de Amerikaanse Oostkust naar de Westkust en vice versa. Na een reis van 10 dagen dwars door het land kwam een wagonlading in New York aan met een temperatuur van $-120^{o}$F.

Het oversteken van het Amerikaanse continent vraagt maar twee maal bijvullen van de LN, vergeleken bij een 2x per dag opnieuw vullen van de met ijs gekoelde trucks en herhaald controleren van het mechanisme.
100% N of 99%(1) maakt een heel groot verschil, 99% N en 1% zuurstof is beter en vaak opvallend beter. Dixon houdt zijn Oxytrol-contrôlemeters in de vrachtwagens zó afgesteld, dat maar een speling van 1/8 % mogelijk is, maar zou het gehalte tot 100% stijgen, dan wordt automatisch de verzegeling van de deuren verbroken om lucht, dus zuurstof, in te laten.

In de U.S.A. (6) zijn een 300.000 gekoelde trucks en een 70.000 gekoelde trailers, de meeste worden mechanisch gekoeld. Maar er zijn een 4.000 "liquid nitrogen units" in gebruik op trucks en trailers.
Het sterk koelend vermogen van LN speelt dus een grote rol. Alléén N-koeling tijdens vervoer bleek echter niet helemaal te voldoen en was vaak minder goed dan alléén MR, maar de combinatie van N met MR geeft heel goede resultaten (17).

De Carosserie- en Containerfabriek Paul en van Weelde N.V. heeft voor de K.L.M. een container ontworpen, bestemd voor luchtvrachtvervoer, een koelvriescontainer, die een koelsysteem met LN bevat (19). Het model is aangepast aan de rondingen van het vliegtuig, het nuttig laadvermogen bedraagt 3.000 kg, het netto volume is 6.8 $m^3$. De koeling wordt verkregen door toepassing van een polarstreaminstallatie.
Voor een proefvervoer per K.L.M. met aardbeien in 1967 zie onder economische aspekten.

Efir/Gecoma (5) geeft een beschrijving van een "koelketen" die de distributie van bederfelijke levensmiddelen in Europa beter mogelijk maakt. Containers, gebouwd voor het gebruik van LN als koelelement, kunnen op een normale spoorwegwagon of op een oplegger vervoerd worden, iedere eenheid fungeert als een klein koelhuis, wat laden e.d. zeer vereenvoudigt, grote convooien volgen of gaan vooraf aan de T.E.E. In Romont (Zwitserland) waar de Efir gevestigd is, en ook op andere punten in de keten, zijn electronische centra waar de stand van zaken van iedere partij met alle bijzonderheden afgelezen kan worden.

## 2.4 Economische aspecten

LN voor fabriek en vervoer heeft zijn bruikbaarheid bewezen. Wat de economische kant betreft, is het nog twijfelachtig of koelen met LN voordeliger is dan de gevestigde diepvriesmethoden (15).

De prijs van de N is de doorslaggevende factoor.
In de U.S.A. is door de ruimtevaart, die geweldige hoeveelheden N gebruikt en dus fabricage op grote schaal nodig maakt, de prijs redelijk. Maar b.v. in Australië en Zuid-Afrika is het proces te duur en economisch alléén haalbaar bij zeer grote partijen, dure zéér bederfelijke produkten en vervoer over lange afstanden. (6).
Op bescheiden schaal is liquid N freezing al gebruikt door de US krijgsmacht voor de voedselvoorziening op lange afstand van de U.S.A. (15) uit. Gedurende twee jaar is de methode, waarbij gebruik gemaakt wordt van grote geïsoleerde containers, onderzocht. Ze bleek een aanzienlijke besparing te geven.

De kosten (15) van het proces worden bepaald door de wijze van isolatie van koelruimte en -wagen en de kosten van de LN.
Goedkope middelen voor isolatie bij lage temperaturen zijn beschikbaar door de schuimpolystyreen en polyurethaanharsen die de laatste jaren op de markt gekomen zijn.
North American Phillips Co. rapporteert, dat een fabriek die per week 200 l LN produceert in 5 jaar de kosten afgelost heeft bij een prijs van 25.2 d per l. stikstof, terwijl een wekelijks volume van 1000 l dit kan hebben bij een prijs van 8½ ct per l. Nog voordeliger kan het als de N verkregen kan worden als bijprodukt van een naburige zuurstoffabriek.

De hoeveelheid LN die nodig is zal in hoofdzaak afhangen van het vochtgehalte van het produkt (16). Erwten hebben ± 85% water en om 1 lb van 70°F en een eindtemperatuur van 0°F. te vriezen is de verwijdering van ± 170 Btu nodig. De warmtecapaciteit van LN (van -320°F tot 0°F) is 70 Btu/lb en Gerber vond , dat de warmteopbrengst van LN-vriezen 80-85% was. Hieruit volgt, dat 1.25 lb LN 1 lb erwten kan vriezen, maar als de praktische warmte meer efficiënt gebruikt kan worden zou maar 1.13 lb nodig zijn.
Het verbruik van stikstof(15) voor het vriezen van voedingsmiddelen hangt verder af van tijd en afstand van het vervoer, de gevraagde constante temperatuur, het soort voedsel dat behandeld moet worden en de doelmatigheid van de vrachtwagenisolatie: Liquid Carbonic Co. vermeldt een verbruik van 2700 l stikstof om een lading bevroren sap te vriezen en te verzenden in speciaal geïsoleerde opleggers van Californië naar New York.
Liquefreeze Co. (15) oppert, dat koelen met LN concurrerend kan zijn in de voedingsindustrie bij tenminste 75 kleinverpakkingen per minuut bij een 8-urige werkdag.

Een andere minimum capaciteit om met succes te kunnen concurreren is een dagelijks vervoer van tien ton over afstanden van minstens drie dagen. Liquefreeze co. (15) heeft alle mogelijke typen van voedsel vervoerd door een groot deel van de U.S.A. met twee 40 ft. opleggers en een omgebouwde spoorwagon met ijs en zout. Ze streven naar een nieuwe spoorwagon met schuimplastic isolatieplaten voor wanden, vloer en dak, inplaats van de gewone stalen wanden.
In een recente proeftocht werd een lading van 61.000 lb vervoerd van Californië naar New York, over een afstand van 3000 mijlen. Deze arriveerde met een gemiddelde temperatuur van -124°F. Voor handelsdoeleinden kan misschien op een hogere aankomsttemperatuur gemikt worden, wat een besparing geeft in het gebruik van LN.

De voordelen op technisch gebied (21) zijn : snel, eenvoudige apparatuur, gemakkelijk aan te passen aan de bestaande vriesmethode, weinig personeel nodig; geen verlies van gewicht, geen beschadiging van het produkt. Het proces heeft minder trappen en vraagt minder vloerruimte.
Het gebruik van LN in direct contact met het produkt neemt de noodzaak van warmtewisselaars in de vriesuitrusting weg. Afgezien van de vereenvoudiging in ontwerp van de vriezer vervalt met het weglaten van pompen en ventilatoren ook een stuk niet-productieve koeling, met als consequentie geen waterafzetting in koelbuizen en periodiek ontdooien.
Door de LN tevens te gebruiken voor vóórkoelen van het produkt, kan ze zeer economisch gebruikt worden. Een belangrijk punt is ook, dat b.v. aardbeien eerst op grootte gesorteerd worden en de vriescyclus hierop afgesteld kan worden. Hierdoor is het gebruik van de LN ook zo gunstig mogelijk te maken.
Sla, tomaten(3), meloenen, druiven en andere verse produkten kunnen te velde meteen in dozen gepakt worden en zo in de gekoelde vrachtwagens geplaatst worden. Opslaan, voorkoelen en vriezen kan worden overgeslagen. "Direct van teler naar detailhandel".
De ruimte in de vrachtwagen kan beter gebruikt worden, de wagen kan met de dozen helemaal volgestapeld worden, zonder "trekgaten" voor de luchtcirculatie in het midden van de lading (3) (Bij citrusvruchten waren deze "trekgaten" nodig om ziektebeschadiging van de schil te voorkomen). Dit geeft 20% ruimtewinst.
Marktvoordelen (3). Tomaten groen plukken en op de plaats van bestemming laten rijpen is niet meer nodig, rijp plukken is nu mogelijk.
In 1965 werd $\frac{1}{4}$ van de in de U.S.A. verbruikte aardbeien vervoerd onder Oxytrol in het Best Express vrachtwagenareaal van meer dan 100 trailers met grote winst, (15% tot 100% boven de minste kwaliteit.).

Sla, oxytrol[3] vervoerd, bracht 50 ct per doos meer op, asperges tot 3000 dollar meer per oplegger.
De K.L.M. (20) vervoerde op 23 mei 1967 1300 pond aardbeien naar Schiphol die daags te voren in Miami in het Zuiden van de U.S.A. van de koude grond waren geplukt. De kosten van dit vervoer per N-gekoelde container zijn zodanig, dat de prijs voor een groot publiek aantrekkelijk blijft.

## 3. Invloed van vloeibare stikstof op de houdbaarheid van produkten.

### 3.1. Aardbeien

#### 3.1.1. Algemeen

Aardbeien zijn door verschillende onderzoekers vrij intensief onderzocht, speciaal met het oog op transcontinentaal vervoer in de Verenigde Staten van Amerika.
Het is een vrij kostbaar maar ook kwetsbaar produkt.
Over 't algemeen is men het er over eens dat een laag zuurstofgehalte > 0,5 % gunstig is voor de bewaring.

#### 3.1.2. Invloed van de samenstelling van de atmosfeer op de bewaarkwaliteit

##### 3.1.2.1. Stikstof en zuurstof

Hansen (9) deed proeven met Senga Sengana, Gorella en Red Cauntlet. Zowel door een hoog stikstof-, als door een hoog koolzuurgehalte werd de houdbaarheid verbeterd, waarbij een laag zuurstofpercentage als doorslaggevend gold.
Een hoog stikstofgehalte remt de stofwisseling; een hoog koolzuurgehalte doet dat eveneens, leidt echter bij overschrijding van bepaalde waarden tot stofwisselingsstoringen Het gunstigst bleek een stikstofatmosfeer met een zeer laag zuurstofgehalte. Een zuurstofniveau van 4 % gaf slechts een geringe verbetering van de houdbaarheid t.o.v. de controlegroep.
Ook bij ongunstige opslagtemperatuur kunnen aardbeien met behulp van bepaalde atmosferen langer goed gehouden worden.

Tabelle 1
*Versuch 1 bei +4 °C (7 Tage)*

| Charge | Faul bzw. Beeren mit weichen Stellen | Aussehen | Geschmack |
|---|---|---|---|
| Kontrolle (Luft) | 54 % | Gerade noch verkäuflich. Beeren sind etwas zusammengefallen. Stiele und Kelchblätter beginnen sich dunkel zu färben | Etwas alt, z. T. leicht muffig. Kaum noch zu akzeptieren |
| I<br>ca. 98 % $N_2$<br>ca. 1 % $O_2$<br>ca. 0,5 % $CO_2$ | 8,5 % | Noch sehr frisch. Farbe der Stiele und der Kelchblätter blieb gut erhalten | Bedeutend frischer als die Kontrollcharge. Kein Fremdgeschmack |

Tabelle 2
*Versuch 2 bei +4 °C (10 Tage)*

| Charge | Faul bzw. Beeren mit weichen Stellen | Aussehen | Geschmack |
|---|---|---|---|
| 1. 0,5 % $CO_2$, 1 % $O_2$, ca. 98 % $N_2$. | 19 % | Frisches Aussehen, Kelchblätter und Stiele nicht verfärbt | Frischer, angenehmer Erdbeergeschmack |
| 2. 0,5 % $CO_2$, 2 % $O_2$, ca. 97 % $N_2$. | 35 % | Etwa wie Charge 1 | Noch annehmbarer Erdbeergeschmack, doch merklich schlechter als Charge 1 |
| 3. 0,5 % $CO_2$, 4 % $O_2$, ca. 95 % $N_2$. | 43 % | Kaum noch verkaufsfähig. Beeren, Stiele und Kelchblätter z. T. verfärbt | Für den Frischverzehr nicht mehr geeignet. Beeren schmecken alt und überlagert |
| 4. 20 % $CO_2$, 8 % $O_2$, ca. 72 % $N_2$. | 45 % | Kaum noch verkaufsfähig. Viele weiche Beeren. Stiele und Kelchblätter dunkel gefärbt | Leichter Fremdgeschmack, außerdem etwas säuerlich |
| 5. 30 % $CO_2$, 8 % $O_2$, ca. 62 % $N_2$. | 27 % | Sehr viel besser als Charge 4, doch sind die Früchte ebenfalls verfärbt | Fremdgeschmack: prickelnd-säuerlich |
| 6. 40 % $CO_2$, 8 % $O_2$, ca. 52 % $N_2$. | 16 % | Etwa wie Charge 5 | Stärkerer Fremdgeschmack: prickelnd-säuerlich |
| 7. Kontrolle (Luft) | 65 % | Sehr viele weiche Beeren, Stiele und Kelchblätter sind abgestorben und verfärbt | Muffig überlagert. Nicht mehr für den Frischverzehr geeignet |

Tabelle 3
*Versuch 3 bei +15 °C (7 Tage)*

| Charge | Faul bzw. Beeren mit weichen Stellen | Aussehen | Geschmack |
|---|---|---|---|
| 1. 25 % $CO_2$, 8 % $O_2$, ca. 67 % $N_2$. | 55 % | Beeren, Kelchblätter und Stiele haben sich dunkel gefärbt. Nicht mehr verkaufsfähig | Stärkerer Fremdgeschmack: säuerlich pricklig |
| 2. 20 % $CO_2$, 8 % $O_2$, ca. 72 % $N_2$. | 63 % | | |
| 3. 0,5 % $CO_2$, 0,5 - 1 % $O_2$, ca. 98 % $N_2$. | 34 % | Gerade noch verkäuflich. Z. T. sehen die Beeren noch recht frisch aus | Kein Fremdgeschmack, noch relativ gut |
| 4. Kontrolle (Luft) | 100 % | verdorben | ungenießbar |

De meeste onderzoekers zijn 't er over eens, dat aardbeien het beste houdbaar zijn bij een laag zuurstofgehalte, dat echter niet onder 0,5 % mag komen. (Hansen, (9); Best Fertilizers, (1); Harvey, (22) ).
Schimmelvorming wordt hierbij tevens tegengegaan(Ryall, (14); Parsons, (12); Harvey, (22)).
Harvey (22) bewaarde aardbeien gedurende 5 dagen bij 3° C in 0,5 % of minder zuurstof. Na nog 2 dagen opslag bij 15° C in lucht waren deze vruchten beter dan de controlepartij.
Ryall (14) verkreeg ook betere resultaten in lage zuurstofconcentraties.
Hij bewaarde gedurende 3 - 10 dagen bij 3,5° C in 2,5; 7,5 en 15 % zuurstof en als afsluiting 1 dag bij 15° C. Hierbij dient wel te worden aangetekend, dat het $CO_2$ % tijdens de langste bewaarperiode tot boven de 6 % opliep, wat tot een langere houdbaarheid kan hebben bijgedragen.
Volgens Parsons(12) bleven zowel in lucht als in 99 en 100 % stikstof bewaarde aardbeien gedurende 10 dagen goed bij ± 0,5° C.

*Table 4.*—Keeping quality of strawberries held in 99% and 100% $N_2$, and in air, for 4, 7, and 10 days at 33° F.

| Treatment atmosphere | Time of inspection | Sound strawberries after treatment period of | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 4 days | 7 days | 10 days |
| | | % | % | % |
| Air | After treatment | 88 | 70 | 32 |
| 99% $N_2$ | | 74 | 67 | 33 |
| 100% $N_2$ | | 69 | 68 | 37 |
| Air | After treatment plus 3 days in air at 55° F | 36 | 0 | 5 |
| 99% $N_2$ | | 12 | 5 | 11 |
| 100% $N_2$ | | 26 | 21 | 15 |

Dit is in tegenspraak met de bevindingen van andere auteurs, die waarschuwen tegen een zuurstofgehalte lager dan 0,5 %.
In tegenstelling tot deze onderzoekers, die allen nabewaarden bij 15° C, vond er bij Parsons geen dergelijke nabewaring plaats, waaraan hij waarschijnlijk zijn goede resultaten in lucht en 100 % stikstof heeft te danken.
Harvey (22) vond bij bewaring in een zuurstofatmosfeer van 0,25 % of lager afwijkende aroma's in de aardbeien.
Ryall (14) echter, vond bij een smaakkeuring geen verschil in aroma tussen aardbeien, die gedurende 4, 7 of 10 dagen in 100 of 99 % stikstof en die in lucht waren opgeslagen.

3.1.2.2. Koolzuur

Hansen (9)

Zowel een hoog koolzuur- als een hoog stikstofgehalte verlengen de houdbaarheid; het lage zuurstofpercentage is echter doorslaggevend.

Over de tolerantie t.o.v. koolzuur zijn de meningen verdeeld. Volgens Hansen (9) veroorzaakt een atmosfeer van 20 - 40 % $CO_2$ duidelijk waarneembare smaakafwijkingen, terwijl bij een te hoog koolzuurgehalte eveneens stofwisselingsstoringen optreden. (zie tabel 2, pag. 20).

Harvey (22) constateerde echter pas afwijkende aroma's bij 40 % $CO_2$ en niet daar onder. Volgens deze auteur zijn aardbeien zeer tolerant t.o.v. betrekkelijk hoge koolzuurconcentraties en werd koolzuursneeuw vele jaren gebruikt voor het tegengaan van bederf. Vruchten behandeld met 20, 30 of 40 % $CO_2$ gaven minder bederf dan in lucht bewaarde.

Tijdens een handelstransport per vliegtuig bleken hoge koolzuurconcentraties bederf in vruchten met een temperatuur boven 4,5° C tijdens vervoer, terug te dringen. Beneden 4,5° C had koolzuur geen invloed meer.

De volgende tabel geeft het bovenstaande kort weer.

| Auteur | $CO_2$ | $O_2$ | $N_2$ |
|---|---|---|---|
| Hansen, (9) | 20 - 40 % smaakafwijking | 0,5 - 1 %, 4 % geeft geringe verbetering | Hoog |
| Ryall, (14) | | 2,5; 7,5; 15 % in comb. met $CO_2$ beter d. lucht bij 3,5° C | 100 of 99 % bij 0,5° C sneller zacht worden en minder schimmelvorming |
| Parsons, (12) | | aardbeien gedurende 10 dgn. in lucht of in 99 % en 100 % N bewaard, bleven in alle gevallen goed, terwijl schimmelvorming werd vertraagd. Temperatuur: 0,5° C. | |
| Best Fertil., (1) | | 0,75 met als toelaatb. afw. 0,5 % | |

Vervolg tabel.

| Auteur | $CO_2$ | $O_2$ | $N_2$ |
|---|---|---|---|
| Harvey, (22) | 20, 30, 40 % minder bederf dan lucht > 40 % afw.ar. maar niet daar onder. Alleen bij temp.> 4,5° C gaan hoge $CO_2$ concs.schimmel tegen. Onder 4,5° C heeft $CO_2$ geen invl. meer. | 0,5 %, 0,25 % of minder afw. aroma's | |

3.1.2.3. Afwijkingen en beschadigingen

Ryall (14) vond, dat aardbeien, in 100 of 99 % stikstof bewaard, bij ± 0,5° C sneller zacht werden dan in de lucht van dezelfde temperatuur.
Ze schimmelden echter minder in de gemodificeerde atmosferen.
Harvey (22): Zuurstofconcentraties van 0,25 % of minder gaven afwijkende aroma's.

3.1.3. Gekoeld Transport

Divon, (3). In 1965 werd ¼ van de in de U.S.A. verbruikte aardbeien vervoerd onder oxytrol in het Best Express vrachtwagenareaal van meer dan 100 trailers. De winst was groot, 15 tot 100 % boven de minste kwaliteit.

Verpakking, (20). In maart 1967 arriveerden op Schiphol 1300 pond aardbeien, die daags te voren in Miami in het zuiden van de U.S.A. van de koude grond waren geplukt. Ze werden vervoerd in een met stikstof gevulde container. De kosten van dit vervoer zijn zodanig dat de prijs toch voor een groot publiek aantrekkelijk blijft.
De aardbeien werden gehouden op + 3° C, de houdbaarheid van vers geplukte aardbeien kan hierdoor verlengd worden tot 7 à 8 dagen.

3.1.3.1. Methodes, Apparatuur

Webster, (21). Beschrijving van een proefbehandeling (op semi-commerciële schaal) van aardbeien (en andere besvruchten) met vloeibare stikstof.
Voordelen: snel, eenvoudige apparatuur, gemakkelijk aan te passen aan de bestaande vriesmethode, weinig personeel nodig, geen verlies van gewicht, geen beschadiging van het produkt. Het proces heeft minder trappen en vraagt minder vloerruimte en minder personeel. Het gebruik van het koude gas maakt het mogelijk de atmosfeer zeer goed onder controle te hebben. Door de stikstof tevens te gebruiken voor vóórkoelen van het produkt kon ze zeer economisch gebruikt worden.

3.1.4. Diepvriezen

Shipton,(16), heeft metingen gedaan met individuele aardbeien gedompeld in LN. Deze proeven toonden aan dat de gemiddelde temperatuurdaling meer dan 100° F/min. is. Dit zeer snelle vriezen door LN kon ongewenste effecten hebben. Als bij normale temperatuur in LN gedompeld wordt ontstaat een warmtegradiënt van ± 400° F in het produkt. Dit temperatuursverschil veroorzaakt fysieke spanningen waardoor sommige produkten uit elkaar gaan vallen. Dit probleem kan omzeild wordenb.v. door grondig vóórkoelen, door het vriesproces te beginnen met koude gasvormige N voor het produkt aan LN blootgesteld wordt of door pas te vriezen na verpakking.

Sherwood, (15) Aardbeien die bij de conventionele diepvriesmethoden veranderen van uiterlijk en smaak bleven met LN in uitstekende staat en zeer goed van smaak.

Best Fertilizers, (1). Een belangrijk punt is ook dat aardbeien e.d. eerst op grootte gesorteerd worden en de vriescyclus hierop afgesteld kan worden. Hierdoor is het gebruik van de LN ook zo gunstig mogelijk te maken. De vruchten komen van de sorteerband meteen in een korf van roestvrij staal. De tevoren gewogen korf met inhoud wordt dan in de dompelvriezer geplaatst voor een tevoren vastgestelde, automatische vriescyclus. Aan het eind van de vriescyclus (minder dan 60 sec.) stijgt de mand uit de vloeistof en wordt vervoerd naar de pakafdeling.

## 3.2. Sla

### 3.2.1. Algemeen

Bij een zeer bederfelijk produkt als sla is vervoer altijd het moeilijke punt geweest. Ladingen sla, per trein of vrachtauto vervoerd, werden met ijs en zout of mechanisch gekoeld. Toen vloeibare stikstof mogelijkheden bood werden door verschillende onderzoekers hiermede uitgebreide proeven gedaan op het gebied van bewaring en vervoer van sla.
Lipton (11) onderzocht de marktkwaliteit van sla bij lage zuurstofatmosferen, bij verschillende temperaturen. Hierbij werden transportomstandigheden nagebootst en de periode van groothandel tot kleinhandel ingecalculeerd. Deze proeven werden gedaan om nogal uiteenlopende resultaten van verschillende onderzoekers tot klaarheid te brengen en het reageren van de sla op uiteenlopende atmosferen bij verschillende temperaturen te evalueren.
Aangezien beweerd wordt dat een reductie van de ademhalingswarmte een van de voordelen is van het vervoeren van sla bij laag zuurstofgehalte werd de ademhaling bepaald onder verschillende omstandigheden.

### 3.2.2. Invloed van de samenstelling van de atmosfeer op de bewaarkwaliteit

#### 3.2.2.1. Stikstof en zuurstof

Lipton (11) bewaarde sla bij temperaturen van ± 2,5°, 5° en 10° C gedurende 7 dagen in atmosferen met 0, 0.25, 0.5, 1, 2.5 en 8 % zuurstof of in lucht en beoordeelde daarna op kwaliteit. Vervolgens werd nog 3 of 4 dagen in lucht bewaard bij 10° C en weer beoordeeld.
Hij constateerde beschadiging in sla in een atmosfeer van 0 en 0.25 % zuurstof. De beschadiging werd ernstiger naarmate de temperatuur steeg.
Als stikstof gebruikt wordt om te koelen, of als aanvulling op mechanische koeling, moet het zuurstofgehalte rond 1 % of hoger zijn, nooit beneden 0,5 %, omdat bij lagere concentraties gevaar bestaat voor ernstige beschadiging. Het algemeen uiterlijk werd niet belangrijk beïnvloed bij opslag in 0.5 - 8 % zuurstof bij ± 2.5 of 5° C.

Ook Stewart en Harvey (22) waarschuwen tegen een te laag zuurstofgehalte. Stewart toonde in proeven aan, dat sla na een vervoer van 6 weken in stikstof nog voor 100 % eetbaar was tegen normaal 28 %. Er moet echter 0,25 - 4 % zuurstof in de atmosfeer aanwezig blijven als beveiliging tegen anaerobe gisting.

Harvey (22) constateerde beschadiging in een atmosfeer met een zuurstofgehalte beneden 1 %.

Er ontstonden dan dode grijze plekken op de buitenste en dekbladeren terwijl de bladeren in het hart soms ook waren aangetast. Best Fertilizers ( 1 ) en Ryall (14) verkegen daarentegen goede resultaten in 100 % stikstof.

Best Fertilizers (1) vergeleek 9 dagen bewaring bij ± 0,3° C in lucht en in 100 % stikstof. Na 5 dagen was 98 % van de in lucht bewaarde sla licht tot matig door roodbruine vlekjes aangetast, terwijl de sla uit 100 % stikstof helemaal geen vlekken had. Na nog 5 dagen opslag bij ± 13° C was de "lucht" sla voor 100 % aangetast en de "100 % stikstof" sla voor 33 %.

Ryall (14) schrijft: Kropsla verdraagt tot 10 dagen 100 % of 99 % stikstof bij ± 0,3° C; aroma en textuur zijn dan niet aangetast. Als het uit deze bewaring komt, heeft het produkt een waarneembare duffe geur, maar deze verdwijnt volkomen na kort bloot stellen aan lucht. De kwaliteit bleef beter in laag zuurstofgehalte of in 100 % stikstof dan in lucht. Donkerder worden van het snijvlak trad na 7 of 10 dagen in 1 % zuurstof enigszins op; na eenzelfde periode in lucht was het twijfelachtig. Het schijnt mogelijk de afwijkingen bij sla te reduceren bij zeer lage zuurstofconcentraties, maar of concentraties van 5 tot 10 % goed zouden zijn is niet bekend.

Studies van Lipton (11) tonen duidelijk aan dat lage zuurstofatmosferen noch het bederf van de sla stop zetten noch de sla onmiddelijk "in slaap brengen". Vele tabellen en figuren lichten dit artikel toe. Hij vond dat het gebruik van bepaalde lage zuurstofatmosferen onder omstandigheden als bij transcontinentaal vervoer van kropsla zekere duidelijke maar beperkte voordelen heeft.

Bij sla is waarschijnlijk geen gemengd vervoer mogelijk.

De eindconclusie is dat lage zuurstofatmosferen voor sla niet

van grote betekenis zijn behalve met betrekking tot het optreden van roest. Verder dat lage temperaturen niet boven 5° C moeten samengaan met lage zuurstofatmosferen om een maximum aan kwaliteitsbehoud te krijgen.
De mate van ademhaling ($CO_2$-produktie) werd gereduceerd in ½,1 of 5 % zuurstof voor ongeveer een derde tot de helft, vergeleken bij de ademhaling in lucht, afhankelijk van de zuurstofconcentratie en temperatuur. Bij 5° C zou een 50 % afname in $CO_2$-produktie de vitale warmteproduktie reduceren van 40.000 tot 20.000 Btu per dag per 20 ton lading sla. Deze reductie van 20.000 Btu is aequivalent aan het koelvermogen van ongeveer 140 pounds ijs of 115 pounds LN.

3.2.2.2. Koolzuur

Over de rol van koolzuur bij de bewaring van sla zijn geen gegevens bekend.

3.2.2.3. Afwijkingen en beschadigingen

3.2.2.3.1. Roest

Ryall (14). Roest werd merkbaar teruggedrongen in stikstofatmosfeer. Na 9 dagen in zuivere stikstof bij ± 0,5° C géén roest, na nog 5 dagen in ± 13° C 33 % roestvlekken.
Na 9 dagen in lucht bij ± 0,5° C 93 % lichte tot matige aantasting, na nog 5 dagen in ± 13° C is deze matig tot ernstig.

Parsons (12). Roestaantasting wordt verlaagd in stikstofatmosfeer na 10 dagen in 100 % stikstof of 99 % stikstof bij ± 0,5° C (tabel).

Lipton (11). Roestvlekken aanzienlijk lager in alle lage zuurstofatmosferen onafhankelijk van temperatuur. Het grootste pluspunt van stikstof is duidelijk de aanzienlijke teruggang in roestaantasting, zelfs bij zuurstofconcentraties van 8 %. Dit feit, ook opgemerkt door Parsons (12), is verrassend bij hogere zuurstofconcentraties, omdat de mate van $CO_2$-produktie (een maat voor de stofwisselingsactiviteit) aanzienlijk hoger was bij 5 % dan bij ½ of 1 % zuurstof. Het lijkt er daarom op dat de roest aantasting geremd wordt door zuurstofconcentraties die veel hoger liggen dan die de $CO_2$-produktie merkbaar verlagen.

Zeer uitgebreid rapport, grafn., tabn., foto's, lit. opgavn.

Tabel uit Lipton (11).

MARKETING RESEARCH REPORT NO. 777, U.S. DEPT. OF AGRICULTURE

TABLE 1.—*Incidence of russet spotting, severity of pink rib, and overall quality of lettuce held in various low-oxygen atmospheres*

[All values expressed are relative to their percentages in air (21 percent $O_2$). Figures on a given line without a common letter differ at the 95-percent probability level. Averages are for all samples at any one $O_2$ concentration; they are not equal to the averages of each column because of the unequal numbers of samples in each treatment. At least 48 heads were evaluated for each treatment]

| Storage temperature (° F.) | Values for lettuce held 7 days in the following percentages of oxygen [1] plus 3 or 4 days in air at 50° F. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ¼ | 1 | 2 | 5 | 8 | 21 |
| Relative incidence[2] of russet spotting at — | *Pct.* | *Pct.* | *Pct.* | *Pct.* | *Pct.* | *Pct.* |
| 36 | 3 a | 21 a | 7 a | 13 a | 19 a | 100 b |
| 41 | 0 a | 17 a | 19 a | 0 a | 13 a | 100 b |
| 50 | ([3]) | 0 a | 0 a | 0 a | 0 a | 100 b |
| Average | 2 a | 17 a | 9 a | 6 a | 12 a | 100 b |
| Relative severity[4] of pink rib at — | | | | | | |
| 36 | 84 a | 83 a | 89 a | 99 a | 98 a | 100 a |
| 41 | 81 a | 85 a | 82 a | 98 a | 98 a | 100 a |
| 50 | 80 a | 127 cd | 133 d | 117 bcd | 121 cd | 100 abc |
| Average | 82 a | 96 ab | 100 b | 104 b | 105 b | 100 b |
| Relative rating[5] of overall quality at — | | | | | | |
| 36 | 103 a | 104 a | 103 a | 107 a | 106 a | 100 a |
| 41 | 103 a | 105 a | 104 a | 106 a | 101 a | 100 a |
| 50 | 120 b | 138 b | 129 b | 123 b | 127 b | 100 a |
| Average | 107 a | 114 a | 111 a | 112 a | 111 a | 100 a |

[1] Data for zero percent and ¼ percent $O_2$ not included because these atmospheres seriously injured the lettuce.
[2] Actual incidence in air averaged 33 percent at 36° F., 36 percent at 41°, and 14 percent at 50°; average for all temperatures was 31 percent.
[3] No russet spotting occurred in tests that included this treatment.
[4] Actual severity rating in air averaged 2.5 at 36° F., 3.3 at 41°, and 4.5 at 50°; average rating for all temperatures was 3.3. Rating scale used: 1 = none, 3 = trace, 5 = slight, 7 = moderate, 9 = severe.
[5] Actual quality rating of nontrimmed lettuce in air averaged 6.4 at 36° F., 6.2 at 41°, and 4.6 at 50°; average rating for all temperatures was 5.8. Rating scale used: 9 = excellent, 7 = good, 5 = fair, 3 = poor.

The severity of pink rib was reduced significantly in ½ percent $O_2$ (table 1). In contrast, the severity was intensified by 1, 2, 5, or 8 percent $O_2$ at 50° F. in almost every test; the increase was greatest in 2 percent $O_2$ (table 1). Pink rib was sufficiently severe to detract from the market value of much of the lettuce (see table 1, footnote 4). At 36° or 41°, none of the atmospheres affected the severity of pink rib significantly.

The effect of low-$O_2$ atmospheres on the incidence of decay was inconsistent. Although lettuce held in 1 percent $O_2$ had slightly less decay after the simulated transit period plus 3 or 4 days in air (the incidence was 66 percent of that in air) than that from the other atmospheres, none of the differences were statistically significant. Temperature exerted a greater influence on decay than $O_2$ concentration; the incidence of decay increased as temperature increased from 36° to 50° F. Heads held under low $O_2$ at 50° had consistently more decay than those held in air at 36° or 41°. No trend existed in respect to severity of decay. The decay that did occur was usually confined to the wrapper leaves and was not serious.

Butt discoloration varied widely within a given treatment but was generally less severe in ½ percent or 1 percent $O_2$ than in air (pl. 3). Holding the lettuce 3 or 4 days in air at 50° F. completely negated any differences that existed immediately after the lettuce was removed from ½ or 1 percent $O_2$. The cut surface remained white only at zero or ¼ percent $O_2$, concentrations that injured the lettuce severely.

Stewart (18). Lage zuurstofatmosferen in N-trailers drongen roestaantasting aanzienlijk terug in de enige proef waarin deze kwaal duidelijk optrad. Dat lage zuurstofatmosferen roest sterk terugdringen kunnen, kwam ook hier duidelijk naar voren. Fign., tabn.

Idem, 17. Vóórkomen van roestvlekken aanzienlijk lager in N en NMR-trailers.

De volgende tabellen van Lipton (11) geven een indruk van de proeven .

TABLE 5.—*Market-quality ratings of lettuce after shipment in trailers refrigerated with liquid nitrogen (N) vs. after shipment in conventional trailers with mechanical refrigeration (MR)*

[Each rating represents average of ratings from 7 replicated test trailers]

| Time of examination | Trailer type [1] | External-appearance rating [2] | | Butt-discoloration rating [3] |
|---|---|---|---|---|
| | | With wrapper leaves | Without wrapper leaves | |
| Arrival | N | 3.3 | 3.5 | 4.0 |
| Do | MR | 3.5 | 3.7 | 3.6 |
| 4 days after arrival [4] | N | 2.8 | 3.0 | 3.9 |
| Do [4] | MR | 3.1 | 3.2 | 3.9 |
| Statistical significance [5] | | | | |
| Trailer type (T) | | * | NS | * |
| Examination (E) | | ** | ** | NS |
| T X E | | NS | NS | NS |

[1] N, liquid nitrogen refrigeration (low-oxygen atmosphere); MR, mechanical refrigeration (normal atmosphere).
[2] Rating scale: 1, unsalable; 2, poor; 3, fair; 4, good; 5, excellent.
[3] Rating scale: 1, none; 2, trace; 3, slight; 4, moderate; 5, severe.
[4] Held at 50° F.
[5] NS, not significant; *, significant at 5-percent level; **, significant at 1-percent level.

TABLE 6.—*Severity ratings and incidence of various disorders of trimmed lettuce heads after shipment in trailers refrigerated with liquid nitrogen (N) vs. after shipment in conventional trailers with mechanical refrigeration (MR)*

| Time of examination | Trailer type [1] | Severity of indicated disorder [2] [3] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay | Russet spotting | Pink rib | Tipburn | Rib discoloration |
| Arrival | N | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.1 |
| Do | MR | 1.1 | 1.3 | 1.0 | 1.1 | 1.1 |
| 4 days after arrival [4] | N | 1.9 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.1 |
| Do [4] | MR | 1.5 | 1.5 | 1.1 | 1.2 | 1.0 |
| Statistical significance: [5] | | | | | | |
| Trailer type (T) | | * | NS | NS | NS | NS |
| Examination (E) | | ** | ** | * | NS | NS |
| T X E | | NS | NS | NS | NS | NS |

| Time of examination | Trailer type [1] | Incidence of indicated disorder [6] [7] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay | Russet spotting | Pink rib | Tipburn | Rib discoloration |
| | | *Percent* | *Percent* | *Percent* | *Percent* | *Percent* |
| Arrival | N | 6.2 | 3.7 | 0.6 | 3.8 | 1.7 |
| Do | MR | 1.3 | 6.0 | .7 | 2.1 | 1.7 |
| 4 days after arrival [4] | N | 25.5 | 8.5 | 6.0 | 3.9 | 4.0 |
| Do [4] | MR | 12.1 | 25.2 | 4.0 | 3.8 | 2.1 |
| Statistical significance: [5] | | | | | | |
| Trailer type (T) | | ** | ** | NS | NS | NS |
| Examination (E) | | ** | ** | * | NS | NS |
| T X E | | NS | NS | NS | NS | NS |

[1] N, liquid nitrogen refrigeration (low-oxygen atmosphere); MR, mechanical refrigeration (normal atmosphere).
[2] Each rating is average of ratings from 7 replicated test trailers, except for tipburn (6 replications).
[3] Rating scale: 1, none; 2, trace; 3, slight; 4, moderate; 5, severe.
[4] Held at 50° F.
[5] NS, not significant; *, significant at 5-percent level; **, significant at 1-percent level.
[6] Each percentage based on 9 replicated test trailers, except tipburn (6 replications) and rib discoloration (7 replications).
[7] Geometric mean of percentage of heads affected.

TABLE 7.—*Market-quality ratings of lettuce after shipment in trailers with liquid nitrogen plus mechanical refrigeration (NMR) vs. after shipment in conventional trailers with mechanical refrigeration (MR)*

[Each rating represents average of ratings from 5 replicated test trailers, except "external appearance with wrapper leaves" (4 replications)]

| Time of examination | Trailer type [1] | External-appearance rating [2] | | Butt-discoloration rating [3] |
|---|---|---|---|---|
| | | With wrapper leaves | Without wrapper leaves | |
| Arrival | NMR | 3.4 | 3.6 | 3.8 |
| Do | MR | 3.5 | 3.6 | 4.0 |
| 4 days after arrival [4] | NMR | 3.0 | 3.4 | 4.1 |
| Do [4] | MR | 3.0 | 3.2 | 4.0 |
| Statistical significance: [5] | | | | |
| Trailer type (T) | | NS | NS | NS |
| Examination (E) | | * | ** | NS |
| T X E | | NS | NS | NS |

[1] NMR, liquid nitrogen plus mechanical refrigeration (low-oxygen atmosphere); MR, mechanical refrigeration (normal atmosphere).
[2] Rating scale: 1, unsalable; 2, poor; 3, fair; 4, good; 5, excellent.
[3] Rating scale: 1, none; 2, trace; 3, slight; 4, moderate; 5, severe.
[4] Held at 50° F.
[5] NS, not significant; *, significant at 5-percent level; **, significant at 1-percent level.

TABLE 8.—*Severity ratings and incidence of various disorders of trimmed lettuce heads after shipment in trailers with liquid nitrogen plus mechanical refrigeration (NMR) vs. after shipment in conventional trailers with mechanical refrigeration (MR)*

| Time of examination | Trailer type [1] | Severity of indicated disorder [2] [3] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay | Russet spotting | Pink rib | Tipburn | Rib discoloration |
| Arrival | NMR | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| Do | MR | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 4 days after arrival [4] | NMR | 1.2 | 1.5 | 1.3 | 1.2 | 1.4 |
| Do | MR | 1.3 | 1.6 | 1.2 | 1.3 | 1.3 |
| Statistical significance: [5] | | | | | | |
| Trailer type (T) | | NS | NS | NS | NS | NS |
| Examination (E) | | ** | NS | ** | NS | NS |
| T X E | | NS | NS | NS | NS | NS |

| Time of examination | Trailer type [1] | Incidence of indicated disorder [6] [7] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Decay | Russet spotting | Pink rib | Tipburn | Rib discoloration |
| | | *Percent* | *Percent* | *Percent* | *Percent* | *Percent* |
| Arrival | NMR | 0.8 | 2.1 | 3.3 | 4.9 | 9.0 |
| Do | MR | 1.6 | 6.9 | 5.7 | 4.3 | 9.5 |
| 4 days after arrival [4] | NMR | 8.4 | 8.4 | 6.3 | 8.4 | 10.0 |
| Do [4] | MR | 10.9 | 11.1 | 6.4 | 15.3 | 9.7 |
| Statistical significance: [5] | | | | | | |
| Trailer type (T) | | NS | * | NS | NS | NS |
| Examination (E) | | ** | * | NS | ** | NS |
| T X E | | NS | NS | NS | NS | NS |

[1] NMR, liquid nitrogen plus mechanical refrigeration (low-oxygen atmosphere); MR, mechanical refrigeration (normal atmosphere).
[2] Each rating is average of ratings from 5 replicated test trailers.
[3] Rating scale: 1, none; 2, trace; 3, slight; 4, moderate; 5, severe.
[4] Held at 50° F.
[5] NS, not significant; *, significant at 5-percent level; **, significant at 1-percent level.
[6] Each percentage based on 5 replicated test trailers.
[7] Geometric mean of percentage of heads affected.

3.2.2.3.2. Verkleuring van het snijvlak van de wortel

Parsons (12). 10 Dagen in 100 % stikstof of 99 % stikstof bij ± 0,5° C "butt discoloration" verlaagd. Tabn.

Lipton (11). In het algemeen minder sterk in ½ % en 1 % zuurstof dan in lucht; wanneer de sla ná de stikstofbewaring nog 3 of 4 dagen in lucht wordt bewaard is de verkleuring gelijk aan die van sla uitsluitend in lucht bewaard.

Stewart (18). Bij vergelijk van de N-trailers en MR-trailers, iets minder verkleuring in N-trailers; waarschijnlijk meer te danken aan lage temperatuur dan aan stikstof.

3.2.2.3.3. Browning reaction

Lipton (11). Hangt samen met "butt discoloration"; kan alleen worden voorkomen in bijna anaerobe omstandigheden, blijkt uit proeven van Stewart, Parsons e.a.

3.2.2.3.4. Pink rib

Lipton (11). Niet beïnvloed door lage zuurstofatmosferen, wel significant minder in ½ % zuurstof bij alle test-temperaturen maar toenemend in 1-8 % zuurstof bij 10° C, de grootste toename bij 2 % $O_2$. Bederf liep iets terug in 1 % zuurstof. Lage temperaturen speelden een grotere rol in het teruglopen van bederf dan lage zuurstofgehalten.

Idem. Ook een gevolg van oxydatieve ontkleuring werd zelfs verhoogd in 1 % of 2 % zuurstof, maar verlaagd in ½ % zuurstof bij 10° C.

Stewart (18). Pink rib werd niet beïnvloed door het type trailer maar nam toe gedurende 4 dagen bij 10° C in sla uit beide typen trailers (MR, N of NMR).

Op grond van de resultaten van gedane proeven kan men tot de conclusie komen dat de omstandigheden die tot roestvlekken leiden aanzienlijk verschillen van de omstandigheden die „pink rib" veroorzaken.

Harvey (22). Sla in atmosferen van 1 tot 8 % zuurstof hadden minder roestvlekken dan in lucht bewaarde sla. Vervoerproeven met sla in N-gekoelde trailers of MR-trailers met bovendien stikstof toonden ook een vermindering van roest.

*Table 1.*—Russet spotting of head lettuce held 9 days at 33° F in 100% $N_2$ and in air, then displayed 5 days at 55°.

| Holding period and type atmosphere | Heads affected with russet spotting | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Slight | Moderate | Severe | Total |
| | % | % | % | % |
| 9 days: | | | | |
| Air | 73 | 20 | 0 | 93 |
| $N_2$ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 days plus 5 days 55° | | | | |
| Air | 27 | 40 | 33 | 100 |
| $N_2$ | 33 | 0 | 0 | 33 |

### 3.2.3. Gekoeld Transport

Stewart (17) deed een vergelijkende proef met vervoer van sla in trailers met enkel stikstof-koeling (N), stikstof-koeling plus mechanische koeling (NMR) en alleen mechanische koeling (MR). De volgende tabellen (Lipton (11)) geven hiervan een indruk van eenzelfde vergelijkende proef.

TABLE 2.—*Temperatures during shipment of lettuce in trailers refrigerated with liquid nitrogen (N) vs. during shipment in trailers with mechanical refrigeration (MR)*

| Trailer No. | Trailer type [1] | Thermostat setting | Average transit temperatures | | | | | | Maximum temperature at destination [4] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Inside air at ceiling | Load average | Coolest position [2] | Warmest position [3] | Outside air | | |
| | | | | | | | Average low | Average high | |
| | | °F. | °F. | °F. | °F. | °F. | °F. | °F. | °F. |
| 1 | N | 45 | ---------- | 39 | 37 | 43 | 60 | 90 | 54 |
| 2 | MR | 36 | ---------- | 35 | 34 | 36 | 60 | 90 | 37 |
| 3 | N | 45 | ---------- | 41 | 37 | 44 | 60 | 90 | 55 |
| 4 | MR | 36 | ---------- | 35 | 34 | 37 | 60 | 90 | 43 |
| 5 | N | ---------- | 45 | 39 | 36 | 42 | 25 | 45 | 39 |
| 6 | MR | 36 | 36 | 37 | 36 | 38 | 25 | 45 | 39 |
| 7 | N | 36 | 53 | 43 | 39 | 50 | 64 | 84 | 60 |
| 8 | MR | 36 | 38 | 38 | 37 | 39 | 64 | 84 | 41 |
| 9 | N | 36 | 46 | 41 | 37 | 46 | 58 | 77 | 53 |
| 10 | MR | 36 | 35 | 36 | 35 | 38 | 58 | 77 | 42 |
| 11 | N | 39 | 43 | 40 | 37 | 43 | ------- | ------- | 50 |
| 12 | MR | 36 | 36 | 36 | 35 | 37 | ------- | ------- | 39 |
| 13 | N | 45 | 47 | 38 | 36 | 41 | 45 | 70 | ---------- |
| 14 | MR | 36 | 35 | 36 | 35 | 37 | 45 | 70 | ---------- |
| 15 | N | 34 | 54 | 46 | 36 | 52 | 56 | 91 | 66 |
| 16 | MR | 34 | 31 | 35 | 33 | 39 | 56 | 91 | 42 |
| 17 | N | 37 | 51 | 44 | 39 | 52 | 54 | 79 | 61 |
| 18 | MR | 36 | 38 | 39 | 38 | 41 | 54 | 79 | 41 |
| | Average: | | | | | | | | |
| | N | ---------- | ---------- | 41 | 37 | 46 | ------- | ------- | 55 |
| | MR | ---------- | ---------- | 36 | 35 | 38 | ------- | ------- | 41 |

[1] N, liquid nitrogen refrigeration (low-oxygen atmosphere); MR, mechanical refrigeration (normal atmosphere).
[2] Coolest average transit temperature; not coolest position in load at all times during transit.
[3] Warmest average transit temperature; not warmest position in load at all times during transit.
[4] Manual temperatures obtained by U.S. Department Agriculture personnel during unloading.

TABLE 3.—*Temperatures during shipment of lettuce in trailers refrigerated with liquid nitrogen plus mechanical refrigeration (NMR) vs. during shipment in conventional trailers with mechanical refrigeration (MR)*

| Trailer No. | Trailer type [1] | Thermostat setting | Average transit temperatures | | | | | | Maximum lettuce temperature at destination [4] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Inside air at ceiling | Load average | Coolest position [2] | Warmest position [3] | Outside air | | |
| | | | | | | | Average low | Average high | |
| | | °F. | °F. | °F. | °F. | °F. | °F. | °F. | °F. |
| 19 | NMR | 34 | 36 | 42 | 41 | 43 | 58 | 86 | 38 |
| 20 | MR | 34 | 41 | 45 | 44 | 46 | 58 | 86 | 41 |
| 21 | NMR | 36 | 40 | 41 | 40 | 42 | 60 | 83 | 42 |
| 22 | MR | 36 | 40 | 41 | 39 | 43 | 60 | 83 | 42 |
| 23 | NMR | 38 | 33 | 37 | 34 | 38 | 63 | 92 | 38 |
| 24 | MR | 38 | 37 | 42 | 38 | 44 | 63 | 92 | 40 |
| 25 | NMR | 35 | ---------- | 37 | 36 | 37 | ------- | ------- | 40 |
| 26 | MR | 36 | 37 | 38 | 37 | 40 | ------- | ------- | 41 |
| 27 | NMR | 34 | 35 | 38 | 37 | 38 | 37 | 46 | 40 |
| 28 | MR | 34 | 35 | 36 | 35 | 37 | 37 | 46 | 35 |
| 29 | NMR | 34 | 33 | 35 | 33 | 37 | 33 | 53 | 38 |
| 30 | MR | 34 | ---------- | 40 | 40 | 41 | 33 | 53 | 44 |
| | Average: | | | | | | | | |
| | NMR | ---------- | ---------- | 38 | 37 | 39 | -------- | -------- | 39 |
| | MR | ---------- | ---------- | 40 | 39 | 42 | -------- | -------- | 41 |

[1] NMR, liquid nitrogen plus mechanical refrigeration (low-oxygen atmosphere); MR, mechanical refrigeration (normal atmosphere).
[2] Coolest average transit temperature; not coolest position in load at all times during transit.
[3] Warmest average transit temperature; not warmest position in load at all times during transit.
[4] Manual temperatures obtained by U.S. Department Agriculture personnel during unloading.

TABLE 4.—*Oxygen and carbon dioxide concentrations in test trailers of lettuce shipped from California to midwestern and east coast markets*

| Trailer No. | Trailer type [1] | $O_2$ level after purging | $O_2$ level control | Atmosphere composition at indicated place | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Shipping point | | Destination | |
| | | | | $O_2$ | $CO_2$ | $O_2$ | $CO_2$ |
| | | *Percent* | *Percent* | *Percent* | *Percent* | *Percent* | *Percent* |
| 1 | N | | | | | 7.4 | 2.0 |
| 2 | MR | | | | | | |
| 3 | N | | | | | 3.8 | 1.0 |
| 4 | MR | | | | | | |
| 5 | N | | [2] 3.5 | | | | |
| 6 | MR | | | | | | |
| 7 | N | | [2] 3.0 | 6.5 | 1.0 | 1.7 | 7.1 |
| 8 | MR | | | 20.5 | 0 | [2] 17.7 | [2] 2.5 |
| 9 | N | | [2] 3.0 | 7.0 | 2.0 | [2] 1.2 | |
| 10 | MR | | | 19.0 | 1.0 | | |
| 11 [3] | N | | | 12.0 | | 3.7 | 5.0 |
| 12 | MR | | | 20.6 | | 20.0 | .4 |
| 13 [3] | N | | | 13.7 | 1.6 | .2 | 1.3 |
| 14 [4] | MR | | | 19.0 | 1.5 | 16.3 | 1.3 |
| 15 [4] | N | | | 1.0 | .9 | | |
| 16 [4] | MR | | | 19.2 | 1.6 | | |
| 17 [4] | N | | | 15.5 | 1.9 | 8.8 | 2.9 |
| 18 [4] | MR | | | 20.5 | .3 | 20.4 | .4 |
| 19 | NMR | | | 4.9 | | 2.0 | |
| 20 | MR | | | | | | |
| 21 | NMR | [5] 1.5 | | 7.5 | | 18.8 | 2.0 |
| 22 | MR | | | 20.0 | | 20.0 | 1.0 |
| 23 [4] | NMR | 1.8 | | 4.7 | 1.0 | 13.9 | 1.0 |
| 24 [4] | MR | | | 17.8 | 2.5 | 16.1 | 2.0 |
| 25 | NMR | [5] 1.0 | | | | 16.4 | 3.4 |
| 26 | MR | | | | | | 1.2 |
| 27 | NMR | [5] 1.5 | | | | 6.1 | 2.3 |
| 28 | MR | | | | | | |
| 29 | NMR | [5] 2.0 | | | | 17.4 | 1.5 |
| 30 | MR | | | | | 18.3 | 2.4 |

[1] N, liquid nitrogen refrigeration (low-oxygen atmosphere); MR, mechanical refrigeration (normal atmosphere); NMR, liquid nitrogen plus mechanical refrigeration (low-oxygen atmosphere).
[2] Data obtained by Linde Co. personnel.
[3] Vacuum was broken by nitrogen after vacuum cooling of lettuce.
[4] Atmosphere measurements obtained the day after loading.
[5] Data obtained by Best Express Co. personnel.

Alleen N-koeling bleek slecht te voldoen omdat de temperatuurverschillen in de lading veel te groot waren en de gemiddelde temperatuur van de lading vaak te hoog, vooral tijdens het laatste deel van de reis. Bederf was in deze trailers aanzienlijk hoger dan in de conventionele MR-trailers, door de hoge temperatuur (vóórkomen van roestvlekken was aanzienlijk lager in N- en NMR-trailers); NMR- en MR-trailers hadden dezelfde temperatuur en precies dezelfde mate van bederf.

Methodiek. Ladingen vacuümgekoelde sla werden van Californië naar het Midden Westen en het Oosten vervoerd in 15 paar trailers, de meeste 's zomers, enkele in de wintermaanden. Ieder paar bestond uit een MR-trailer en óf een N- of een NMR-trailer. Volgt een beschrijving van waar de N- leiding werd aangebracht in de verschillende wagens, waar thermostaten, hoe convectie in de laadruimte tot stand kwam, hoe het controlesysteem werkte, enz.

Resultaten. Zuurstof en koolzuur werden gemeten; de hoogste $CO_2$-concentratie werd gevonden in een N-trailer en was 7,1 % bij aankomst. Constante concentraties van 5 à 10 % $CO_2$ zijn waarschijnlijk schadelijk voor sla. Volgt een beschouwing over de kwaliteit van de sla bij aankomst en de mate van beschadiging, een en ander verduidelijkt door tabellen en tekeningen. In 1968 deed Stewart weer vergelijkende proeven met vervoer van sla over lange afstanden om de transittemperaturen en de marktkwaliteit te bestuderen. Er werden vergelijkingen gemaakt tussen trailers waarin LN gebruikt werd zowel om de lading te koelen als om de atmosfeer te veranderen en trailers met conventionele mechanische koelsystemen en de normale atmosfeer. De gemiddelde temperatuur onderweg was $\pm$ 2,5° C in de N-trailers en $\pm$ 4° C in de gewone (MR-) trailers. De gemiddelde verschillen binnen de ladingen waren in beide typen trailer $\pm$ 1 à 2° C. De zuurstofconcentraties in de N-trailer lagen tussen gem. 3,3 en 3,8 %.

De marktkwaliteit van de sla uit beide typen trailer was in het algemeen bevredigend bij aankomst. De verschillen in marktkwaliteit waren waarschijnlijk meer te danken aan de lagere temperaturen tijdens het vervoer in de N-trailers dan aan de gemodificeerde atmosferen.

Een en ander verduidelijkt met figuren en tabellen.

Andere proeven toonden o.a. aan dat sla na een vervoer onder stikstof van zes weken nog voor 100 % eetbaar was, tegen normaal 28 %.

Echter, ongeveer 0,25 % tot 4 % zuurstof moet aanwezig blijven in de beschermende atmosfeer als beveiliging tegen anaerobe

gisting in de stikstofatmosfeer. Ook dit gehalte kan afgesteld en automatisch geregeld worden.
Union Carbide (2) geeft als beste vervoerstemperatuur voor sla 0 - ± 2.5° C.

Dixon deelt mede dat sla, "oxytrol" vervoerd , 50 ct. per doos meer opbracht.
De sla kan te velde meters in dozen gepakt worden en zo in de gekoelde oxytrol-wagens gepakt worden "from grower to grocer".
Volgens Lipton heeft de toepassing van bepaalde lage zuurstofatmosferen onder omstandigheden als bij transcontinentaal vervoer van kropsla zekere duidelijke, maar beperkte voordelen.

## 3.3. Tomaten

### 3.3.1. Algemeen

Tomaten zijn moeilijk te bewaren. De beste bewaartemperatuur is ± 13° C. Over de R.V. is niet veel bekend.
Daarbij komt dat men tomaten kan plukken in verschillende stadia van rijpheid. Elk stadium vertoont een eigen verloop van de narijping. Van invloed op deze narijping zijn temperatuur, relatieve vochtigheid en samenstelling atmosfeer. En ieder stadium van rijpheid reageert op z'n eigen wijze op deze 3 factoren. Vandaar dat vele proeven gericht zijn op het onderzoek naar de afrijping onder invloed van diverse atmosferen.

### 3.3.2. Invloed van samenstelling van de atmosfeer op de bewaarkwaliteit

#### 3.3.2.1. Afwijkingen en beschadigingen t.g.v. een veranderde atmosfeer.

Ryall (14), Best Fertilizers (1), Parsons (12) en Harvey (22) constateerden afwijkingen bij tomaten, die enige tijd in 100 % stikstof waren bewaard. Ze kregen een slecht aroma, waren beschadigd en/of rijpten niet meer na.
Ryall (14) en Best Fertilizers (1) vonden abnormale aroma's bij "pink" tomaten na opslag van 4 dagen bij ± 15° C in 100 % stikstof. Volgens Best Fertilizers (1) rijpten deze tomaten, na 10 dagen opslag in genoemde atmosfeer, niet helemaal. Indien groene tomaten gedurende 10 dagen in 100 % stikstof waren geweest bedierven ze in normale lucht voordat ze rijp konden worden.

Parsons (12) vermeldt beschadiging bij tomaten, die eerst in 100 % stikstof waren bewaard, terwijl ze bovendien niet volledig rijpten. Smaak en aroma werden niet aangetast, als ze 4 dagen in 100 % stikstof of tot 10 dagen in 99 % stikstof bewaard waren geweest.
Harvey (22) vermeldt beschadiging bij tomaten, speciaal de rijpgroene indien deze bewaard waren in een atmosfeer met minder dan 1 % zuurstof of meer dan 5 % koolzuur. Volgens Best Fertilizers (1) zijn juist de rijpgroene tomaten sterker dan de meer doorgekleurde.
In een proef van Ryall (14) waren rijpgroene tomaten, die 7 dagen in 100 % stikstof bij ± 15° C waren geweest, ernstig beschadigd. De vruchten kregen bruine plekken, die niet meer rood werden. Ook niet nadat ze in een normale atmosfeer waren gebracht.

3.3.2.2. Invloed van de atmosfeer op de rijping

Ryall (14), Best Fertilizers (1) en Parsons (12) constateerden een vertraagde rijping tot een verkoopbare staat bij tomaten, die eerst waren opgeslagen bij een temperatuur van ± 15° C in een atmosfeer met 99 % stikstof en vervolgens waren overgebracht naar normale lucht van ± 21° C.
Ryall (14) vond, dat de rijpingstijd door de stikstofatmosfeer meer dan verdubbeld werd.
Rijpgroene tomaten bewaard gedurende 7 dagen in 100 % of 99 % stikstof bij ± 15° C ontwikkelden helemaal geen rode kleur, terwijl de helft van de partij in lucht bewaard gedurende dezelfde tijd begon te kleuren. De vertraging in rijping in de behandelde partijen bleef na overbrengen in normale lucht bij ± 21° C. Dertien dagen na behandeling was slechts 11 % van de in 100 % stikstof behandelde tomaten rijp. Gedurende dezelfde periode rijpten de meeste "99 % stikstof" vruchten.
Alle onbehandelde vruchten werden helemaal rijp of overrijp.
Een serie proeven vergeleek het rijpen van rijpgroene tomaten die 3 tot 10 dagen bij 55° F bewaard waren in 2,5, 7,5 en 15 % zuurstof (ingesteld met stikstof) en lucht. De rijping werd enigszins vertraagd in 2,5 en 7,5 % zuurstof, maar bleek normaal doorgang te vinden na overbrengen in lucht bij ± 15° C. Tomaten die in 15 % zuurstof in gesloten ruimten bewaard wer-

den rijpten wat sneller dan in lucht. Dit is mogelijk toe te schrijven aan de toeneming van aethyleen in de gesloten ruimte
Best Fertilizers (1) vond, dat groene tomaten stikstof beter verdroegen dan "pink" tomaten.
Na opslag bij ± 15° C in 100 % stikstof gedurende 4 - 7 dagen of in 99 % stikstof tot 10 dagen, rijpten de groene vruchten voldoende, na in lucht van ± 21° C gebracht te zijn.
Harvey (22) vond, dat tomaten langzamer rijp werden in een lage zuurstof- of hoge koolzuuratmosfeer dan in lucht.

Men is het er over eens dat tomaten minstens 1 - 2½ % zuurstof nodig hebben tijdens de bewaarperiode om daarna in gewone lucht te kunnen afrijpen.
De bewaarperiode varieert van 7 tot 10 dagen.

## 3.4. Andere produkten

### 3.4.1. Algemeen

Van de hieronder genoemde produkten is slechts hier en daar een gegeven gevonden. Deze gegevens worden alfabetisch behandeld volgens produkt.

### 3.4.2. Asperges

Volgens Harvey (22) worden asperges ernstig beschadigd in een zuurstofvrije atmosfeer (100 % stikstof). Wanneer het zuurstofpercentage beneden 5 % daalt kunnen, afhankelijk van tijd en temperatuur, ook beschadigingen optreden. Onder nagebootste transportomstandigheden waren er geen voordelen wanneer het produkt in lage zuurstofatmosferen (1,5 of 10 % $O_2$) werd bewaard.
Verhoogde koolzuurpercentages geven daarentegen wel voordelen. Zacht rot wordt minder in atmosferen met 5 tot 10 % $CO_2$, zonder dat de punten worden beschadigd. Koolzuur bevordert ook de heldere groene kleur na koken en vertraagt het taai worden van de punten.
Best Fertilizers (1) geeft als ideaal zuurstofgehalte 1½ % en als toelaatbare afwijking daarvan ¼ %.

Opgemerkt moet worden dat het produkt als boven bedoeld, waarschijnlijk groene asperges zijn.

3.4.3. Bananen

Volgens Ryall (14) rijpten of kleurden groene bananen niet in zuivere stikstof bij een temperatuur van ± 15° C. Een verblijf van 40 uur in zuivere stikstof verhinderde daarna de rijping in lucht bij ± 21° C niet. Rijpe bananen werden niet beschadigd na een verblijf van 40 uur in 100 % stikstof bij een temperatuur van ± 15° C. Dezelfde resultaten had Best Fertilizers (1) met groene tomaten, welke normaal afrijpten na overbrengen in normale lucht. Ryall (14) en Best Fertilizers (1) vermelden beide dat bananen, na 7 dagen of langer in zuivere stikstof niet meer normaal afrijpten in lucht.

Ryall (14) vond dat groene bananen tot een periode van 10 dagen in 99 % stikstof (dus 1 % zuurstof) opgeslagen, normaal afrijpten na overbrenging in normale lucht van ± 21° C. Aroma en kleur waren gelijk aan die van in lucht bewaard produkt.

Deze onderneming had ook Best Fertilizers (1). Bananen rijpte iets gedurende 10 dagen opslag in 99 % stikstof bij 15° C, terwijl de rijping zich daarna in lucht verder normaal voltrok. Ook hier geen verschil in kleur en aroma met het in lucht bewaarde produkt.

Ryall (14) merkt op dat er na een bewaarperiode van 7 dagen in 99 % stikstof nog eens een narijping van 7 dagen nodig is bij 21° C in lucht.

Daar staat tegenover dat steeds in lucht bewaard produkt in 3 dagen bij 21° C reeds narijpte.

Parsons (12) vertraagde de rijping van groene bananen in 99 % stikstof bij 15° C. Deze rijpten, na overbrengen in lucht, langzaam tot een verkoopbaar produkt.

Ryall (14) en Best Fertilizers (1) vermelden dat vruchten die 7 dagen of langer in 100 % stikstof waren bewaard, niet meer normaal rijpten in lucht. Ryall (14) constateerde een "geschroeid" uiterlijk van de vruchten terwijl Best Fertilizers melding maakt van vruchten die hard bleven en afwijkende aroma's ontwikkelden.

Ryall (14) heeft soortgelijke ervaringen met rijpe bananen

welke gedurende 4 dagen in 100 % stikstof waren opgeslagen, nl. afwijkende aroma's en meer zacht worden. Dit is in tegenspraak met de bevindingen van Parsons ( 12), die veel beschadiging en onvolledig rijpen constateerde bij vruchten die eerst in 100 % stikstof waren bewaard.
Echter geen aantasting van smaak en aroma bij vruchten die 4 dagen in 100 % stikstof of tot 10 dagen in 99 % stikstof waren opgeslagen.
'nkele andere geconstateerde afwijkingen waren:
Best Fertilizers (1): grijs en schilferig vruchtvlees na 10 dagen in 100 % stikstof;
bruine schilverkleuring van groene bananen tijdens rijping in lucht na 10 dagen 100 % stikstof.
Ryall (14): zwarte plekken op schil van rijpe bananen na 10 dagen opslag in 100 % stikstof.

3.4.4. Bloemkool

Bloemkool wordt grijs en ontwikkelt een afwijkend aroma bij koken wanneer bewaard is in een % koolzuur van 5 of hoger. Deze beschadiging is niet altijd duidelijk in rauwe toestand. Bij het gebruik van niet geperforeerde plastic wikkels kan door te hoge $CO_2$-concentraties dezelfde beschadiging optreden.

3.4.5. Broccoli (1)

Best Fertilizers geeft voor broccoli als ideaal zuurstofgehalte 1½ % met een toelaatbare afwijking van 1¼ %.

3.4.6. Druiven

In conventionele C.A.-ruimten blijven druiven niet goed.
Best Express heeft druiven goed kunnen houden tijdens vervoer in een $CO_2$- vrije ruimte, via vloeibare stikstof.

3.4.7. Koolraap

Volgens Ryall (14) worden kleur, smaak en bewaarkwaliteit van koolraap niet meetbaar beïnvloed door 4, 7 of 10 dagen bewaren in 100 % stikstof bij 0° C.

3.4.8. Perziken

Perziken die 4 dagen of langer bij ± 15° C in 100 % stikstof

werden bewaard, ontwikkelden afwijkende aroma's (Ryall,(14), en Parsons, (12),).
In 99 % stikstof was dit niet het geval (Ryall, (14), en Parsons, (12),). Zelfs na 10 dagen in 99 % stikstof bij ± 15° C trad geen afwijkend aroma op en rijpten de vruchten normaal na.(Ryall, (14), en Harvey , (22),).
Tussentijds luchten bij een opslag in 100 % stikstof gaf geen verbetering. Er ontstonden toch afwijkende aroma's (Ryall, (14)).
Volgens Parsons (12) vertraagde opslag in 99 % stikstof het optreden van bederf. De volgende tabel is ontleend aan Parsons, (12).

*Table 5.*—Decay of peaches inoculated with *Rhizopus* or *Monilinia* spores and held 3 and 6 days at 60° F in 99% and 100% $N_2$ and in air.

| Holding period and treatment | Decayed fruit after inoculation with | |
|---|---|---|
| | *Rhizopus* | *Monilinia* |
| | % | % |
| 3 days: | | |
| Air | 15 | 0 |
| 99% $N_2$ | 0 | 0 |
| 100% $N_2$ | 0 | 0 |
| 6 days: | | |
| Air | 100 | 60 |
| 99% $N_2$ | 100[a] | 25[a] |
| 100% $N_2$ | 0 | 0 |

[a]Growth and sporulation less than in air checks.

Ook Ryall (14) en Harvey (22) vonden dàt bij een opslag van 10 dagen in 99 % stikstof geen bederf optrad terwijl de in lucht opgeslagen perziken 40 % bederf hadden.
Volgens Ryall (14) trad zacht worden het snelst op bij bewaring in lucht, gevolgd door 99 % stikstof.
Bewaring in 100 % stikstof gaf slechts zeer langzaam zacht wordende vruchten.

3.4.9. Selderij

Best Fertilizers (1) geeft een ideaal zuurstofgehalte van 1½ % met een toelaatbare afwijking van 1¼ %.

3.4.10. Snijbloemen

Best Fertilizers (1) geeft als ideaal zuurstofgehalte ½ % en als toelaatbare afwijking ¼ % (anjers).

3.4.11. Spinazie

Spinazie, die bewaard werd in 100 % stikstof bij ± 0,5° C

gedurende 4 dagen, ontwikkelde na koken een bittere smaak welke niet aanwezig was bij in lucht bewaard produkt.

3.4.12. Spruiten

Volgens Harvey (22) blijven spruiten groener in atmosferen met een laag zuurstofgehalte dan in lucht. Koolzuurgehalten boven 20 % beschadigen het produkt. Bij bewaring bij lage temperaturen ($0^{o}C$) blijft de kwaliteit goed. Ook als C.A. gebruikt wordt bij hogere temperaturen (5 - $10^{o}$ C).

-.-.-.-.-.-.-.-.-.-

## 4. LITERATUUR


1. Best Fertilizers Co., Western Trucking, special report 1966. The case of the "sleeping" perishables.
2. Canadian Food Industries (Union Carbide)., Febr. 1966. Studying atmospheric effects of liquid nitrogen on produce.
3. Dixon, D.A., Upgrades arrival value of perishable cargoes. Food, processing and marketing, March 1966.
4. Dougherty, J.J., Test of liquid nitrogen refrigeration system installed in frozen food delivery truck. Dec. 1960.
5. Efir, Societé des Entrepots Frigorifiques en Industriels de Romont, 1967. Exposé du projet de chaine frigorifique favorisant la distribution des denrées perissables en Europe.
6. Food Industries of South Africa, Oct. 1966. Liquid nitrogen preserves quality of fruit and vegetables in transit.
7. Foodpack 1966, "Sparging".
8. Food.preservative etc. Chemical engineering, March 1966.
   Gecoma, zie Efir
9. Hansen, H., Die Anwendung von flüssigem Stickstoff bei der Lagerung und Transport von Erdbeeren. Der Erwerbsobstbau, Mai 1967.
10. Harvey, J.M., Nitrogen - its strategic role in produce freshness. Produce Marketing, July 1965.
11. Lipton, W.J., Market quality and rate of respiration of head lettuce held in low-oxygen atmospheres. Marketing Research Report no. 777, 1967.
12. Parsons, C.S. et al. Quality of some fruits and vegetables after holding in nitrogen atmospheres. Proc. Amer. Soc. for Horticultural Science 84, 1964.
13. Preserving Perishables the "Best" Way ..... by oxytrol., July 1966
14. Ryall, A.R., Effects of modified atmospheres from liquified gasses on fresh produce. Uit: Proceedings of 7th Nat. Conf. on Handling Perishable agricultural commodities; Purdue University, 1963.
15. Sherwood, P.W., Liquid nitrogen for to-morrow's frozen foods ? Food Manufacture, Oct. 1960.

16. Shipton, J., New methods of freezing foods. Csiro Food Pres. Quart., Vol 25, 1965.

17. Stewart, J.K. et al. Nitrogen - its effect on transit temperatures and market quality of western lettuce shipped in piggyback trailers. Marketing Research Report: 759, 1966.

18. Idem. Effects of transit temperatures and modified atmospheres on market quality of lettuce shipped in nitrogen - refrigerated and mechanically refrigerated trailers. Marketing Research Report no. 832, 1968.

19. Vakblad voor de groothandel, 30-3-'67. KLM introduceerde stikstof-container. Beschrijving van een koel - vriescontainer voor lucht-vervoer.

20. Verpakking, 19 (1966-67). Primeur van KLM met stikstof gekoelde container.

21. Webster, R.C. et al. Liquid nitrogen immersion freezing may upgrade frozen berry quality. Guide frozen foods,25 (1962).

22. Harvey, J.M., The use of nitrogen in transportation of fresh fruits and vegetables. Reprinted from 1967 United Fresh Fruit and Vegetable Association Yearbook.

23. Dalrymple, D.G., The development of controlled atmosphere storage of fruit. USDA uitgave, jan. '67.

24. Birard, J.E., Mémoire sur la maturation des fruits. Annales de Chémie et de Physique, 1821 (Vol. 16), 152 - 183, 225 - 251.

25. Kidd, F., Cyril West and N.A. Kidd, Gas storage of fruit. Dep. of Scientific and Industrial Research, Food Investigation Special Report no. 30, 1927.

26. Smock, R.M. and A. van Doren, Controlled-atmosphere storage of apples. Cornell Univ., Agric. Exper.. St. Bulletin 762, 1941.

27. Marcellin, P. en J. Leteinturier, Etude d'une installation de conservation de pommes en atmosphères contrôlées. Annexe 1, Bulletin of the International Institute of Refrigeration, Paris, 1966, blz. 141 - 152.

28. Transit temperatures of California lettuce, shipped in several types of rail equipment. Marketing Research Report no. 683, nov. '64 U.S. Dep. of Agric. R45 683.

29. Lipton, W.J. Market quality ....., Marketing Research Report 777.

Wageningen, 11-1-1971
NS/MR