

636.085.51:631.563.2:577.16 carotine

INSTITUUT VOOR BEWARING EN VERWERKING VAN  
LANDBOUWPRODUKTEN (IBVL), WAGENINGEN

MAATREGELEN TEGEN AFBRAAK VAN CAROTINE  
IN OPGESLAGEN GEDROOGDE GROENVOEDERS

WITH A SUMMARY  
MEASURES AGAINST DESTRUCTION OF CAROTENE  
IN STORED DEHYDRATED GREENFODDERS

J. KREYGER  
M. H. HUISMAN

CENTRUM VOOR

LANDBOUWPUBLIKATIES



LANDBOUWDOCUMENTATIE

---

VERSL. LANDBOUWK. ONDERZ. NO. 65.10 — WAGENINGEN — 1959

197638

# INHOUD

	blz.
<b>INLEIDING</b> . . . . .	5
<b>I. AARD VAN DE AFBRAAK VAN CAROTINE</b> . . . . .	6
<b>II. ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN DE TEMPERATUUR OP DE AFBRAAK VAN CAROTINE IN OPGESLAGEN GEDROOGDE GROENVOEDERS</b> . . . . .	7
1. Voornaamste gegevens uit de literatuur . . . . .	7
2. Oriënterend onderzoek betreffende de invloed van de bewaar- temperatuur op de snelheid van afbraak van carotine in luzerne- meel en grasmeel . . . . .	7
<i>a.</i> Doel en opzet van de proeven . . . . .	7
<i>b.</i> Verkregen resultaten . . . . .	8
<i>c.</i> Beschouwing van de resultaten . . . . .	11
<i>d.</i> Conclusies . . . . .	15
3. Onderzoek naar het temperatuurverloop en de daarbij op- tredende carotineverliezen in stapels papieren zakken met ge- droogd groenvoedermeel in de praktijk . . . . .	16
<i>a.</i> Opzet van de metingen en resultaten . . . . .	16
<i>b.</i> Conclusies . . . . .	19
4. De temperatuur van het meel na de fabricatie en praktische middelen, welke mogelijk zijn om deze temperatuur omlaag te brengen . . . . .	20
<i>a.</i> Praktijkwaarnemingen . . . . .	20
<i>b.</i> Koeling van het meel vóór de opslag . . . . .	22
<b>III. BEWARING VAN GEDROOGDE GROENVOEDERS ONDER AFSLUITING VAN DE LUCHT OF ONDER EEN ZUURSTOFVRIJE ATMOSFEER</b> . . . . .	24
1. Voornaamste gegevens uit de literatuur . . . . .	24
2. Oriënterend onderzoek betreffende de invloed van luchtdichte bewaring van luzernemeel en van bewaring onder stikstof op de snelheid van afbraak van carotine . . . . .	24
<i>a.</i> Opzet van de proeven en resultaten . . . . .	24
<i>b.</i> Conclusies . . . . .	26

	blz.
<b>IV. TOEVOEGING VAN ANTI-OXYDANTEN AAN HET GEDROOGDE GROEN- VOEDER.</b> . . . . .	27
1. Voornaamste gegevens uit de literatuur . . . . .	27
2. Oriënterend onderzoek om na te gaan of de houdbaarheid van luzernemeel, gezien in het licht van carotinebehoud, ver- beterd kan worden door de werking van anti-oxydanten alleen (zonder toevoeging van vet) . . . . .	27
<i>a.</i> Opzet, uitvoering en resultaten . . . . .	27
<i>b.</i> Conclusies . . . . .	29
<b>V. INVLOED VAN DE VORM VAN HET GEDROOGDE GROENVOEDER OP DE CAROTINE-AFBRAAK BIJ BEWARING</b> . . . . .	30
1. Voornaamste gegevens uit de literatuur . . . . .	30
2. Oriënterend onderzoek, opgezet om na te gaan of de bewaar- baarheid van brokjes beter is dan die van meel . . . . .	31
<i>a.</i> Opzet, uitvoering en resultaten . . . . .	31
<i>b.</i> Conclusies . . . . .	32
<b>VI. INVLOED VAN HET VOCHTGEHALTE VAN HET PRODUKT OP DE CARO- TINE-AFBRAAK</b> . . . . .	33
1. Voornaamste gegevens uit de literatuur . . . . .	33
2. Oriënterend onderzoek naar de invloed van het vochtgehalte op de snelheid van carotineafbraak bij opslag . . . . .	33
<i>a.</i> Opzet en resultaten . . . . .	33
<i>b.</i> Conclusies . . . . .	34
<b>SAMENVATTING EN EINDCONCLUSIES</b> . . . . .	35
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b> . . . . .	37
<b>LITERATUUR</b> . . . . .	39

De auteurs, J. KREYGER en M. H. HUISMAN, zijn resp. hoofd en hoofdassistent van het Droogtechnisch Laboratorium van het Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwprodukten (IBVL) te Wageningen.

## INLEIDING

In de praktijk heeft men te kampen met het euvel, dat het carotinegehalte van gedroogde groenvoeders bij opslag daalt. Deze daling kan soms zeer aanzienlijk zijn.

Het is bekend, dat de waarde die men aan voedermiddelen toekent in vele gevallen samenhangt met het al of niet in voldoende mate aanwezig zijn van vitaminen; bij gedroogd groenvoedermeel of -brokjes gaat het vooral om carotine, een pro-vitamine, d.w.z. een stof waaruit in het lichaam van het dier o.a. het onmisbare vitamine A gevormd wordt. Wanneer het dier op geconserveerde voedermiddelen is aangewezen, is het van belang, dat er op gelet wordt dat het de vereiste dosis carotine verkrijgt. Hiervoor kan een bepaald aandeel in het voeder, bestaande uit kunstmatig gedroogde groenvoeders, van waarde zijn. Het kan zelfs de enige reden zijn waarom men dergelijke produkten in het voeder opneemt. In dit licht bezien wordt het duidelijk dat de hierboven genoemde achteruitgang bij opslag een ernstige zaak is, die vooral de handelsdrogers aangaat. Dit klemt nog te meer, omdat een hoog carotinegehalte een indicatie is dat het produkt goed is geconserveerd. Er schijnt grond te zijn voor de opvatting dat als de omstandigheden zodanig zijn geweest dat carotine goed behouden is gebleven, het zeer waarschijnlijk is dat ook andere belangrijke voedingsstoffen weinig hebben geleden. Het is dan ook niet verwonderlijk dat dit vraagstuk de volle aandacht heeft van de *Studiecommissie voor de verbetering van de kwaliteit van het gedroogde groenvoeder van handelsdrogers*. Als deel van de werkzaamheden in het kader van het programma van deze Commissie wordt onderzoek uitgevoerd door de afdeling Droogtechnisch Laboratorium van het Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwprodukten te Wageningen. Getracht wordt het onderzoek zo praktisch mogelijk gericht te houden. In dit artikel zullen de voornaamste resultaten gegeven worden, verkregen bij het tot nu toe verrichte eigen onderzoek. Bij het behandelen van de onderdelen zal telkens het allervoornaamste worden vermeld van wat er in de literatuur bekend is. Er is in dit verband zeer veel onderzoek verricht en zeer veel gepubliceerd. Volstaan wordt met het verwijzen naar enkele recente publikaties (zie blz. 39) waarin de resultaten van het onderzoek en ten dele uitgebreide literatuurstudies en verwijzingen zijn opgenomen.

## I. AARD VAN DE AFBRAAK VAN CAROTINE <sup>1</sup>

Terwijl zuivere carotine niet stabiel is, blijft deze stof in bepaalde zaden jarenlang behouden of nagenoeg behouden. In sommige vruchten neemt het carotinegehalte na het afplukken nog iets toe. Afgeplukte bladeren die afsterven, vertonen het verschijnsel dat carotine vernietigd wordt. Hierbij zijn drie wijzen van afbraak te onderscheiden:

- a. *een enzymatische afbraak*, die snel verloopt, vooral bij verpulping. De hierbij actief zijnde enzymen komen in groene bladeren (naast chlorofyl) voor, niet in wortels, vruchten en bloemen;
- b. *een fotochemische afbraak*, die veel minder snel verloopt dan de enzymatische;
- c. in *droge* bladeren vindt een *thermische afbraak* plaats, welke nog langzamer verloopt dan de reacties, die vooral betrekking hebben op de afbraak in nog niet droge groene plantendelen (genoemd onder a en b).

Bij alle drie wijzen van afbraak gaat het om een oxydatieproces. De beide eerste zijn vooral van belang ten aanzien van de periode tussen maaien en droog worden, de laatste betreft speciaal de opslag van het gedroogde groenvoeder. Het is bekend dat hooi zeer weinig carotine bevat. Bij het maken van hooi hebben zowel de afbraak sub a als die sub b gelegenheid voortgang te vinden. Het duurt zeer lang alvorens het hooi droog is. Bovendien treedt tijdens de opslag van het reeds droge produkt nog afbraak volgens c op.

De afbraak volgens a en b vindt plaats bij het zg. vóórdrogen van het gewas dat bestemd is om tot gedroogd groenvoeder te worden verwerkt. In het licht van hetgeen werd opgemerkt ten aanzien van deze afbraak is het duidelijk, dat men bij het fabriceren van hoogwaardige gedroogde groenvoeders zeer voorzichtig dient te zijn met de zg. vóórdroogmethode.

Voor het behoud van de kwaliteit van gedroogde groenvoeders bij opslag is het bestuderen van de afbraak volgens c vooral van belang.

Het thermisch oxydatieproces kan, evenals dit bij alle chemische processen het geval is, verlangzaamd worden door de temperatuur te verlagen (volgens VAN 'T HOFF verloopt een reactie bij een 10° C hogere temperatuur ongeveer twee maal zo snel). Zou men de gedroogde groenvoeders in een zuurstofvrije atmosfeer opslaan dan zou oxydatie onmogelijk zijn. Het oxydatieproces kan meer of minder beteugeld worden door de aanwezigheid van zg. anti-oxydanten. Deze kunnen van natuurlijke oorsprong zijn of synthetisch. De eerste zijn in planten aanwezig. De carotineaftbraak in de plant (ook in gedroogde planten) verloopt langzamer dan die van zuivere carotinekristallen. Men kan zich ten slotte afvragen of de vorm waarin het produkt bewaard wordt (b.v. in brokjes geperst, als grof haksel of als meel) invloed heeft op de snelheid van carotineaftbraak of dat het vochtgehalte van het produkt hierop invloed uitoefent.

---

<sup>1</sup> BOOTH (1955, 1958); RICKEY (1957); ORTH, KOCH und KAUFMANN (1957).

## II. ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN DE TEMPERA- TUUR OP DE AFBRAAK VAN CAROTINE IN OPGE- SLAGEN GEDROOGDE GROENVOEDERS

### 1. VOORNAAMSTE GEGEVENS UIT DE LITERATUUR

De temperatuur van het groenvoeder ligt vlak na het drogen beduidend boven die van de buitenlucht. Bij het malen is zeer veel energie vereist; een deel hiervan zorgt voor een zekere mate van droging in de hamermolens maar een ander deel veroorzaakt een temperatuurstijging van het meel. Meel is een zeer volumineus produkt, dat zeer veel lucht insluit en een uitstekende isolator is. Zonder bepaalde maatregelen zal een grote stapel zakken groenvoedermeel niet snel afkoelen.

BOOTH (1955) beveelt maatregelen aan om de stapels te koelen door een deel van de verdampers van een koelmachine in het hart van een stapel te plaatsen. Doordat het meel de warmte slecht geleidt, kan het koelen van de stapel slechts langzaam plaats vinden. De koelmachine behoeft dus slechts van beperkte capaciteit te zijn. Bovendien kan het duurste deel van een gekoeld pakhuis, de isolatie, vervallen. BOOTH is een voorstander van het proberen van dit systeem van, zoals hij het noemt, *partial refrigeration*. Hij beveelt overigens het koelen van het meel onmiddellijk na het malen eveneens aan.

De resultaten van bewaarproeven bij verschillende temperatuur, die in de literatuur zijn te vinden, tonen aan dat een hogere temperatuur een snellere afbraak bevordert. In veel gevallen vindt men bevestigd, dat een 10° C hogere temperatuur ongeveer een twee maal zo snelle afbraak tot gevolg heeft.

### 2. ORIËNTEREND ONDERZOEK BETREFFENDE DE INVLOED VAN DE BEWAAR- TEMPERATUUR OP DE SNELHEID VAN AFBRAAK VAN CAROTINE IN LUZERNEMEEL EN GRASMEEL

#### a. Doel en opzet van de proeven

Het doel van de proeven was een nadere oriëntering te verkrijgen omtrent de grootte van de verliezen aan carotine in Nederlands groenvoedermeel, dat onder omstandigheden wordt opgeslagen zoals in de praktijk mogelijk geacht worden en eventueel zonder al te ingrijpende maatregelen te verwerklijken zijn.

Luzernemeel werd op verschillende temperaturen gebracht en vervolgens gedurende bepaalde perioden bij verschillende temperaturen bewaard. De keuze van de temperatuur-tijdverhoudingen was zodanig, dat hierbij

verschillende in de praktijk voorkomende of praktisch uitvoerbare werkwijzen werden geïmiteerd. Een en ander kan verduidelijkt worden met het proefschema, opgenomen in tabel 1.

TABEL 1. Bewaarschema onderzoek a

Deel van de bewaarijperiode van 200 dagen		Bewaartemperatuur bij de volgende objecten			
		I	II	III	IV
Eerste	5 dagen	50° C	40° C	30° C	20° C
<i>First</i>	<i>5 days</i>				
Volgende	15 dagen	40° C	30° C	20° C	10° C
<i>Following</i>	<i>15 days</i>				
Volgende	45 dagen	30° C	20° C	20° C	10° C
<i>Following</i>	<i>45 days</i>				
Volgende	135 dagen	20° C	20° C	20° C	10° C
<i>Following</i>	<i>135 days</i>				

Part of the storage period of 200 days	I	II	III	IV
		<i>Storage temperature with above mentioned objects</i>		

TABEL 1. Storage scheme investigation a

Hierbij is object I verondersteld representatief te zijn voor een zeer slechte opslag (na de droging slecht gekoeld meel — zeer langzame afkoeling in het pakhuis). Object II betreft wat minder ongunstige omstandigheden. Object III is representatief voor na het drogen enigszins gekoeld meel, opgeslagen in een pakhuis waarin de bewaartemperatuur redelijk is. Object IV ten slotte kan geacht worden met lucht gekoeld meel te betreffen, dat opgeslagen is in een pakhuis en waarbij bijzondere maatregelen zijn getroffen om de temperatuur van het meel reeds vrij spoedig na het inbrengen tot een vrij laag peil terug te brengen en dit niveau te handhaven.

Vóór de opslag en telkens na het verstrijken van een deel van de bewaarijperiode werd een onderzoek ingesteld naar het vocht- en carotinegehalte.

Grasmeel werd bewaard bij drie constante temperaturen, 10°, 20° en 30° C. Bij 20° C waren er twee objecten, waarvan één waarbij het meel eerst op 10° C was gebracht alvorens bij 20° C te worden bewaard. De bewaarproef heeft 276 dagen geduurd. Aangezien vooral in de laatste periode het bezwaar optrad van het vochtig worden van enkele monsters (onder invloed van andere produkten in de bewaar ruimte zal alleen een periode van 180 dagen in beschouwing worden genomen.

*b. Verkregen resultaten*

De resultaten betreffende het bewaaronderzoek a zijn samengevat in tabel 2, die van bewaaronderzoek b in tabel 3.

TABLE 2. Gemiddelde resultaten betreffende het bewaaronderzoek van luzernemeel, bewaard bij verschillende temperatuuroomstandigheden (bewaaronderzoek a)

Be- waar- tijd in dagen	5 dagen bewaard bij 50° C, daarna 15 dagen bij 40° C, daarna 45 dagen bij 30° C, daarna 135 dagen bij 20° C			5 dagen bewaard bij 40° C, daarna 15 dagen bij 30° C, daarna 180 dagen bij 20° C			5 dagen bewaard bij 30° C, daarna 195 dagen bij 20° C			5 dagen bewaard bij 20° C, daarna 195 dagen bij 10° C		
	ds %	Carotine mg/kg ds	Verhou- dings- getal carotine	ds %	Carotine mg/kg ds	Verhou- dings- getal carotine	ds %	Carotine mg/kg ds	Verhou- dings- getal carotine	ds %	Carotine mg/kg ds	Verhou- dings- getal carotine
0	91,0	155	100	90,9	156	100	90,7	153	100	90,6	156	100
5	93,1	112	73	92,3	143	91	91,1	140	92 <sup>1</sup> (95)	90,6	142	91 <sup>1</sup> (99)
20	94,3	57	37	93,1	107	69	90,8	141	92	90,4	156	100 <sup>1</sup> (98)
65	93,4	33	21	90,0	99	63	89,9	129	84	90,8	150	96
200	86,8	25	16	87,2	69	44	87,1	85	56	89,5	124	79
Storage duration days	5 days stored at 50° afterwards 15 days at 40° afterwards 45 days at 30° afterwards 135 days at 20° C			5 days stored at 40° afterwards 15 days at 30° afterwards 180 days at 20° C			5 days stored at 30° afterwards 195 days at 20° C			5 days stored at 20° afterwards 195 days at 10° C		
	Dry matter %	Carotene mg/kg dry matter	Ratio carotene content	Dry matter %	Carotene mg/kg dry matter	Ratio carotene content	Dry matter %	Carotene mg/kg dry matter	Ratio carotene content	Dry matter %	Carotene mg/kg dry matter	Ratio carotene content

<sup>1</sup> Onwaarschijnlijke waarden — unlikely values

TABLE 2. Mean results concerning storage tests with lucerne meal, stored at different circumstances with respect to temperature (investigation a)



TABEL 3. Resultaten betreffende het bewaaronderzoek van grasmeel, bewaard bij verschillende constante temperaturen (bewaaronderzoek b)

Bewaar- tijd in dagen	Bewaartemperatuur 10° C			Bewaartemperatuur 20° C <sup>1</sup>			Bewaartemperatuur 20° C			Bewaartemperatuur 30° C		
	Ds %	Carotine mg/kg ds	Verhou- dings- getal carotine	Ds %	Carotine mg/kg ds	Verhou- dings- getal carotine	Ds %	Carotine mg/kg ds	Verhou- dings- getal carotine	Ds %	Carotine mg/kg ds	Verhou- dings- getal carotine
0	92,5	366	100	92,1	382	100	93,5	386	100	92,2	382	100
10	91,8	331	90	91,7	373	98	91,5	370	97	94,1	322	84
30	90,8	309	84	89,6	317	83	89,8	337	87	94,7	216	56
90	89,4	306	84	88,6	204	53	89,7	201	52	91,0	120	31
180	85,6	278	76	86,9	101	26	86,9	102	26	94,1	52	14
Storage duration days	Dry matter %	Carotene mg/kg dry matter	Ratio carotene content	Dry matter %	Carotene mg/kg dry matter	Ratio carotene content	Dry matter %	Carotene mg/kg dry matter	Ratio carotene content	Dry matter %	Carotene mg/kg dry matter	Ratio carotene content
			Storage temperature 10° C			Storage temperature 20° C <sup>1</sup>			Storage temperature 20° C			Storage temperature 30° C

<sup>1</sup> Gedurende 1½ dag afgekoeld tot 10° C en daarna bewaard bij 20° C  
During 1½ day cooled down to 10° C, afterwards stored at 20° C

TABEL 3. Results concerning storage tests with grass meal, stored at different constant temperatures (investigation b)

Carotinegehalte in % van de beginwaarde  
*Carotene content in % of original value*

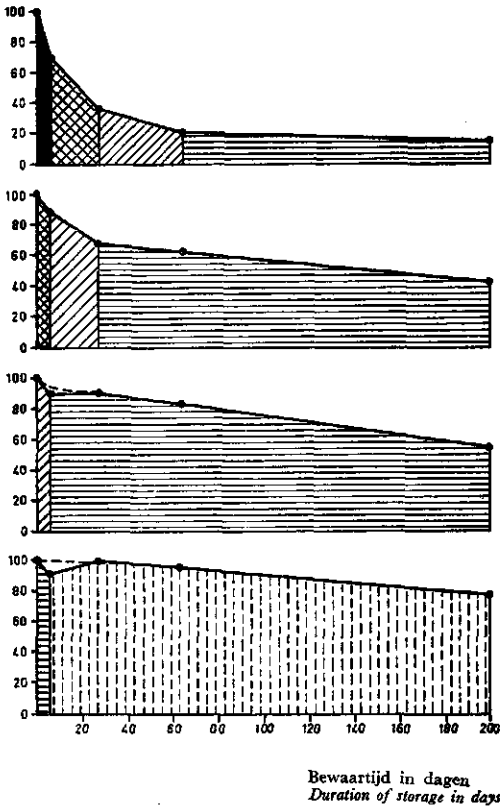


FIG. 1.

Verloop van het carotinegehalte in % van de beginwaarde tijdens bewaring van luzernemeel in zakken bij verschillende temperatuur-tijd-combinaties

Aanduiding bewaartemperatuur:  
*Indication of storage temperature:*



FIG. 1.

*Fluctuations in the carotene content in % of the original value during storage of lucerne meal in sacks (different temperature-time combinations)*

Grafisch zijn de resultaten betreffende de carotineaafbraak in luzernemeel verwerkt in fig. 1.

Bij de grafische uitzetting is een drietal punten als onwaarschijnlijk te voorschijn gekomen. Het geconstateerde verloop (gestreepte lijn) is met een stippellijn gecorrigeerd. In tabel 2 zijn deze waarden aangegeven.

De resultaten van het onderzoek met grasmeel zijn grafisch verwerkt in fig. 2.

*c. Beschouwing van de resultaten*

Fig. 3 werd samengesteld om het verband weer te geven tussen de mate van carotineaafbraak en de bewaartemperatuur bij normale opslag van luzernemeel. Hierin is het carotinegehalte op logaritmische schaal en de tijd op lineaire schaal uitgezet. Waarnemingen zijn verwerkt voor zover er meerdere bij een bewaartemperatuur beschikbaar zijn.

Carotinegehalte in % van de beginwaarde  
Carotene content in % of original value

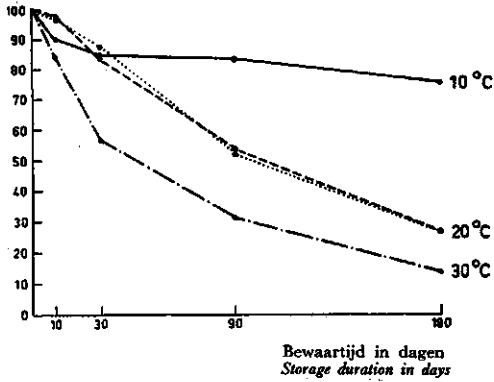


FIG. 2.

Verloop van het carotinegehalte in % van de beginwaarde tijdens bewaring van grasmeel in zakken bij verschillende temperaturen

FIG. 2.

Fluctuations in the carotene content in % of the original value during storage of grass meal in sacks (different temperatures)

Carotinegehalte in % van de beginwaarde  
Carotene content in % of original value

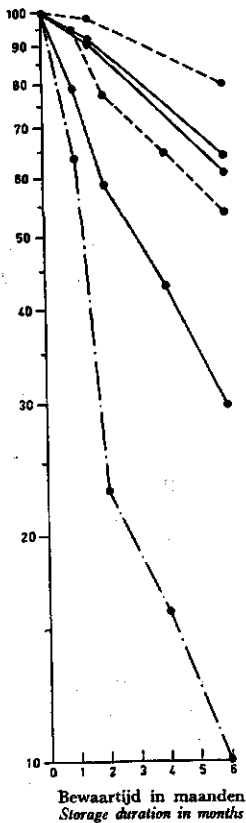


FIG. 3.

Verloop van het carotinegehalte tijdens opslag van luzernemeel bij verschillende bewaartemperaturen

Bewaartemperaturen  
Storage temperatures

--- 10° C  
— 20° C  
- . - . - 30° C

FIG. 3.

Fluctuations in the carotene content during storage of lucerne meal at different storage temperatures

Carotinegehalte in % van beginwaarde  
Carotene content in % of original value

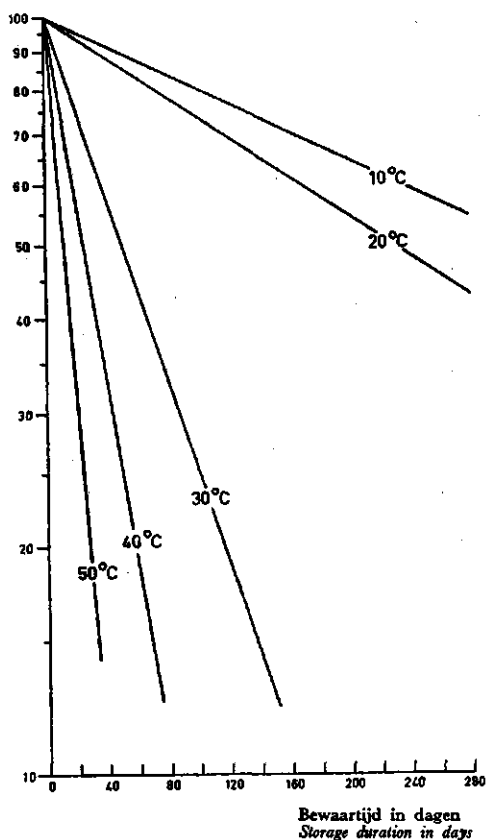


FIG. 4.

Ten naaste bij te verwachten verloop van het carotinegehalte tijdens opslag van luzernemeel bij verschillende temperaturen

FIG. 4.

Estimates of the likely fluctuations in the carotene content during storage of lucerne meal at different temperatures

Beschouwt men fig. 3, dan komt men tot de conclusie, dat het carotineverloop, uitgezet op semi-logaritmisch papier, vrijwel rechtlijnig is. Dit zou betekenen dat het zeer waarschijnlijk is dat de carotineaafbraak bij een bepaalde temperatuur steeds evenredig is met het op een bepaald moment aanwezige carotinegehalte. Met andere woorden gezegd: de afbraakduur van 100% carotine tot 50% duurt even lang als die van 50% tot 25%, van 25% tot 12,5% etc. (bij gelijkblijvende opslagomstandigheden). De helling van de lijnen zoals in fig. 3 weergegeven, wordt door deze opslagomstandigheden bepaald. Dat er een spreiding kan optreden, volgt eveneens uit fig. 3 (zie het verschil in helling tussen enkele lijnen van 10° C en 20° C).

Op grond van de overweging, dat de snelheid van carotineaafbraak op een bepaald moment een functie is van het op dat moment aanwezige carotinegehalte, zijn op semi-logaritmisch papier alle lijnen van carotine verlopen,

getekend zoals deze bij het onderhavige onderzoek van ongemengd luzernemeel bewaard aan de lucht, geconstateerd zijn.

Per temperatuur zijn daarna gemiddelde lijnen getekend, die elk de gemiddelde helling vertonen van die, welke zijn geconstateerd. De aldus voor 10°, 20°, 30°, 40° en 50° C verkregen lijnen zijn te zien in fig. 4. In deze figuur is het verloop van het carotinegehalte te zien, dat ten naaste bij verwacht kan worden als men luzernemeel aan de lucht opslaat bij verschillende temperaturen.

Men ziet dat de lijnen voor 50, 40 en 30° C als bewaartemperaturen veel steiler verlopen dan die voor 20 en 10° C.

Dit is van grote praktische betekenis, omdat hieruit zou volgen dat elke temperatuur die boven de normale buitenluchttemperatuur ligt, funeste gevolgen heeft, terwijl men bij bewaartemperaturen om en nabij de buitenluchttemperatuur de carotineafbraak bij luzernemeel binnen redelijke grenzen kan houden.

Een belangrijke conclusie is, dat vooral de hogere temperaturen (50° C—40° C) vermeden moeten worden, ook al treden deze slechts gedurende een betrekkelijk korte tijd op.

Leest men van fig. 4 de tijd af, waarin b.v. het carotinegehalte met 25% daalt, dan vindt men het volgende:

Bij 50° C daalt het carotinegehalte tot 75% van de waarde in vermoedelijk	6 dagen
„ 40° C „ „ „ „ 75% „ „ „ „ „	12 „
„ 30° C „ „ „ „ 75% „ „ „ „ „	22 „
„ 20° C „ „ „ „ 75% „ „ „ „ „	95 „
„ 10° C „ „ „ „ 75% „ „ „ „ „	132 „

De verhoudingen van de snelheid van carotineafbraak zouden als volgt liggen:

bij 10° C snelheid	1	
„ 20° C „	1,4	
„ 30° C „	6	
„ 40° C „	11	
„ 50° C „	22	(zie fig. 5)

Bij de hogere temperaturen (30° C en hoger) lijkt het erop, dat de opvatting: bij 10° C hogere temperatuur verloopt de reactie twee maal zo snel, ook hier tot uiting komt. Merkwaardig is evenwel de sprong tussen 20° C en 30° C.

Het aantal waarnemingen is veel te klein om hieromtrent nadere conclusies uit te spreken. Wel is het aannemelijk, dat de waarschijnlijke invloed van de bewaartemperatuur, uitgedrukt in cijfers, zoals deze bij dit onderzoek tot uiting komt, in redelijke mate als basis kan dienen bij overwegingen omtrent de beste methode van bewaring die *met betrekkelijk eenvoudige middelen is te verwezenlijken.*

Snelheid carotine-afbraak (bij 10° C = 1 gesteld)  
*Rate of carotene destruction (at 10° C = 1)*

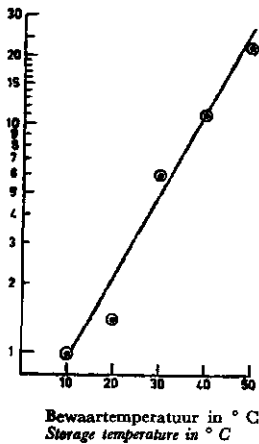


FIG. 5.

Verband tussen bewaartemperatuur en snelheid van carotine-afbraak (luzernemeel)

FIG. 5.

*Relation between storage temperature and rate of carotene destruction (lucerne meal)*

Als men bedenkt, dat op grond van bovengenoemde cijfers, 1 dag bij 50° C vermoedelijk evenveel invloed heeft als ruim twee weken bij 20° C, is het duidelijk dat de grote praktische winst is gelegen in het zo snel mogelijk omlaag brengen van de temperatuur van het geproduceerde meel. Wat betreft de snelheid van de afbraak van de carotine bij grasmeel zijn bij een oriënterende bewaarproef eveneens enkele gegevens beschikbaar gekomen. Ook hierbij is overigens gebleken, dat de snelheid van afbraak op een bepaald tijdstip evenredig is met het gehalte op dat moment. Bij grasmeel was het verschil tussen de snelheden van afbraak bij 20° C en 30° C veel kleiner en het verschil tussen die bij 10° C en 20° C groter dan bij luzernemeel. De temperatuur 20° C zou bij grasmeel dus relatief ongunstiger zijn.

#### d. Conclusies

Bewaartemperaturen boven 20° C zijn bij luzernemeel funest. Men moet erop rekenen, dat de carotineaafbraak, die bij 10° C in  $\pm 3$  weken plaats vindt, zich bij 20° C in  $\pm 2$  weken voltrekt, bij 30° C in 3 à 4 dagen, bij 40° C in 2 dagen en bij 50° C in 1 dag.

Bij grasmeel zouden volgens de oriënterende bewaarproef temperaturen van om en nabij 20° C relatief ongunstiger zijn dan bij luzernemeel. De afbraak zou bij 10° C en 30° C ongeveer even snel verlopen als bij luzernemeel. Eerst afkoelen tot 10° C en daarna bewaren bij 20° C gaf geen effect ten opzichte van rechtstreeks bewaren bij 20° C.

Een praktisch perspectief tot verbetering is gelegen in het onmiddellijk terugbrengen van de temperatuur van pas gefabriceerd meel of van pas opgeslagen meel tot iets boven de buitenluchttemperatuur. Een verdere mogelijkheid ligt wellicht in het gebruik maken van koele nachtlucht voor

het bij opslag snel omlaag brengen, respectievelijk laag houden van de meeltemperatuur, mits het temperatuurverschil tussen meel en lucht, met het oog op het droog blijven van het meel, voldoende groot is.

### 3. ONDERZOEK NAAR HET TEMPERATUURVERLOOP EN DE DAARBIJ OPTREDENDE CAROTINEVERLIEZEN IN STAPELS PAPIEREN ZAKKEN MET GEDROOGD GROENVOEDERMEEL IN DE PRAKTIJK

#### a. Opzet van de metingen en resultaten

Metingen zijn verricht in het seizoen 1957/58 aan een kleine stapel (I) zakken met grasmeel (17 ton, 4m × 4m × 4m hoog) en een grote stapel (II) zakken met luzernemeel (80 à 90 ton, 5½m × 9m × 8m hoog). Het meten van de temperaturen op verschillende plaatsen in de stapel geschiedde met behulp van thermo-elementen; monsters werden vóór en na de opslag genomen op de meetplaatsen. De voornaamste resultaten volgen hieronder.

TABEL 4. Temperaturen in °C, gemeten in de praktijk in de proefzakken met grasmeel (kleine stapel I)

Plaats in de stapel <i>Place in stack</i>	17/18 mei <i>may</i>	Na <i>After</i> 4 d.	Na <i>After</i> 10 d.	Na <i>After</i> 17 d.	Na <i>After</i> 30 d.	Na <i>After</i> 49 d.	Na <i>After</i> 89 d.	Na <i>After</i> 129 d.	Na <i>After</i> 184 d.
		22/5	28/5	4/6	17/6	6/7	15/8	24/9	20/11
Onder — <i>under</i>	29,7	17,9	17,9	14,6	18,0	20,0	18,6	15,0	9,7
T — <i>T</i>	28,9	19,1	16,5	16,1	19,5	24,0	19,8	15,6	9,4
Hart — <i>centre</i>	28,2	20,6	15,5	17,1	20,5	24,0	19,9	16,0	9,5
Zijkant — <i>side</i>	30,1	18,3	15,5	19,3	23,5	26,5	20,0	16,2	7,1
T — <i>T</i>	30,7	18,7	16,0	18,1	22,0	25,5	20,1	16,2	8,3
Hart — <i>centre</i>	29,5	21,0	16,1	16,6	20,5	24,8	20,2	16,5	9,7
Hart — <i>centre</i>	27,0	22,6	17,2	16,3	19,7	24,0	20,2	16,7	10,3
T — <i>T</i>	28,2	19,2	15,5	17,3	20,9	25,0	20,1	16,7	9,3
Zijkant — <i>side</i>	30,1	19,8	15,5	18,9	22,1	25,3	20,1	16,7	9,1
Hart — <i>centre</i>	32,0	23,2	17,1	16,4	19,8	24,0	20,2	16,7	10,3
T — <i>T</i>	30,2	22,5	17,1	17,9	21,0	25,8	21,6	17,1	10,0
Boven — <i>upper</i>	30,9	24,0	18,7	18,1	22,0	26,5	22,0	17,4	10,8
Lucht-temperatuur in opslagruimte <i>Air temperature in storage room</i>	17,6	13,9	15,5	19,8	26,0	26,5	17,1	14,2	5,5

T betekent: tussen de erboven en eronder genoemde plaats in.  
*T means: between under and centre etc.*

TABLE 4. *Temperatures in °C, measured in practice in sacks with grass meal (small stack I)*

TABLE 5. Temperaturen in ° C, gemeten in de proefzakken met luzernemeel (Grote stapel II)

Plaats in de stapel Place in stack	6/7 aug. 1957	Na After 1 d. 8/8	Na After 3 d. 10/8	Na After 5 d. 12/8	Na After 9 d. 16/8	Na After 13 d. 20/8	Na After 19 d. 26/8	Na After 27 d. 3/9	Na After 38 d. 14/9	Na After 59 d. 5/10	Na After 100 d. 15/11	Na After 138 d. 23/12	Na After 190 d. 13/2 '58
Onder — <i>under</i>	25,5	27,5	26,0	27,0	25,0	21,4	21,2	18,3	20,2	20,0	16,5	12,8	10,3
T — <i>T</i>	48,5	45,0	36,0	33,0	30,0	28,2	28,7	23,7	24,8	23,0	18,3	13,0	9,9
Hart — <i>centre</i>	41,0	40,0	30,5	30,0	28,5	25,6	25,4	22,7	24,0	22,7	17,7	12,2	9,3
Zijkant — <i>side</i>	48,5	45,5	32,0	30,0	26,5	24,0	24,8	19,5	22,4	20,6	15,6	8,4	5,7
T — <i>T</i>	37,5	43,5	34,0	34,0	32,0	28,2	27,8	23,5	24,6	22,8	17,9	11,2	8,3
Hart — <i>centre</i>	48,0	47,0	34,5	32,5	28,0	27,6	27,8	23,5	25,6	23,6	18,5	12,4	9,1
Hart — <i>centre</i>	39,0	40,0	34,0	32,5	31,0	28,2	27,8	24,3	25,6	24,1	18,0	12,2	8,9
T — <i>T</i>	34,5	40,0	35,5	32,0	30,0	27,8	28,8	23,5	24,0	21,0	16,6	9,6	6,7
Zijkant — <i>side</i>	38,5	41,5	30,5	29,0	26,0	23,2	22,4	18,9	21,2	17,1	13,0	6,0	5,1
Hart — <i>centre</i>	46,0	43,5	34,0	29,5	30,0	28,3	28,8	24,1	25,4	23,4	18,2	12,1	9,0
T — <i>T</i>	—	—	36,0	32,5	30,5	28,6	29,6	24,9	26,8	24,2	18,8	12,3	9,3
Boven — <i>upper</i>	—	—	—	32,0	26,0	24,6	23,6	17,7	22,4	19,6	15,2	8,7	9,4
Lucht- temperatuur in opslagruimte Air temperature in storage room	20,0	20,0	18,5	19,0	17,0	18,6	15,8	14,3	13,4	11,6	7,3	6,0	7,5

T betekent: tussen de erfoven en eronder genoemde plaats in.  
T means: between under and centre etc.

TABLE 5. Temperatures in ° C, measured in the sacks with lucerne meal (Big stack II)



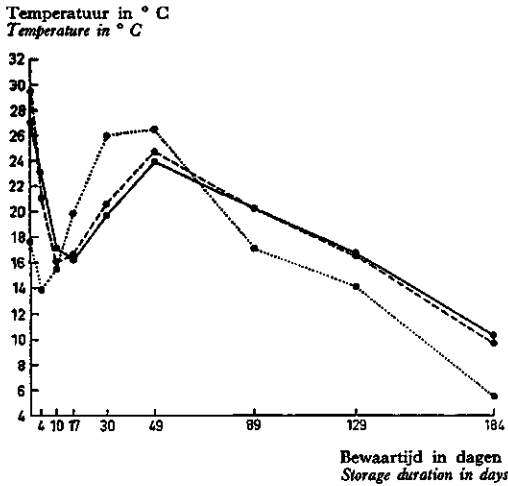


FIG. 6.  
Temperatuurverloop in twee zakken in het hart van een stapel zakken met grasmeel (stapel I)

..... Luchttemperatuur in opslagruimte  
Air temperature in storage room

FIG. 6.  
Fluctuations in the temperature in two sacks in the centre of a stack of sacks of grass meal (stack I)

FIG. 7.  
Temperatuurverloop in twee zakken in het hart van een stapel zakken met luzernemeel (stapel II)

..... Luchttemperatuur in opslagruimte  
Air temperature in storage room

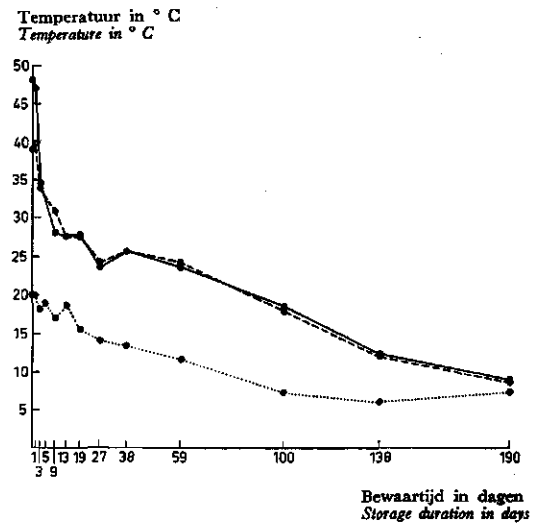


FIG. 7.  
Fluctuations in the temperature in two sacks in the centre of a stack of sacks of lucerne meal (stack II)

De gemeten temperaturen met opgave van plaats en tijd vindt men in de tabellen 4 en 5. Bij stapel I (bewaarduur 294 dagen) zijn temperatuurwaarnemingen verricht over de eerste 180 dagen. Men kan aannemen dat de temperatuur over het laatste deel der proef (december t/m februari) laag is gebleven. In de figuren 6 en 7 is het verloop van de temperatuur in een paar zakken in het hart van de stapels uitgezet evenals dat van de temperatuur van de lucht om de stapel.

De carotieverliezen zijn opgenomen in de tabellen 6 en 7.

TABEL 6. Carotineverliezen stapel I

Plaats in de stapel	Analyses bij het begin van de proef op 17/18 mei 1957		Analyses bij het einde van de proef op 10/3 1958		Verlies in % van oorspronkelijk aanwezig carotene na 294 d. bewaren
	ds %	carotene mg/kg ds	ds %	carotene mg/kg ds	
Onder — <i>under</i>	89,8	351	89,3	99	71,8
T — <i>T</i>	92,4	357	90,2	130	63,6
Hart — <i>centre</i>	91,7	345	90,8	128	62,9
Zijkant — <i>side</i>	93,0	273	89,5	155	43,2
T — <i>T</i>	93,0	296	89,9	159	46,3
Hart — <i>centre</i>	91,2	270	90,0	149	44,8
Hart — <i>centre</i>	89,4	295	90,2	105	64,4
T — <i>T</i>	90,9	268	89,3	161	39,3
Zijkant — <i>side</i>	90,3	284	89,5	127	51,1
Hart — <i>centre</i>	92,3	263	90,1	98	62,7
T — <i>T</i>	89,1	278	90,0	137	50,7
Boven — <i>upper</i>	94,2	244	89,9	116	52,5

Place in stack	<i>dry matter</i> %	<i>carotene mg/kg dry matter</i>	<i>dry matter</i> %	<i>carotene mg/kg dry matter</i>	Losses in % of original value after 294 d. storage
	Original analyses		Analyses after storage period		

T betekent: tussen de erboven en eronder genoemde plaats in.  
*T means: between under and centre etc.*

TABEL 6. Carotene losses stack I

In fig. 8 is het verloop van de temperatuur van een van de zakken in het hart van de stapels nog eens getekend en daarnaast het verloop van de te verwachten snelheid van carotineaafbraak volgens fig. 5 (snelheid carotineaafbraak bij 10° C = 1 genomen). De oppervlakten van de gearceerde gedeelten zouden dan een maat zijn voor het te verwachten carotineverlies. Het oppervlak van II is ± 10% groter dan dat van I. In werkelijkheid was het carotineverlies bij stapel II (hart van de stapel) ± 20% groter dan dat van stapel I.

*b. Conclusies*

Men kan constateren dat de materiaaltemperatuur de luchttemperatuur bij een kleine stapel (I) veel sneller en met minder verschil volgt dan bij een grote stapel (II). Alleen bij de grote stapel is een verschil van betekenis te constateren in de temperaturen in het hart en meer naar de kant. Gemiddeld is het verschil evenwel betrekkelijk gering.

FIG. 8.

Vergelijking van het verloop van de temperatuur (t) in het hart van twee stapels groenvoedermeel en van het verloop van de te verwachten snelheid van carotineafbraak (ca).  
(Gearceerde oppervlak = maat voor het te verwachten totale carotineverlies).

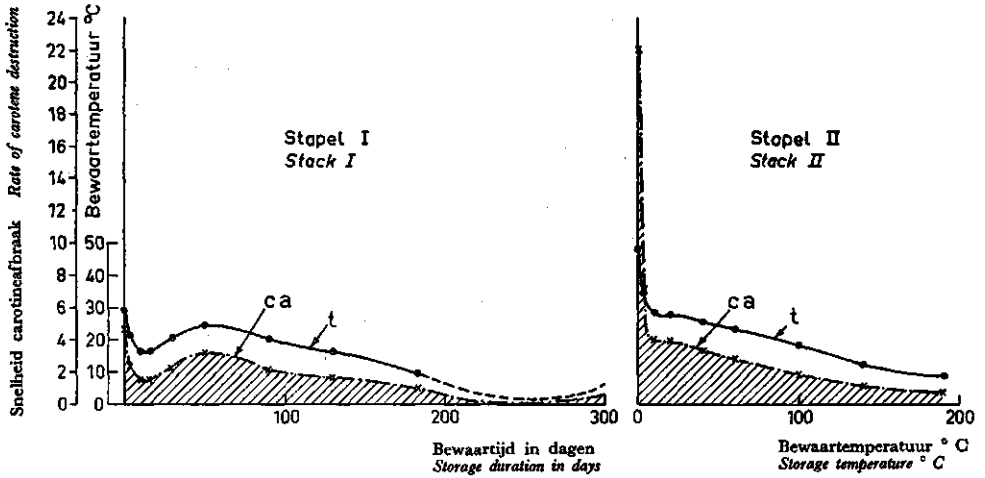


FIG. 8.

Comparison of the fluctuations in the temperature (t) in the centre of two stacks of dried greenfodder meal and of the fluctuations in the likely of carotene destruction (ca).  
(Shadowned surface = measure for the total carotene losses to be expected).

De totale geconstateerde verliezen blijken, als men het temperatuurverloop weet, redelijk nauwkeurig te voorspellen te zijn (fig. 5 als basis). Een hoge begintemperatuur bij het stapelen heeft een grote invloed op de grootte van het uiteindelijke verlies.

Een perspectief ligt wellicht in het gebruik maken van nachtlucht van voldoende lage temperatuur om de gemiddelde temperatuur van de stapel enkele graden beneden de gemiddelde dagtemperatuur te brengen, zonder dat het meel vochtiger wordt.

#### 4. DE TEMPERATUUR VAN HET MEEL NA DE FABRIKATIE EN PRAKTISCHE MIDDELEN WELKE MOGELIJK ZIJN OM DEZE TEMPERATUUR OMLAAG TE BRENGEN

##### a. Praktijkwaarnemingen.

Bij verschillende gelegenheden zijn gedurende het seizoen 1957 en 1958 temperaturen in de zak gemeten van pas gefabriceerd meel bij drogerijen, waar geen speciale nakoeling van het meel werd toegepast (nakoeling is op verreweg het grootste deel van de drogerijen nog niet in gebruik). De waargenomen temperaturen en de spreiding in de waarnemingen volgen uit fig. 9.

De zeer hoge temperaturen (meer dan 60° C) komen voor in de gevallen

waarbij de capaciteit van de hamermolen krap is. Men droogt dan nogal scherp af om het malen te vergemakkelijken. De hamermolen verwerkt dan

TABEL 7. Carotineverliezen stapel II

Plaats in de stapel	Analyses bij het begin van de proef aug. 1957		Analyses bij het eind van de proef op 26/2 1958		Verlies in % van oorspronkelijk aanwezig carotine na ca. 200 d. bewaren
	ds %	carotine mg/kg ds	ds %	carotine mg/kg ds	
Onder — <i>under</i>	93,5	37	94,4	14	62,2
T — <i>T</i>	95,1	117	95,2	28	76,1
Hart — <i>centre</i>	92,6	112	93,5	24	78,6
Zijkant — <i>side</i>	93,9	82	93,4	29	64,6
T — <i>T</i>	94,0	117	94,7	36	69,2
Hart — <i>centre</i>	94,1	105	94,4	35	66,7
Hart — <i>centre</i>	94,1	120	94,3	35	70,8
T — <i>T</i>	93,6	95	94,2	30	68,4
Zijkant — <i>side</i>	94,3	113	—	—	—
Hart — <i>centre</i>	93,0	92	—	—	—
T — <i>T</i>	91,8	53	93,8	18	66,0
Boven — <i>upper</i>	94,0	65	92,9	16	75,4

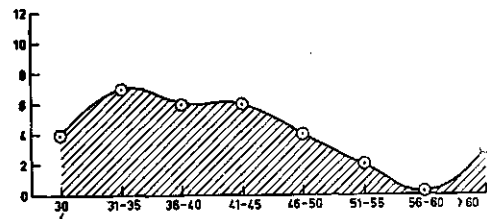
  

Place in stack	dry matter %	carotene mg/kg dry matter	dry matter %	carotene mg/kg dry matter	Losses in % of original value after 200 d. storage
	Original analyses		Analyses after storage period		

T betekent: tussen de erboven en eronder genoemde plaats in.  
T means: between under and centre etc.

TABEL 7. Carotene losses stack II

Aantal waarnemingen  
Number of observations



Meeltemperatuur in de zak in °C  
Meal temperature in sack in °C

FIG. 9.

Spreiding van 32 waarnemingen van temperaturen van het meel in de zak na fabricatie

FIG. 9.

Distribution of 32 observations of meal temperature in the sack immediately after manufacture

veel meel en een groter deel van de bij het malen vrijkomende warmte komt als voelbare warmte in het meel terecht.

Bij malen van natter materiaal (hetgeen bij een grotere maalcapaciteit mogelijk is) wordt deze warmte meer gebruikt voor het verdampen van het teveel aan vocht. Daardoor komt het meel minder warm uit de hamermolen.

Wil men kracht besparen, dan dient men dus enerzijds een zodanige droger capaciteit te hebben dat het meel voldoende droog in de hamermolen komt, doch anderzijds moet men dan tevens maatregelen nemen om het gefabriceerde meel na te koelen.

In de meeste gevallen blijkt het meel een temperatuur te hebben van 30—50° C, gemiddeld 40° C. Men kan dus wel concluderen, dat nakoeling bij alle drogerijen wenselijk zou zijn, vooral als het meel enige tijd moet worden opgeslagen.

*b. Koeling van het meel vóór de opslag*

Bij een viertal drogers zijn vóór het seizoen 1958 maatregelen getroffen om een eenvoudige nakoeling van het meel te bewerkstelligen in een pneumatische koeler.

Waarnemingen aan drie installaties hebben uitgewezen, dat het meel gemiddeld van 36° C tot 25° C werd afgekoeld. De methode komt hierop neer, dat men het meel opvangt in een onverwarmde luchtstroom en deze in een extra cycloon voert waar de scheiding plaats vindt. Er behoort een zakkenfilter bij om geen te grote meelverliezen te lijden. In de praktijk geeft dit zakkenfilter, dat betrekkelijk snel een te grote luchtweerstand krijgt en dus vaak gereinigd moet worden, nogal bezwaren. Alles bijeengenomen betekent de bijna 10° C verlaging van de meeltemperatuur een zeer welkome verbetering. Opgemerkt kan worden dat de drie drogerijen, waaraan waarnemingen zijn verricht, wat betreft de temperatuur van het ongekoelde meel, zeker niet tot de slechtsten behoorden.

De luchthoeveelheid die werd toegepast beliep ongeveer 2500—4000 m<sup>3</sup>/uur, de luchtsnelheid in de pneumatische koelleiding 12 m/sec.

Een berekening leert het volgende:

Als de luchtsnelheid in de buis b.v. 15 m/sec. is en de buis niet al te kort, zodat meel en lucht voldoende gelegenheid hebben met elkaar in contact te blijven, kan men aannemen, dat het meel gekoeld wordt tot een temperatuur die 2° C hoger ligt dan de eindtemperatuur van de lucht. Wij kunnen van de volgende gegevens uitgaan:

Begintemperatuur meel	$t_m$ ° C
Daling meeltemperatuur	$x$ ° C
Eindtemperatuur meel	$(t_m - x)$ ° C
Buitenluchttemperatuur	$t_l$ ° C
Hoeveelheid koellucht	$L$ kg/uur
Hoeveelheid meel	600 kg/uur
Stijging luchttemperatuur	$y$ ° C

Vergelijkingen:  $t_m - x = t_l + y + 2$  . . . . . (1)

$600 \cdot x \cdot 0,5 = L \cdot y \cdot 0,25$  . . . . . (2)

$x = \frac{L(t_m - t_l - 2)}{1200 + L}$  . . . . . (3)

Uit e.e.a. volgt, dat de luchthoeveelheid belangrijk groter genomen moet worden naarmate de temperatuur van het meel hoger is. Bij 50° C als meeltemperatuur moet de luchthoeveelheid het dubbele zijn van die bij 40° C als meeltemperatuur. Bij 40° C als meeltemperatuur is een luchthoeveelheid van 4000 kg/uur (55 m<sup>3</sup>/min) voldoende voor een installatie van 600 kg meel/uur.

Stelt men de meeltemperatuur  $t_m$  op 50° C en de luchthoeveelheid L op 9000 kg/uur dan levert de oplossing van (3) het volgende:

buitenluchttemperatuur	}	15° C — meeltemperatuur na koelen 21° C
		20° C — " " " 25° C
		25° C — " " " 30° C

Nemen we als temperatuurverschil niet 2, maar 5° C aan, dan krijgen wij:

buitenluchttemperatuur	}	15° C — meeltemperatuur na koelen 24° C
		20° C — " " " 28° C
		25° C — " " " 32° C

Is de meelproduktie hoger ,b.v. 800 kg/uur, dan worden de temperaturen van het meel 5—6° C hoger.

Stelt men de meeltemperatuur op 40° C en de luchthoeveelheid op 4000 kg/uur dan krijgt men bij een bovengenoemd temperatuurverschil van 2° C

buitenluchttemperatuur	}	15° C — meeltemperatuur na koelen 22° C
		20° C — " " " 26° C
		25° C — " " " 30° C

### III. BEWARING VAN GEDROOGDE GROENVOEDERS ONDER AFSLUITING VAN DE LUCHT OF ONDER EEN ZUURSTOFVRIJE ATMOSFEER

#### 1. VOORNAAMSTE GEGEVENS UIT DE LITERATUUR

In het algemeen blijkt uit de literatuur, dat het wegnemen van de zuurstof uit de atmosfeer waarin het produkt ligt opgeslagen — zoals te verwachten is — het oxydatieproces, dus de afbraak, verhindert (BOOTH, 1955). In de praktijk is een dergelijke methode vermoedelijk alleen te verwezenlijken als het, zoals in de Verenigde Staten het geval is, om zeer grote installaties gaat. Men verkrijgt daar een inactieve atmosfeer door het wegnemen van de zuurstof d.m.v. verbranding van een daarvoor geschikte vloeibare organische brandstof (RICKEY, 1956).

Men verkrijgt dan een atmosfeer met  $\pm 12\%$   $\text{CO}_2$  en  $\pm 88\%$   $\text{N}_2$ . Men zorgt voor een blijvende geringe overdruk, zodat inlekken van zuurstof wordt voorkomen. Men schijnt met deze installaties te bereiken dat 95% van de carotine behouden blijft na 7—8 maanden opslag. Afsluiting van de lucht is minder afdoende dan vervanging van de luchtatmosfeer door een inert gas. Toch zou de methode misschien van betekenis kunnen zijn als men erin zou slagen een doelmatige verpakking te vinden. Men is evenwel niet tot een praktische en aan de eisen voldoende verpakking toegekomen, die bovendien economisch verantwoord is. Er zijn aanwijzingen, dat er pas van een gunstig effect gesproken kan worden als er minder dan 3% zuurstof in de omringende atmosfeer aanwezig is (ORTH, KOCH UND KAUFMANN, 1957).

#### 2. ORIËNTEREND ONDERZOEK BETREFFENDE DE INVLOED VAN LUCHTDICHTE BEWARING VAN LUZERNEMEEL EN VAN BEWARING ONDER STIKSTOF OP DE SNELHEID VAN AFBRAAK VAN CAROTINE

##### a. *Opzet van de proeven en resultaten*

Hetzelfde luzernemeel als waarmede het sub II-2 genoemde onderzoek werd verricht, werd gebruikt voor een oriënterend bewaaronderzoek onder afsluiting van de lucht en onder een inert gas (waarvoor stikstof werd gebruikt).

Bewaard werd bij 10, 20 en 30° C.

Na 0, 1, 2, 4, en 6 maanden werd een onderzoek ingesteld naar het vocht- en het carotinegehalte.

Wat betreft het bewaren onder afsluiting van de lucht zijn de verkregen resultaten verzameld in tabel 8. Die betreffende het bewaren onder een stikstofatmosfeer zijn opgenomen in tabel 9.

Uit de cijfers van de tabellen 8 en 9 is te constateren, dat een zeer grote

**TABEL 8.** Verkregen resultaten bewaren luzernemeel onder afsluiting van de lucht (bewaaronderzoek III-2)

Bewaartijd (maanden)	Bewaartemperatuur					
	10° C		20° C		30° C	
	ds %	carotene mg/kg ds	ds %	carotene mg/kg ds	ds %	carotene mg/kg ds
0 (blanco)	93,4	108	92,7	119	94,0	118
1	92,4	122	92,2	118	93,0	114
2	92,2	142	92,1	150	91,8	108
4	91,9	125	91,9	95	92,2	47
6	92,3	113	92,4	75	92,5	29
Storage duration (months)	<i>dry matter</i> %	<i>carotene</i> mg/kg <i>dry matter</i>	<i>dry matter</i> %	<i>carotene</i> mg/kg <i>dry matter</i>	<i>dry matter</i> %	<i>carotene</i> mg/kg <i>dry matter</i>
	10° C		20° C		30° C	
	Storage temperature					

**TABLE 8.** Results concerning airtight storage of lucerne meal (investigation III-2)

**TABEL 9.** Verkregen resultaten bewaren luzernemeel onder een stikstofatmosfeer (bewaaronderzoek III-2)

Bewaartijd (maanden)	Bewaartemperatuur					
	10° C		20° C		30° C	
	ds %	carotene mg/kg ds	ds %	carotene mg/kg ds	ds %	carotene mg/kg ds
0 (blanco)	91,1	140	90,7	122	90,9	137
1	91,8	126	92,0	113	91,9	125
2	91,6	165	91,7	166	91,5	177
4	91,5	134	91,8	147	91,8	140
6	92,0	160	92,2	145	92,2	146
Storage duration (months)	<i>dry matter</i> %	<i>carotene</i> mg/kg <i>dry matter</i>	<i>dry matter</i> %	<i>carotene</i> mg/kg <i>dry matter</i>	<i>dry matter</i> %	<i>carotene</i> mg/kg <i>dry matter</i>
	10° C		20° C		30° C	
	Storage temperature					

**TABLE 9.** Results concerning storage of lucerne meal under nitrogen (Investigation III-2)



spreiding aanwezig is. Bij dit deel van het onderzoek is niet gewerkt met duplo bewaarmonsters. Wij kunnen geen verklaring geven voor de geconstateerde grote spreiding. Een dergelijke spreiding kwam niet voor bij het onderzoek besproken in II-2 en IV-2, waarbij wel met duplo monsters werd gewerkt.

*b. Conclusies*

De cijfers laten slechts een grove oriënterende conclusie toe, nl. deze, dat *het bewaren onder afsluiting van de lucht, vooral bij temperaturen van 20—30° C zeker niet afdoende is*. Wil men ervan verzekerd zijn dat de achteruitgang slechts gering is, dan moet men blijkbaar ook bij bewaring onder afsluiting van de lucht lagere temperaturen aanleggen. De methode verliest daardoor o.i. alle aantrekkelijkheid.

Het bewaren onder een inert gas schijnt met het oog op het voorkomen van carotineaafbraak wel afdoende te zijn, zelfs bij temperaturen tot 30° C.

## IV. TOEVOEGING VAN ANTI-OXYDANTEN AAN HET GEDROOGDE GROENVOEDER

### 1. VOORNAAMSTE GEGEVENS UIT DE LITERATUUR

Het gebruik van anti-oxydanten is ontstaan doordat men met het oog op het stuiven en het uiterlijk van het meel in de Verenigde Staten ca. 1% olie hieraan toevoegde. Een methode wordt genoemd, waarbij de olie aan het haksel wordt toegevoegd vlak voordat het door de hamermolen gaat (RICKEY, 1956). Een intensieve menging met de olie vindt dan bij het malen plaats. Aan de olie werden anti-oxydanten toegevoegd om ranzig worden te voorkomen. Men merkte toen, dat deze maatregel tevens een remmende uitwerking had op de carotinaafbraak in de groenvoeders bij de bewaring.

In Europa vindt de methode nog geen praktische toepassing. Bij proefnemingen zijn honderden synthetische anti-oxydanten gebruikt (BOOTH, 1958). Er zijn er bij die giftig zijn, moeilijk toe te passen, te duur enz. Vele geven weinig effect, andere werken zodanig dat de afbraaksnelheid tot op de helft wordt gereduceerd. *Santoquin* schijnt het meeste effect te geven (RICKEY, 1956; ORTH, KOCH UND KAUFMANN, 1957). Hiervan moet 0,015%, berekend op meel, toegediend worden. In de Verenigde Staten bestond tot voor kort nogal wat verwachting t.a.v. *E.M.Q.* (THOMPSON, 1958). Dit middel is echter giftig gebleken. Men is nog steeds zoekende; de anti-oxydant die aan alle wensen voldoet is nog niet gevonden. In Nederland zijn alleen *gallaten* toegelaten voor het stabiliseren van oliën en vetten (max. hoeveelheid 0,01%).

### 2. ORIËNTEREND ONDERZOEK OM NA TE GAAN OF DE HOUBAARHEID VAN LUZERNEMEEL, BEZIEN IN HET LICHT VAN CAROTINEBEHOUD, VERBETERD KAN WORDEN DOOR DE WERKING VAN ANTI-OXYDANTEN ALLEEN (ZONDER TOEVOEGING VAN VET)

#### a. Opzet, uitvoering en resultaten

Als tijdelijke drager voor de anti-oxydanten werd alcohol van 96% gebruikt. Na enige oriënterende proefjes werd het volgende recept voor het blanco behandelde monster gevolgd: 3600 g luzernemeel werd in een vaatje met 360 cc alcohol gemengd, dat ineens werd toegevoegd. Aanvankelijk vond klontering plaats, doch door goed mengen met de hand bleek de alcohol snel homogeen door te dringen. Dit was te zien aan de heldergroene kleur die het meel aannam. Er werd gemengd totdat deze bijzondere kleur homogeen was geworden.

Voor de monsters met anti-oxydanten werd hetzelfde recept toegepast, zij het, dat de A.O. van tevoren in de alcohol was opgelost. Bij het mengen

TABEL 10. Vergelijking van de werking van verschillende anti-oxydantia (zonder bijmenging van vet)

Bewaar-temperatuur °C	Bewaar-duur in maanden	blanco		d.g.		B.H.T.		ant.		geheel onbehandeld meel	
		carotene mg/kg meel	verhoudings-getal carotene	carotene mg/kg meel	verhoudings-getal carotene	carotene mg/kg meel	verhoudings-getal carotene	carotene mg/kg meel	verhoudings-getal carotene	carotene mg/kg meel	verhoudings-getal carotene
10	0	168	100	169	100	169	100	169	100	192	100
	1			161	95	162	96	154	93		
	2			132	79	134	79	121	73		
	4			110	65	108	64	101	61		55
	6	84	50	91	54	91	54	88	53	106	
20	0	167	100	168	100	168	100	166	100	192	100
	1			133	79	132	79	120	72		
	2			100	59	109	65	100	60		
	4			74	44	80	48	71	43		
	6	53	32	50	30	50	30	46	18	70	37
30	0	167	100	168	100	168	100	166	100	192	100
	1			108	64	110	65	99	60		
	2			45	27	46	27	39	24		
	4			27	16	25	15	24	14		
	6	14	9	18	10	16	9	16	10	19	10
Storage temperature (centigrades)	Duration of storage in months	carotene mg/kg meel	carotene ratio	carotene mg/kg meel	carotene ratio	carotene mg/kg meel	carotene ratio	carotene mg/kg meel	carotene ratio	carotene mg/kg meel	carotene ratio
		without anti-oxydants						B.H.T.		ant.	

d.g. = dodecylgallaat; ant. = antracine 20

Opmerking: Bij de berekening van de verhoudingsgetallen carotene zijn verschillen in vochtgehalte verwaarloosd.

Remark: Differences in dry matter content are neglected with respect to carotene ratios

TABEL 10. Comparison of the influence of different anti-oxydants (without addition of fat)

werden rubberhandschoenen gebruikt. De bewerkingen werden verricht in een onverwarmd vertrek.

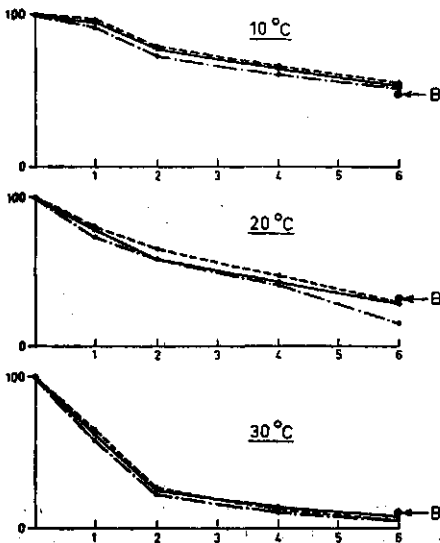
Na het mengen bleven de vaatjes (ook de blanco's) ca. 1 uur gesloten staan. Vervolgens werd de inhoud in een verduisterd vertrek op papier uitgespreid. Na een nacht zo te hebben gelegen was het materiaal voldoende droog om de onderscheidene monsters op te leveren. Naast de bovengenoemde met alcohol behandelde monsters (blanco monsters en monsters met A.O.) werden nog onbehandelde monsters in het onderzoek betrokken.

De resultaten betreffende het bewaaronderzoek met meel, waaraan anti-oxydanten waren toegevoegd, zijn opgenomen in tabel 10 en grafisch verwerkt in fig. 10. Bij dit onderzoek, dat een oriënterend karakter had, zijn geen vochtbepalingen in de monsters verricht. De verkregen resultaten laten zich ten aanzien van verschillende temperaturen en A.O. evenwel goed vergelijken. Bovendien is een vergelijking mogelijk ten aanzien van meel dat niet behandeld is en ten aanzien van meel dat alleen met alcohol is behandeld.

### b. Conclusies

Uit de cijfers van tabel 10 en bij beschouwing van fig. 10 blijkt, dat geen invloed is te onderkennen van het bijmengen met de anti-oxydantia: dodecylgallaat, B.H.T. en Antracine 20 in de gangbare dosering, zonder olie. Het verloop van de achteruitgang van de verschillende objecten vertoont een zodanige overeenkomst, dat de onderlinge afwijkingen zeker binnen het gebied liggen, waarin afwijkingen als gevolg van fouten bij monsternamen en analyse etc. kunnen voorkomen.

Carotinegehalte in % van de beginwaarde  
Carotene content in % of original value



Bewaartijd in maanden  
Storage duration in months

FIG. 10.

Verloop van het carotinegehalte in % van de beginwaarde bij bewaring van luzernemeel, waaraan verschillende anti-oxydanten zonder vet zijn toegevoegd (bij verschillende bewaartemperaturen)

B } Eindwaarde — Final value  
Blanco (zonder AO — without AO)  
— BHT  
- - - Antracine  
- - - - Dodecylgallaat

FIG. 10.

Fluctuations in the carotene content in % of the original value during storage of lucerne meal, to which different nonfat anti-oxydants have been added (at different storage temperatures)

## V. INVLOED VAN DE VORM VAN HET GEDROOGDE GROENVOEDER OP DE CAROTINEAFBRAAK BIJ BEWARING

### 1. VOORNAAMSTE GEGEVENS UIT DE LITERATUUR

Het is over het algemeen geen duidelijk beeld, dat na bestudering van de literatuur wordt verkregen. De indruk is dat de vorm geen grote invloed heeft (BOOTH, 1955, 1958; RICKEY, 1956; ORTH, KOCH UND KAUFMANN, 1957).

TABEL 11. Teruggang carotine bij bewaring van meel en brokjes onder dezelfde omstandigheden

Materiaal en bewaartijd in maanden	meel			brokjes		
	ds %	carotene mg/kg ds	verhoudings-getal carotine	ds %	carotene mg/kg ds	verhoudings-getal carotine
Gras — <i>grass</i>						
0	± 82,0	400	100	± 86,0	400	100
1	81,5	387	97	86,3	378	94
3	± 83,0	350	87	± 86,0	350	87
4	86,3	297	74	86,7	303	76
6	86,7	256	64	87,3	224	56
12	80,0	131	33	83,7	78	20
Luzerne — <i>lucerne</i>						
0	± 85,0	185	100	± 85,0	265	100
1	83,6	173	94	83,9	260	98
3	± 83,0	175	94	± 85,0	240	91
4	83,8	175	94	86,6	193	74
6	85,7	107	58	87,2	144	54
12	81,2	69	37	83,2	64	24
<i>Material and storage duration in months</i>	<i>dry matter %</i>	<i>carotene mg/kg dry matter</i>	<i>carotene ratio</i>	<i>dry matter %</i>	<i>carotene mg/kg dry matter</i>	<i>carotene ratio</i>
	<i>meal</i>			<i>pellets</i>		

TABEL 11. *Decrease of carotene during storage of meal and pellets under the same circumstances*

BOOTH (1955) heeft geen bewondering voor het malen vóór de opslag. Hij zag liever, dat het malen na de opslag en vóór het mengen plaats vond. Hij zou eigenlijk iets in deze geest zien toegepast: hakselen - drogen - persen in koeken en verpakken in zuurstofdichte verpakking - opslaan - malen vóór

Carotinegehalte in % van de beginwaarde  
Carotene content in % of original value

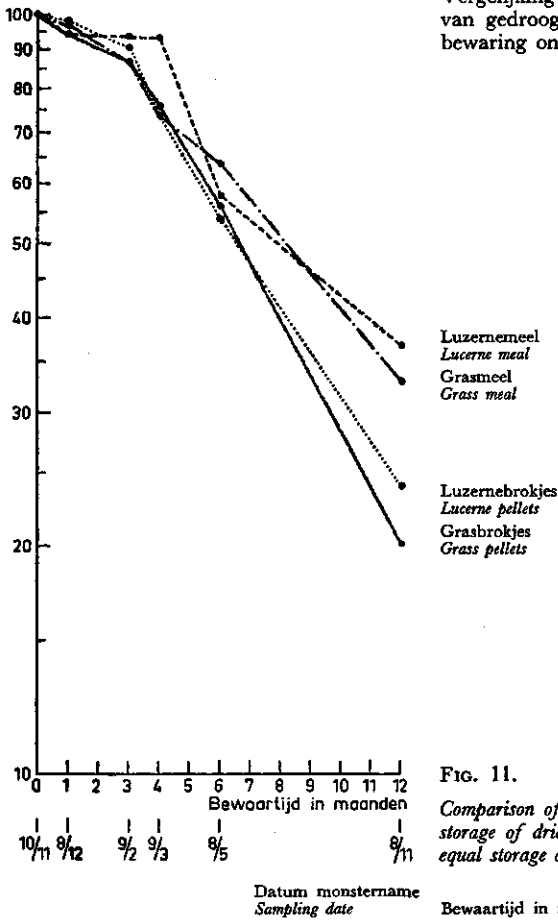


FIG. 11.

Vergelijking van het verloop van het carotinegehalte van gedroogd gras en luzerne (meel en brokjes) bij bewaring onder gelijke opslagomstandigheden

FIG. 11.

Comparison of the fluctuations in the carotene content during storage of dried lucerne and grass (meal and pellets) under equal storage conditions

Datum monstername  
Sampling date

Bewoartijd in maanden = Storage duration in months

het vermengen. Het is moeilijk het carotineprobleem aan te vatten bij stuivend meel. Wat betreft het persen tot brokjes kan worden opgemerkt, dat er alles bijeengenomen in de literatuur geen aanwijzingen zijn, dat bij brokjes de carotineafbraak beduidend langzamer zou plaats vinden dan bij gehakseld materiaal of meel.

## 2. ORIËNTEREND ONDERZOEK, OPGEZET OM NA TE GAAN OF DE BEWAARBAARHEID VAN BROKJES BETER IS DAN DIE VAN MEEL

### a. Opzet, uitvoering en resultaten

In 1953—'54 zijn op het Droogtechnisch Laboratorium oriënterende ver-

gelijke bewaarproeven genomen met meel en brokjes (luzerne en gras). De luzernebrokjes en het meel waren afkomstig van één drogerij, hetzelfde geldt voor de grasbrokjes en het grasmeel. Het materiaal werd in normale 3-wandige papieren zakken bewaard op de vliering van het Droogtechnisch Laboratorium. Normaal was de temperatuur tussen 10 en 20° C met uitschieters in de winter tot  $\pm 4^\circ$  C en in de zomer tot 30° C. De R.V. was gemiddeld  $\pm 70$ —75%. De proef duurde van november 1953 tot november 1954. De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in tabel 11 en grafisch (semi-logaritmisch uitgezet in fig. 11.

*b. Conclusies*

De achteruitgang is in de winter minder en in het voorjaar en de zomer groter. Het verschil tussen bewaarbaarheid van luzerne en gras is niet groot; het verschil tussen bewaarbaarheid van meel en brokjes valt bij deze proef merkwaardigerwijs duidelijk in het nadeel van de brokjes uit.

## VI. INVLOED VAN HET VOCHTGEHALTE VAN HET PRODUKT OP DE CAROTINEAFBRAAK

### 1. VOORNAAMSTE GEGEVENS UIT DE LITERATUUR

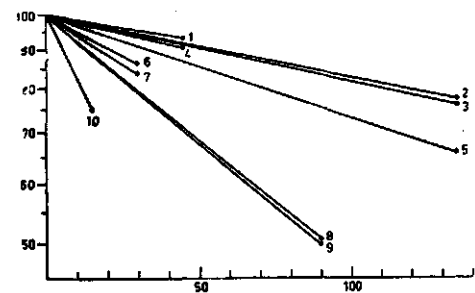
In het algemeen is gevonden, dat de carotineafbraak sneller verloopt bij lage vochtgehalten en dat deze minder wordt bij de hogere vochtgehalten. Aangezien bij hoge vochtgehalten verkleuring en beschimmelingsoptreden moet er naar een compromis worden gestreefd. BOOTH (1955) acht 8% optimaal in dit opzicht.

### 2. ORIËNTEREND ONDERZOEK NAAR DE INVLOED VAN HET VOCHTGEHALTE OP DE SNELHEID VAN CAROTINEAFBRAAK BIJ OPSLAG

#### a. Opzet en resultaten

Het onderzoek heeft zich beperkt tot het nagaan van de gemiddelde snelheid van afbraak van carotine bij luzernemeel, opgeslagen bij 20° C. In fig. 12 ziet men de dalingen bij verschillende monsters grafisch (semi-logaritmisch) verwerkt.

Carotine in % van beginwaarde  
*Carotens in % of original value*



Bewaartijd in dagen  
*Storage duration in days*

FIG. 12.

Verloop van het carotinegehalte in % van de beginwaarde bij opgeslagen luzernemeel. Bewaartemperatuur 20° C (zie tabel 12).

FIG. 12.

*Fluctuations in the carotene content in % of the original value of stored lucerne meal. Storage temperature 20° C (see table 12)*

In tabel 12 zijn voor de verschillende monsters (1 t/m 10) de vochtgehalten bij het begin en bij het eind van de bewaarperiode opgegeven, alsmede het gemiddelde vochtgehalte.



TABEL 12. Toelichting bij fig. 12

No.	Vochtgehalte tijdens bewaring %	Gemiddeld vochtgehalte tijdens bewaring %
1	7 — 10	8,5
2	10 — 13	11,5
3	7 — 13	10,0
4	10	10,0
5	10 — 13	11,5
6	6,5 — 10	8,0
7	8 — 10	9,0
8	10 — 13	11,5
9	11 — 13	12,0
10	7	7,0

No.	<i>Moisture content during storage %</i>	<i>Mean moisture content during storage %</i>
-----	--	---

TABLE 12. Explanation to fig. 12

*b. Conclusies*

Men kan concluderen, dat er bij 20° C als bewaartemperatuur een vrij grote spreiding in de snelheid van carotineaafbraak is te constateren (uiteenlopende hellingen van de lijnen in fig. 12), doch dat een bepaalde samenhang met het gemiddeld vochtgehalte niet tot uiting komt. Weliswaar geeft het laagste vochtgehalte (7%) de grootste afbraaksnelheid, doch voor de categorie 8—12% is het beeld niet duidelijk. Definitieve conclusies zijn niet te trekken.

## SAMENVATTING EN EINDCONCLUSIES

Als deel van het programma van werkzaamheden van de „*Studiecommissie voor de verbetering van de kwaliteit van het gedroogde groenvoeder van handelsdrogers*” wordt onderzoek verricht door het Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwprodukten, afd. Droogtechnisch Laboratorium te Wageningen.

Het is de bedoeling om op grond van dit onderzoek te komen tot praktische en economisch verantwoorde maatregelen, die genomen kunnen worden om het achteruitgaan van het carotinegehalte van gedroogde groenvoeders bij opslag zo veel mogelijk tegen te gaan. Bedoelde achteruitgang is als regel aanzienlijk en kan omschreven worden als een thermische oxydatie. Tot en met seizoen 1958 is aandacht besteed aan de invloed van de temperatuur, van de aanwezigheid van zuurstof, aan toevoeging van anti-oxydanten, aan de vorm en aan het vochtgehalte van het gedroogde materiaal. De resultaten van het onderzoek worden gegeven, waarbij tevens het voornaamste wordt vermeld van wat er uit de uitgebreide literatuur te concluderen is.

De voornaamste conclusies van het tot nu toe verrichte onderzoek zijn:

1. In de praktijk varieert de temperatuur van het pas gefabriceerde meel (in de zak) van 30° C tot 50° C (gemiddeld 40° C). Er zijn drogerijen, waarbij droog- en maalcapaciteit niet goed op elkaar zijn afgesteld en waar meeltemperaturen van 60—70° C worden geconstateerd.
2. Bewaaronderzoekingen hebben uitgewezen, dat de snelheid van afbraak van carotine op een bepaald tijdstip evenredig is met het carotinegehalte op dat tijdstip. Dit wil zeggen, dat een achteruitgang tot b.v. 50% van de beginwaarde even lang duurt als de verdere achteruitgang van 50% tot 25% en een daarop volgende van 25%—12,5% enz., aangenomen dat de opslagomstandigheden gelijk blijven. Dit verklaart het in de praktijk reeds waargenomen verschijnsel, dat de achteruitgang in mg carotine/kg bij hoge carotinegehalten groter is dan bij lage.
3. Bewaaronderzoekingen hebben verder uitgewezen, dat de snelheid van carotineaafbraak bij opslag sterk afhankelijk is van de temperatuur. Bij 10° C is de achteruitgang betrekkelijk klein; bij 20° C is deze 1½ à 2 maal zo groot; bij 30° C is deze al zes maal zo groot als bij 10° C, bij 50° C ruim 20 maal zo groot. Dit is van grote praktische betekenis omdat blijkt, dat temperaturen boven de buitenluchttemperatuur funeste gevolgen kunnen hebben.
4. Nagegaan is hoe het temperatuurverloop in stapels groenvoedermeel in de praktijk is. Gebleken is, dat de temperatuur in een kleine stapel (17 ton) al spoedig vrij dicht bij de temperatuur van de omringende lucht komt

en blijft, doch dat de materiaalt temperatuur bij een grote stapel (80—90 ton) veel langzamer verandert. Dit levert dus een groot gevaar op met het oog op de carotineaafbraak, vooral als men het meel met een betrekkelijk hoge temperatuur in de stapel brengt.

5. Nagegaan is hoe in principe een eenvoudige koeling met buitenlucht kan worden toegepast van het pas gefabriceerde meel. Voor een capaciteit van 600 kg meel per uur is een luchthoeveelheid van 3000—3500 m<sup>3</sup> per uur voldoende, als de meeltemperatuur 40° C is. Is deze 50° C dan dient de luchthoeveelheid verdubbeld te worden om hetzelfde effect te bereiken.
6. Uit bewaarproeven is gebleken, dat volledige afwezigheid van zuurstof waarschijnlijk een afdoende maatregel is. Dit brengt voor de praktijk in Nederland te kostbare installaties met zich mede. Alleen het afsluiten van de lucht geeft geen voldoende vermindering van de achteruitgang, zodat pogingen in deze richting vrijwel niet verantwoord zijn.
7. Een onderzoek naar de werking van enkele anti-oxydanten alléén (zonder toevoeging van vet) gaf geen resultaat van enige betekenis. Men heeft tot nu toe de gewenste anti-oxydant nog niet gevonden.
8. Een onderzoek naar het verschil in bewaarbaarheid tussen meel en brokjes leverde als resultaat op dat brokjes het er minder goed afbrachten dan meel.
9. De invloed van het vochtgehalte kon niet duidelijk worden vastgesteld. Te droog (7% en lager) is vermoedelijk ongunstig, te nat (meer dan 12%) eveneens.

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

### MEASURES AGAINST DESTRUCTION OF CAROTENE IN STORED DEHYDRATED GREENFODDERS

As part of the program of activities of the „Committee to study the improvement of the quality of the dehydrated greenfodder of commercial driers” work is done by the Institute for Storage and Progressing of Agricultural Produce, Div. Drying Research Laboratory at Wageningen.

The object of the investigations is to increase our knowledge concerning practical and economical measures, which could be taken in order to avoid considerable carotene losses during storage of dried greenfodder.

Results of the investigations so far are given besides the principal conclusions, which can be drawn out of the literature.

The principal conclusions are:

1. In practice the temperature of the meal (in the sack) immediately after manufacture varies from 30° C to 50° C (40° C as a mean value). There are some driers where the capacities of the drier and hammermill installation are not well balanced, resulting in meal temperatures of 60—70° C.
2. Storage tests have shown that the rate of destruction of the carotene at a given moment is proportional to the carotene content at that moment. This means that a decrease to, say 50% of the original figure takes as much time as a further decrease of 50% to 25% of the original figure etc. (storage conditions consumed to be constant).
3. Storage tests have proved that the rate of destruction of carotene in lucerne meal at different temperatures is about as follows (rate of destruction at 10° C as a unit): at 10° C 1, at 20° C 1.4, at 30° C 6, at 40° C 11 and at 50° C 22.
4. Meal temperatures have been investigated in practice (a small stack of sacks of 17 tons and a larger stack of 80—90 tons). It has appeared that with a large stack the meal temperature during a considerable time may be higher than the air temperature in the storage place.
5. Some tests have been carried out to lower the temperature of meal immediately after manufacture by a pneumatic device including an extra cyclone (using fresh air). If the meal temperature is 40°C an air quantity of 3000—3500 m<sup>3</sup>/h is sufficient (600 kg meal/h). If the meal temperature is 50° C twice as much air is necessary.

6. Storage tests have proved that complete absence of oxygen is a basis for a definite success in keeping carotene. Full-scale equipment for this purpose will be too costly for conditions as prevailing in the Netherlands. Airtight storage shows insufficient results, practical measures in this direction seem to be unattractive and not justified.
7. Storage tests with different anti-oxidants (without fat) have shown that under these conditions no or insufficient improvement of keepability with respect to carotene content could be achieved.
8. Investigations regarding the decrease of carotene content of meal and pellets have shown that the form of meal was somewhat superior to that of pellets.
9. The influence of the water content on carotene losses during storage was not very clear. A water content of 7% and lower seems to be unfavourable in connection with carotene losses.

## LITERATUUR

- BOOTH, V. H., Preservation of carotene in dried green crops. The Association of Green Crop Driers, Cereal House, London (1955) 110.
- , The stability of carotene and vegetable foods and forages. *Qualitas plantarum et materiae vegetabiles III/IV* (1958) 317—326.
- ORTH, A., G. KOCH und W. KAUFMANN, Untersuchung der stabilisierenden Wirkung verschiedener Zusatzmittel und unterschiedlicher Lagerungsbedingungen auf das Karotin in Trockengrünfütter. *Futterkonservierung 2/3* (1957) 151—166.
- RICKEY, L. F., Co-operative alfalfa dehydrators costs and operations. *U. S. Dep. Agr. Farmers Co-op. Serv. Circ. 12* (1956).
- THOMPSON, C. R., Antioxydants in feeds. *Feedstuffs 30* (1958) 41, 52, 54, 56.