

S P R E N G E R I N S T I T U U T
Haagsteeg 6, 6700 AA Wageningen
Tel.: 08370-19013

*(Publikatie uitsluitend met
toestemming van de directeur)*

RAPPORT NO. 2025

Ing. W. Verbeek

CALORIMETRISCHE BEPALING VAN HET VRIESPUNT,
DE ENTHALPIE EN DE WARMTEPRODUKTIE VAN LE-
LIEBOLLEN CV. ENCHANTMENT NA OPSLAG BIJ
TEMPERATUREN BENEDEN HET VRIESPUNT

Uitgebracht aan de directeur van het Sprenger Instituut
Proj.no. 49

Inhoud

	blz.
1. Samenvatting	2
2. Inleiding	2
3. Meetmethode	3
4. Proefopzet	4
5. Bespreking meetresultaten	5
5.1. Werkwijze	5
5.2. Vriespunt en enthalpie	6
5.3. De warmteproductie als gevolg van opslag- temperaturen beneden het vriespunt	10
6. Conclusie	12
7. Verder onderzoek	12
8. Literatuur	13

1. Samenvatting

In verband met vragen hierover uit de praktijk is bij het invriezen van leliebollen cv. Enchantment onderzoek verricht naar de laagst toelaatbare opslagtemperatuur. Hiertoe is m.b.v. een isotherme calorimeter de warmteproductie bepaald bij $+1,0^{\circ}\text{C}$ van leliebollen, die gedurende twee à drie weken bij verschillende temperaturen beneden de door het Sprenger Instituut aanbevolen opslagtemperatuur, die ligt tussen $-1,0^{\circ}\text{C}$ en $-3,0^{\circ}\text{C}$, zijn opgeslagen. Gebleken is o.m., dat de warmteproductie door deze lage opslagtemperaturen met een factor 2 tot 3 toeneemt. Bij deze temperaturen treedt bruinverkleuring van de buitenste schubben op t.g.v. beschadiging door ijskristallen. Er zijn aanwijzingen dat tijdelijke produkttemperaturen tot $-6,0^{\circ}\text{C}$ worden verdragen, alhoewel er dan kwaliteitsverlies optreedt.

Verder is met de isotherme calorimeter het 'vriespunt' bepaald ($-3,0^{\circ}\text{C}$) alsmede de enthalpie bij het 'vriespunt'. De gemeten enthalpie blijkt in goede overeenstemming te zijn met de enthalpie berekend uit de samenstelling.

2. Inleiding

Het Sprenger Instituut heeft sinds enige tijd de beschikking over een isotherme calorimeter zoals deze ontwikkeld is door TNO. (1)

Met deze isotherme calorimeter is het mogelijk bij elke gewenste temperatuur de warmteproductie als gevolg van de ademhaling van individuele tuinbouwprodukten te bepalen en te registreren als functie van de tijd.

In verband met vragen hierover uit de praktijk is bij het 'invriezen' van leliebollen nagegaan in hoeverre het mogelijk is met de isotherme calorimeter op een snelle wijze de laagst toelaatbare opslagtemperatuur van leliebollen cv. Enchantment vast te stellen. De gedachte die hieraan ten grondslag ligt is, dat door het 'invriezen' wellicht schade optreedt aan de bol hetgeen zal resulteren in een verandering van het metabolisme dat wellicht waargenomen kan worden met de calorimeter. Uit metingen in vriescellen in de praktijk is nl. gebleken, dat de door het Sprenger Instituut

aanbevolen opslagtemperaturen die tussen $-1,0^{\circ}\text{C}$ en $-3,0^{\circ}\text{C}$ liggen, vaak naar beneden toe overschreden worden.

Omdat fysische veranderingen gepaard gaan met grote warmte-effecten kan met de isotherme calorimeter eveneens het 'vriespunt' en de enthalpie van leliebollen worden bepaald. Onder het 'vriespunt' wordt verstaan de temperatuur waarbij de eerste ijskristallen gevormd worden. Deze gegevens zijn van belang voor het berekenen van de koudebehoefte van vriescellen voor leliebollen. In de literatuur is hieromtrent weinig bekend. Voor bloembollen in het algemeen wordt voor de enthalpie een waarde in de literatuur opgegeven die bijna gelijk is aan de stollingswarmte van water, nl. 300 J/g (2) (water 335 J/g). Men neemt hierbij aan dat bijna al het in het produkt aanwezige water bevriest.

3. Meetmethode

Met behulp van de isotherme calorimeter (fig. 1) kan de warmteproduktie van individuele tuinbouwprodukten als functie van de tijd bij een constante temperatuur bepaald worden.

In feite kunnen alle verschijnselen, die gepaard gaan met een endotherm of exotherm effect, worden waargenomen.

Bij de proef wordt een referentievat (1) en een monstervat (2) op meetcellen (3) geplaatst. De meetcellen bevinden zich in een aluminiumblok (4) en bestaan uit thermo-elementen van halfgeleider materiaal (zgn. peltier elementen).

Indien het produkt warmte ontwikkelt zal zich een klein temperatuurverschil instellen tussen produkt en aluminiumblok. Dit temperatuurverschil, dat recht evenredig is met de warmteproduktie, levert een thermospanning. Deze spanning wordt versterkt en geregistreerd. Het verband tussen verschilspanning en warmteproduktie wordt bepaald door de meter te ijken. Het aluminiumblok is omgeven door een verwarmingsmantel (5). Tussen verwarmingsmantel en blok bevindt zich een luchtspleet (6). De verwarmingsmantel bestaat uit een elektrische verwarmingsspiraal en koelspiraal (7). De temperatuur van de verwarmingsmantel wordt nauwkeurig geregeld ($\pm 0,01^{\circ}\text{C}$). De temperatuurfluctuaties van de verwarmingsmantel worden gedempt door het thermische filter, dat gevormd wordt door de luchtspleet en het aluminium blok. De

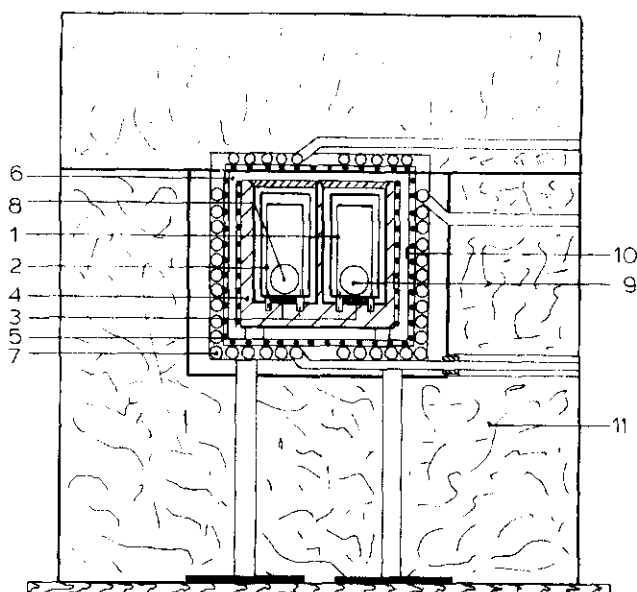


Fig. 1. De isotherme calorimeter.

damping wordt groter naarmate de temperatuurfluctuaties sneller optreden. De meer langzame temperatuurfluctuaties, zoals veranderingen van de omgevingstemperatuur gedurende dag en nacht, worden door dit filter uiteraard nauwelijks gedempt. Om de invloed hiervan te elimineren is de meter voorzien van twee identieke meetsystemen, die elektrisch in tegenfase zijn geschakeld. Omdat de temperatuurfluctuatie beide meetsystemen in dezelfde mate beïnvloedt, wordt deze gecompenseerd. De metingen kunnen worden uitgevoerd tussen -40°C en $+100^{\circ}\text{C}$. Een warmteproductie van ca. $2 \mu\text{W}$ kan nog worden geregistreerd.

4. Proefopzet

Elke proef in de isotherme calorimeter is uitgevoerd met 2 of 3 leliebollen cv. Enchantment, plantmaat 12-14. De bollen zijn afkomstig uit de bewaring op het Sprenger Instituut bij $0-1^{\circ}\text{C}$ en gedurende de bewaring verpakt in houtmout.

Uit de literatuur is bekend dat het vriespunt van *L. longiflorum* bij $-2,5^{\circ}\text{C}$ ligt (3), de eerste metingen zijn dan ook bij deze temperatuur uitgevoerd. Omdat bij deze temperatuur nog geen vriespunt werd vastgesteld zijn vervolgens de proeven uitgebreid naar lagere temperaturen, namelijk $-3,0^{\circ}\text{C}$ en $-3,5^{\circ}\text{C}$, waarbij het 'vriespunt' werd waargenomen.

Het onderzoek naar het metabolisme als gevolg van opslagtemperaturen beneden het vriespunt is als volgt opgezet:

In een precisie cryostaat zijn gedurende twee à drie weken achtereenvolgens bij $-3,5^{\circ}\text{C}$, $-4,5^{\circ}\text{C}$, $-6,0^{\circ}\text{C}$, $-7,0^{\circ}\text{C}$ en $-10,0^{\circ}\text{C}$ in duplo bollen bewaard. Hiertoe zijn per temperatuur en in duplo 2 bollen in eenzelfde geheel gesloten aluminium vat geplaatst als tijdens de meting in de calorimeter.

echter nu in het vloeistofbad van de cryostaat. Na twee weken zijn de vaten uit de cryostaat gehaald en zijn de monsters ontdooid door ze enkele dagen in een koelcel bij 0-1°C te plaatsen. Vervolgens is van deze bollen de warmteproductie bepaald in de isotherme-meter bij +1,0°C zodat kan worden nagegaan in hoeverre het metabolsime veranderd is door de twee weken opslag bij genoemde lage temperaturen. Ter vergelijking is de warmteproductie gemeten bij +1,0°C van bollen die constant bewaard zijn bij 0-1°C. Na afloop van de metingen zijn de bollen uitgeplant, zodat enige informatie is verkregen over de relatie: verandering van de warmteproductie tengevolge van opslag bij lage temperaturen en het plantresultaat. Omdat elke proef slechts met twee à drie bollen is uitgevoerd kan aan het resultaat van de uitplant geen definitieve conclusie worden verbonden.

Genoemde proefopzet, waarbij de proeven beneden het vriespunt in een cryostaat zijn uitgevoerd en de warmteproductie werd teruggemeten bij +1,0°C, is gekozen omdat op deze wijze veel tijd bespaard kan worden en doeltreffender gebruik kan worden gemaakt van de calorimeter. Uit de metingen bij het vriespunt is nl. gebleken dat de vrieseffecten veel tijd in beslag nemen (ca. één week). Verder kost elke verandering van temperatuur van de calorimeter ca. twee à drie dagen hetgeen verband houdt met de hoge nauwkeurigheid. Bovendien is gebleken, dat na het vrieseffect het warmteproductieverloop niet constant is, hetgeen vermoedelijk verband houdt met het feit dat de ijsfractie niet volkomen stabiel is maar in geringe mate verloopt. Omdat deze fysische veranderingen gepaard gaan met een groter warmte-effect dan door de ademhaling wordt veroorzaakt, kan geen betrouwbare informatie worden verkregen over de warmteproductie van de bol na het vrieseffect bij een temperatuur in het gebied van het vriestraject.

Het meten bij +1,0°C na opslag bij lage temperaturen en na ontdooien heeft als voordeel, dat geen effect wordt gemeten van het proces 'bevriezen' en ook niet van vrij water dat zich op de bol kan bevinden b.v. door condensatie van water uit de omringende lucht.

5. Bespreking meetresultaten

5.1. Werkwijze

Om informatie te verkrijgen over het invriespercentage van leliebollen bij de gehanteerde opslagtemperaturen beneden het 'vriespunt' is de enthalpie en de hierbij behorende ijsfractie van leliebollen berekend als functie van de temperatuur (5). Voor de berekening dient het 'vriespunt' bekend te zijn. Het 'vriespunt' is met de isotherme calorimeter bepaald. Verder is met de calorimeter de enthalpie bij het 'vriespunt' bepaald en de berekende enthalpie gecontroleerd met de gemeten waarde.

5.2. Vriespunt en enthalpie

Het vriespunt wordt bepaald door het water en droge-stofgehalte van het produkt en de warmteproduktie. Een deel van het water in het produkt is bij evenwicht bevroren en als ijskristallen aanwezig (4). Het water in tuinbouwprodukten is aanwezig als een min of meer geconcentreerde oplossing (van koolhydraten, zouten, zuren enz.) en bevriest in geen geval volledig bij het vriespunt. De ijsfractie (hieronder wordt verstaan het bevroren deel van het voor het bevriezen aanwezige water) neemt bij steeds dalende temperatuur langzaam toe afhankelijk van de concentratietoename van de overblijvende oplossing.

Om na te gaan welk deel van de bol bevroren is moet de ijsfractie bekend zijn; deze is berekend uit de enthalpie. De enthalpie is afhankelijk van de samenstelling en de temperatuur. Het watergehalte is het bestanddeel dat de enthalpie het meest beïnvloedt. De enthalpie hangt samen met de soortelijke warmte van de water-ijsverhouding en de stollingswarmte van water. Het verloop van de soortelijke warmte, enthalpie en ijsfractie als functie van de temperatuur is berekend (5).

Als gegevens voor de berekening zijn nodig het 'vriespunt' (bepaald met de calorimeter) de soortelijke warmte van water, ijs en vaste stof en het watergehalte van de leliebollen. Het watergehalte van de leliebollen cv. Enchantment is volgens een bepaling op het Sprenger Instituut 70,0%. Het overige deel is vaste stof. De soortelijke warmte van de droge stof is gelijk gesteld aan die van koolhydraten. (1,22 kJ/kg·K).

In tabel 1 is het resultaat van de berekening gegeven. Controle op de berekening is uitgevoerd door meting van de enthalpie bij het 'vriespunt'. Hiertoe is het oppervlak bepaald bij het 'vriespunt' van de gemeten curven (fig. 2 en 3) uitgedrukt in J/g waarbij het warmteproduktiedeel is uitgesloten. De berekende waarden zijn vermeld in tabel II. Omdat de gemeten enthalpie bij het 'vriespunt' $-3,0^{\circ}\text{C}$ en bij $-3,5^{\circ}\text{C}$ in goede overeenstemming is met de berekende waarden bij die temperaturen en er een vast verband bestaat tussen enthalpie en ijsfractie, is de ijsfractie nu bekend. In tabel 1 is de ijsfractie betrokken op het watergehalte van de bol voor het invriezen (70%). In tabel 2 is tevens het percentage aangegeven dat is ingevroren t.o.v. de gehele bol. Het blijkt dat bij $-3,0^{\circ}\text{C}$ tot $-3,5^{\circ}\text{C}$ het

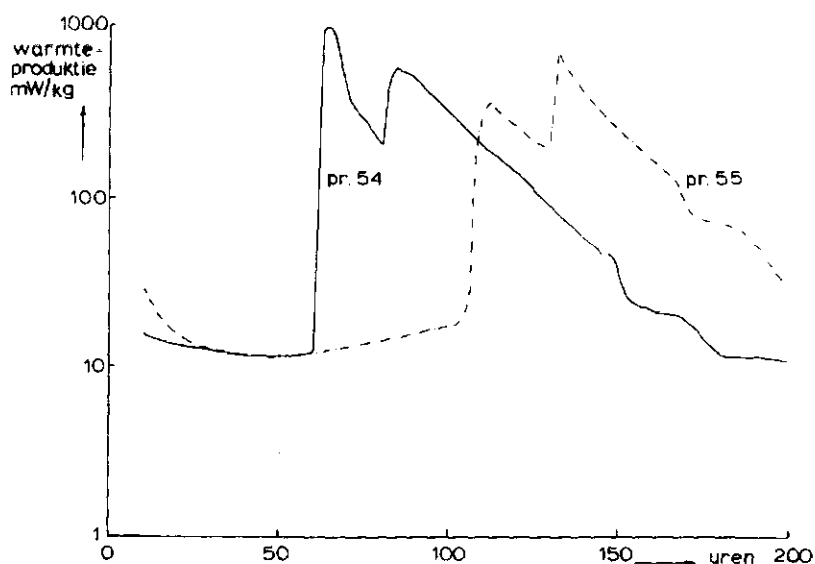


Fig. 2. Het invrieseffect van leliebollen cv. Enchantment bij $-3,0^{\circ}\text{C}$

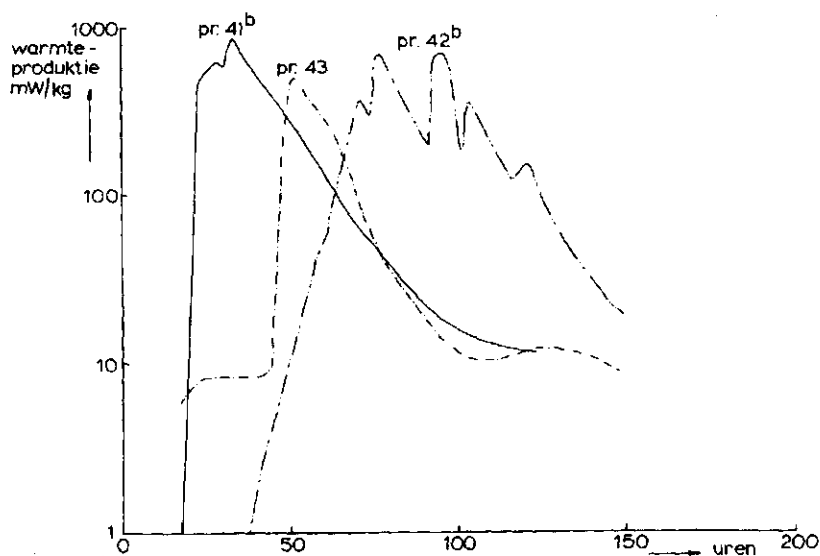


Fig. 3. Het invrieseffect van leliebollen cv. Enchantment bij $-3,5^{\circ}\text{C}$

invriespercentage van leliebollen cv. Enchantment 10% of minder bedraagt. Uit het resultaat van de proeven blijkt, dat de eerste ijskristallen zich vormen bij $-3,0^{\circ}\text{C}$. Dit is dus het 'vriespunt'. Immers, metingen bij $-2,5^{\circ}\text{C}$ (fig. 4) geven geen invrieseffect, zelfs gedurende drie weken bij deze temperatuur.

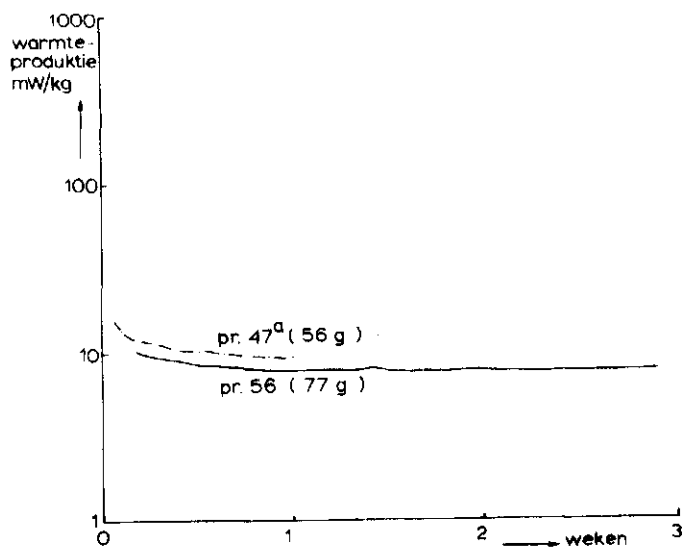


Fig. 4. De warmteproductie van leliebollen cv. Enchantment als functie van de tijd bij $-2,5^{\circ}\text{C}$

Bij $-3,0^{\circ}\text{C}$ verschijnt een invrieseffect van 10% of minder.

Het is in principe mogelijk dat het vriespunt tussen $-2,5^{\circ}\text{C}$ en $-3,0^{\circ}\text{C}$ ligt; dit is niet nader vastgesteld.

Gezien het feit, dat het vrieseffect bij $-3,0^{\circ}\text{C}$ na respectievelijk twee en vier dagen optreedt is dit niet waarschijnlijk. Bij -3°C en voor het vrieseffect produceerde de bol nog warmte (ca. 10 W/t). Nadat het vrieseffect is opgetreden blijkt de bol ongeveer dezelfde activiteit te vertonen dan er voor. De bol heeft kennelijk geen schade ondervonden t.g.v. de geringe invriezing.

Deze veronderstelling wordt gesteund door de proeven die zijn uitgevoerd door het Sprenger Instituut (6), waarbij telkens 75 bollen respectievelijk 12, 22, 32 en 42 weken bij $-3,0^{\circ}\text{C}$ zijn opgeslagen geweest en vervolgens uitgeplant. De plantresultaten waren bij $-3,0^{\circ}\text{C}$ zelfs nog iets gunstiger dan in de proeven bij $-1,0^{\circ}\text{C}$.

Verder blijkt uit fig. 2 dat bij elke proef twee pieken aanwezig zijn. Elke proef is uitgevoerd met twee bollen. Kennelijk vriest de ene bol iets eerder in.

Dit hangt samen met de grootte van de bol en de hiermee gepaard gaande warmteproductie. Het blijkt uit het gewicht van de bollen van de proeven

54 en 55 dat respectievelijk 50 en 68 g bedraagt. De proeven bij $-3,5^{\circ}\text{C}$ (figuur 3) zijn uitgevoerd met drie bollen van een kleinere maat (plantmaat 8-9). Hier zijn per proef niet drie afzonderlijke pieken waarneembaar. Dit houdt verband met het feit dat de proeven anders zijn uitgevoerd. Bij de proeven 41b en 42b zijn de bollen eerst gemeten bij $-2,5^{\circ}\text{C}$ en na deze meting is de calorimeter naar $-3,5^{\circ}\text{C}$ gebracht waarbij het monster er in is blijven staan. De pieken kunnen tijdens de temperatuurverandering zijn opgetreden en vallen dan buiten de waarneming.

Bij proef 43 is het de vraag of er wel bollen zijn ingevroren. De enthalpie van deze proef is nl. de geringste van alle proeven en bedraagt 8 J/g.

5.3. De warmteproductie van leliebollen cv. Enchantment als gevolg van opslagtemperaturen beneden het vriespunt

De resultaten van de proeven met bollen die gedurende twee of drie weken bij temperaturen beneden het vriespunt zijn bewaard ($-3,5^{\circ}\text{C}$, $-4,5^{\circ}\text{C}$, $-6,0^{\circ}\text{C}$, $-7,0^{\circ}\text{C}$ en $-10,0^{\circ}\text{C}$) en waarvan de warmteproductie is gemeten bij $+1,0^{\circ}\text{C}$ zijn gegeven in de tabellen 4 t/m 9. De bepalingen zijn in duplo uitgevoerd, met twee bollen per meting.

Ter vergelijking is de warmteproductie bij $+1,0^{\circ}\text{C}$ bepaald van bollen die constant bewaard zijn bij $0-1^{\circ}\text{C}$ (tabel 3).

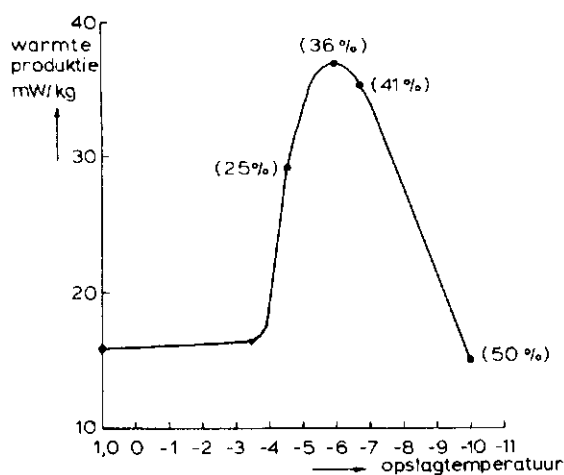


Fig. 5. De warmteproductie van leliebollen cv. Enchantment gemeten bij $+1,0^{\circ}\text{C}$ als functie van de temperatuur, waarbij ze 2-3 weken zijn opgeslagen, alsmede de invriespercentages van de bollen bij de betreffende opslagtemperaturen.

Uit de tabellen blijken verschillen in warmteproductie afhankelijk van de bewaartemperatuur. Om deze verschillen nader te beschouwen is in figuur 5 de warmteproductie uitgezet zoals gemeten bij $+1,0^{\circ}\text{C}$ als functie van de temperatuur waarbij de bollen zijn bewaard.

De in deze figuur gegeven warmteproductie heeft betrekking op de gemiddelde warmteproductie van de duplo metingen zoals bepaald na drie of vier dagen, nadat de warmteproductie constant is geworden.

Uit figuur 5 blijkt, dat de warmteproductie na twee weken bij $-3,5^{\circ}\text{C}$ vrijwel

dezelfde waarde heeft als die van de bewaring bij 0-1°C. Kennelijk heeft een invriespercentage van 10% of minder geen invloed op het metabolisme. Uit figuur 5 blijkt verder, dat de warmteproduktie na twee weken bij -4,5°C een factor 2 hoger ligt dan die van de bewaring bij 0-1°C en dat de warmteproduktie van bollen afkomstig uit de bewaring van -6,0°C een factor 3 hoger ligt dan die van de 0-1°C bewaring. Daarna vertoont de activiteit een daling. De warmteproduktie van bollen die twee weken bij -7,0°C zijn bewaard, is echter nog altijd een factor 2 hoger dan die van de bewaring bij 0-1°C. Kennelijk wordt het metabolisme van de bol door het invriezen geactiveerd. Bollen afkomstig uit de -10,0°C bewaring vertonen geen toename meer van de warmteproduktie maar produceren nog warmte gelijk aan die van bollen uit de 0-1°C bewaring.

Hierbij kan worden opgemerkt dat de schubben van de bollen uit de -10,0°C bewaring geheel bruin verkleurd waren en na het ontdooien bij 1°C een weke massa vormden. De schubben zijn door de ijskristallen kennelijk geheel beschadigd. Uit tabel 2 blijkt, dat de bollen bij deze temperatuur voor ca. 50% zijn ingevroren. Toch vertoont de bol een normale warmteproduktie. Het is mogelijk dat de schubben vrijwel geen warmte produceren, maar dat deze voornamelijk door de kiem wordt ontwikkeld.

Om na te gaan in hoeverre deze veronderstelling juist is, is een oriënterende warmteproduktiemeting uitgevoerd met bollen met en zonder schubben. Hiertoe zijn, nadat de warmteproduktie enkele dagen is gemeten bij +1,0°C, van dezelfde bollen de schubben afgescheurd, waarna de warmteproduktie werd gemeten van alleen de bolbodem en de kiem. Tenslotte is de kiem afgesneden bij de bolbodem en hiervan de warmteproduktie gemeten.

Het resultaat ondersteunt de veronderstelling, dat het aandeel in de warmteproduktie niet in gelijke mate door de gehele bol wordt geleverd, maar in belangrijke mate tot stand komt door bolbodem en kiem.

Tenslotte kan worden opgemerkt, dat de uitplant van de bollen die twee weken bij -6,0°C zijn bewaard een behoorlijk resultaat heeft opgeleverd. Van deze bollen waren alleen de buitenste schubben bruin verkleurd. Het aantal bloemknoppen was gelijk aan de controleproef. De stengel was daarentegen iets korter en ca. 25% minder van gewicht.

Kennelijk verdragen leliebollen cv. Enchantment tijdelijke lagere produkt-

temperaturen tot ca. $-6,0^{\circ}\text{C}$, hoewel uit tabel 2 blijkt, dat ze bij die temperatuur voor ca. 36% zijn ingevroren. De uitplant van bollen die bij -7°C zijn bewaard heeft een aanzienlijk slechter resultaat opgeleverd. Bij deze bollen waren de schubben van de twee buitenste lagen bruin verkleurd. Het invriespercentage bedraagt ca. 41%.

6. Conclusies

1. Met behulp van de isotherme calorimeter van het Sprenger Instituut is het mogelijk het vriespunt en de enthalpie van individuele leliebollen te bepalen alsmede een verandering van warmteproductie tengevolge van opslagtemperaturen beneden het 'vriespunt'. (Onder het 'vriespunt' wordt verstaan de temperatuur waarbij de eerste ijskristallen gevormd worden).
2. Het 'vriespunt' van leliebollen cv. Enchantment bedraagt $-3,0^{\circ}\text{C}$. Bij deze temperatuur bevriest de bol voor minder dan 10%, dit invriespercentage heeft géén nadelige invloed op de oogstresultaten (6).
3. Lagere opslagtemperaturen dan het 'vriespunt' geven beschadiging van de schubben (bruinverkleuring) en veroorzaken na ontdooien een hogere warmteproductie; het verdient aanbeveling het vriespunt niet te overschrijden. Voor leliebollen cv. Enchantment zijn er aanwijzingen dat tijdelijke produkttemperaturen (2 weken) tot ca. $-6,0^{\circ}\text{C}$ worden verdragen.
4. Bij de berekening van de koudebehoefte van vriescellen voor leliebollen cv. Enchantment behoeft geen rekening te worden gehouden met de overgangswarmte bij het invriezen van de bollen omdat de bollen niet invriezen, mits het produkt wordt opgeslagen bij de door het Sprenger Instituut voorgeschreven temperaturen tussen $-1,0^{\circ}\text{C}$ en $-3,0^{\circ}\text{C}$.

7. Verder onderzoek

Uit de praktijk is de vraag naar voren gekomen of ook andere leliebollen dan de cv. Enchantment beneden 0°C kunnen worden opgeslagen. Op deze vraag kan met de isotherme calorimeter snel een antwoord worden ge-

geven indien als criterium het 'vriespunt' wordt gehanteerd (hieronder wordt verstaan de temperatuur waarbij de eerste ijskristallen ontstaan). Immers gebleken is, dat een opslagtemperatuur beneden het 'vriespunt' beschadiging geeft van de schubben door ijskristallen (bruinverkleuring) hetgeen gepaard zal gaan met kwaliteitsverlies.

Verder kan met de isotherme calorimeter worden nagegaan in hoeverre een lagere opslagtemperatuur dan het 'vriespunt' schadelijk is. Weliswaar veroorzaakt een dergelijke temperatuur beschadiging van de schubben en een hogere warmteproductie maar oriënterende proeven hebben aangetoond, dat een opslagtemperatuur tot -6°C nog een goed plantresultaat te zien geeft. Een opslagtemperatuur van -7°C daarentegen levert een aanzienlijk slechter resultaat op.

Vergelijken we het plantresultaat van de proeven, waarbij bollen bij -6°C en -7°C zijn opgeslagen met de warmteproductie gemeten bij $+10^{\circ}\text{C}$ als functie van de opslagtemperatuur (zie figuur 5), dan is er kennelijk sprake van een relatie warmteproductie en plantresultaat.

Het is de bedoeling in het najaar met andere cultivars leliebollen die hiervoor in aanmerking komen dit onderzoek voort te zetten.

Een ander aspect dat uit het onderzoek naar voren is gekomen is, dat het met de isotherme calorimeter mogelijk is, meer informatie te verkrijgen over de oorzaak van de warmteproductie.

Uit oriënterende proeven is namelijk gebleken, dat ca. de helft van de warmteproductie wordt veroorzaakt door bolbodem en kiem, terwijl de schubben ca. 90% van het gewicht uitmaken.

Het aandeel van de warmteproductie wordt niet in gelijke mate door de gehele bol geleverd.

8. Literatuur

1. Geel, J.L.C. van, en W. Verbeek.
Construction of the heat generation meter, rapport no. 8726, september 1971, TNO, Rijswijk.
2. Pohlmann, W.
Taschenbuch für Kältetechniker; 15 Auflage.
Karlsruhe; Verlag C.F. Müller, 1971.

3. National cold storage federation, 1975 (Yearbook pag. 72) Londen.
4. Riedel, L.
Der Kältebedarf beim Gefrieren von Obst und Gemüse.
Kältetechnik, 1950, 8, 195-202.
5. Beek, G. van.
Calculation of thermophysical properties of horticultural produce from their composition.
Sprenger Instituut rapport no. 1959, Wageningen (1976).
6. Staden, O.L. , en W. Maas.
Het 'invriezen' van de leliebol cv. Enchantment.
Artikel in Bloembollencultuur, 21 oktober 1977, blz. 361.
Sprenger Instituut, Wageningen.

Tabel 1

Berekende soortelijke warmte, enthalpie en ijsfractie uit de samenstelling

temperatuur (°C)	soortelijke warmte (kJ/kg·K)	enthalpie (J/g)	ijsfractie*	invriespercentage van de bol in %
0	3,3	0	0	
-2,5	3,3	-9	0	
-3,0	79	-18	0,04	3
-3,1	74	-26	0,07	5
-3,2	69	-33	0,10	7
-3,3	65	-40	0,12	8
-3,4	62	-46	0,15	11
-3,5	58	-52	0,17	12
-4,0	45	-78	0,28	20
-4,5	36	-98	0,36	25
-5,0	30	-114	0,42	29
-6,0	21	-139	0,52	36
-7,0	16	-158	0,59	41
-8,0	13	-172	0,64	45
-9,0	11	-184	0,68	48
-10,0	9	-194	0,71	50
-20,0	3,7	-250	0,86	60
-30,0	2,7	-281	0,90	63
-40,0	2,4	-306	0,93	65

$$* \text{ ijsfractie} = \frac{\text{massa ijs}}{\text{massa (ijs+water)}}$$

Tabel 2

Gemeten enthalpie bij 2 temperaturen alsmede het invriespercentage berekend uit de ijsfractie.

proefnummer	42a	41b	43	55	54
datum inzet	3/1-'78	29/12-'77	9/1-'78	29/3-'78	17/3-'78
aantal bollen	3	3	3	2	2
gewicht gram	40,7	34,7	30,3	68,0	50,2
temperatuur (°C)	-3,5	-3,5	-3,5	-3,0	-3,0
enthalpie per bol (J/g)	31	24	8	39	43
ijsfractie	10	7	0	12	14
ingevroren deel van de bol %	7	5	0	8	10

Tabel 3.

Warmteproduktie (Q) bij 1,0°C van leliebollen cv. Enchantment na bewaring bij 0-1°C

proefnummer: 50 gew. 53,8 g datum inzet 23/2-'78		proefnummer: 52 gew. 61,5 g datum inzet 6/3-'78		proefnummer: 58 gew. 64,7 g datum inzet 19/5-'78	
tijd (uur)	Q (W/ton)	tijd (uur)	Q (W/ton)	tijd (uur)	Q (W/ton)
12	18	12	20	12	26
24	17	24	17	24	22
36	16	36	16	36	20
48	16	48	15	48	19
60	15	60	15	60	18
72	15	72	14	72	18
84	14			84	17
96	14				

Tabel 4.

Warmteproduktie (Q) bij +1,0°C van leliebollen na bewaring van 3 weken bij -2,5°C

proefnummer: 56 gew. 77,0 g datum inzet 12/4-'78		proefnummer: 47 gew. 55,8 g datum inzet 6/2-'78	
tijd (uur)	Q (W/ton)	tijd (uur)	Q (W/ton)
12	15	12	16
24	12	24	12
36	10	36	11
48	9	48	11
60	9	60	10
72	9	72	10
84	8	84	10
96	8	96	9

Tabel 5

Warmteproduktie (Q) bij +1,0°C van leliebollen na bewaring van 2 weken bij -3,5°C

proefnummer: 61 gew. 46,7 g		proefnummer: 62 gew. 63,9 g	
tijd (uur)	Q (W/ton)	tijd (uur)	Q (W/ton)
12	11	12	-
24	18	24	20
36	16	36	18
48	15	48	18
60	15	60	16
72	14	72	16
84	15	84	15

Tabel 6

Warmteproduktie (Q) bij +1,0°C van leliebollen na bewaring van 2 weken bij -4,5°C

proefnummer: 49 gew. 66,4 g datum inzet: 6/2-1978	
tijd (uur)	Q (W/ton)
12	40
24	35
36	33
48	32
60	30
72	30
84	29
96	29

Tabel 7

De warmteproduktie (Q) bij +1,0°C van leliebollen na bewaring van 2 weken bij -6,0°C

proefnummer: 56 gew. 79,2 g datum inzet 9/3-'78		proefnummer: 48 gew. 75,0 g datum inzet 15/2-'78		proefnummer: 51 gew. 49,8 g datum inzet 27/2-'78	
tijd (uur)	Q (W/ton)	tijd (uur)	Q (W/ton)	tijd (uur)	Q (W/ton)
12		12	580	12	48,8
24		24	346	24	43,7
36	40,7	36	202	36	40,4
48	38,5	48	134	48	39,5
60	36,8	60	68	60	39,1
72	35,2	72	55	72	38,2
		84	35		
		96	37		

Tabel 8

Warmteproduktie (Q) bij +1,0°C van leliebollen na bewaring van 2 weken bij -7,0°C

proefnummer 59 gew. 54,2 g datum inzet 26/5-'78		proefnummer: 59a gew. 54,5 g datum inzet 29/5-'78	
tijd (uur)	Q (W/ton)	tijd (uur)	Q (W/ton)
12	37	12	54
24	34	24	51
36	32	36	49
48	29	48	46
60	29	60	44
72	27	72	44
		84	42
		96	40

Tabel 9

Warmteproduktie (Q) van leliebollen na bewaring van 3 weken bij -10,0°C

proefnummer: 57 Gew. 54,8 g datum inzet 12/5-'78		proefnummer: 57a gew. 58,0 g datum inzet 16/5-'78	
tijd (uur)	Q (W/ton)	tijd (uur)	Q (W/ton)
12	21	12	21
24	18	24	19
36	16	36	18
48	15	48	18
60	14	60	18
72	14		
84	14		
96	13		

Wageningen, 21-6-1978
WV/EF