

S P R E N G E R I N S T I T U U T
Haagsteeg 6, Postbus 17
6700 AA Wageningen
Tel.: 08370-19013

RAPPORT 566 (geheim)

H.A.M. Boerrigter en
Ing. E.C. Otma

DE INVLOED VAN BFG-FOLIE OP DE
GEELVERKLEURING VAN BROCCOLI

Uitgebracht aan Wavin PFP te Hardenberg
Order no. 10512
Augustus 1988

<u>I n h o u d s o p g a v e</u>	<u>blz</u>
SAMENVATTING/SUMMARY	3
1. INLEIDING	4
2. PROEFOPZET	5
2.1 Proefschema	5
2.2 Werkwijze	5
2.3 Verpakkingsbehandeling en de verwachte invloed op de gasniveaus	5
2.4 Kwaliteitsbeoordeling van de broccoli	6
2.5 Gasmetingen en gasanalysemethode	6
2.6 Statistische verwerking	7
3. MEETRESULTATEN	7
3.1 Kwaliteitsbeoordeling	7
3.2 Koolzuurconcentraties	8
3.3 Ethyleenconcentratie	9
3.4 Zuurstofconcentratie	10
3.5 Vochtafgifte	10
4. BESPREKING VAN DE RESULTATEN	11
4.1 Kwaliteitsbeoordeling	11
4.2 Koolzuurconcentratie	11
4.3 Ethyleenconcentratie	12
4.4 Zuurstofconcentratie	12
4.5 Vochtafgifte	12
4.6 Onderlinge invloeden	12
5. DISCUSSIE	14
6. CONCLUSIES	14
7. LITERATUUR	15
BIJLAGEN	16

SAMENVATTING

Om de beïnvloeding van BFG-folie op de houdbaarheid van broccoli na te gaan is in opdracht van Wavin PFP een kleinverpakkingsproef uitgevoerd.

Om eventuele verschillen te verklaren zijn meerdere behandelingen onderzocht waarbij variatie is aangebracht in de koolzuur- en ethyleenconcentraties in de verpakking. Uit de resultaten blijkt dat BFG-folie niet afwijkt van standaard PE-folie met dezelfde dikte.

De optie dat BFG-folie ethyleen zou kunnen absorberen is onwaar gebleken. De veronderstelling dat CO₂ en in mindere mate exogeen C₂H₄ (eigen produktie) bepalende factoren zijn bij de geelverkleuring van broccoli is bevestigd.

SUMMARY

By order of Wavin PFP a retail packaging experiment has been carried out to examine the effect of BFG-film on the keeping quality of broccoli. To explain possible differences, several packing treatments with variation in carbon dioxide and ethylene concentrations were done. The results show that BFG-film does not differ from standard polyethylene film of the same thickness.

The claim that BFG-film would be able to absorb ethylene appeared to be untrue. The presupposition that CO₂ and in a lesser measure exogenous C₂H₄ (own production) are determining factors in yellowing of broccoli has been confirmed.

1. INLEIDING

De producent van BFG-folie claimt dat door toevoeging van "coral powder"-bestanddelen de folie in staat is ethyleen te absorberen. Door ethyleengevoelige tuinbouwprodukten in deze folie te verpakken zouden deze produkten daardoor langer houdbaar zijn. Echter, uit fysische metingen op het Sprenger Instituut is gebleken dat op relevante ethyleenconcentratieniveaus (ca. 1 ppm) de absorptiecapaciteit vrijwel nihil is. Om de beweringen van de producent te toetsen m.b.t. de toepassingsmogelijkheden van deze folie heeft Wavin PFP het Sprenger Instituut opgedragen een onderzoek uit te voeren waarbij het kwaliteitsverloop van verpakte groente wordt bepaald.

Van broccoli is bekend dat de houdbaarheid zeer beperkt is en sterk beïnvloed wordt door omgevingsfactoren als temperatuur, vochtigheid, koolzuur, zuurstof en externe ethyleen(C_2H_4)concentraties (lit. 1, 3 en 4). Omdat bovendien één van de belangrijkste kwaliteitsfactoren van de broccoli, de geelverkleuring, op relatief eenvoudige wijze is vast te stellen, is het onderzoek met dit produkt uitgevoerd.

Uit literatuurgegevens (lit. 1, 3 en 4) blijkt dat de uitwendige kwaliteitsachteruitgang van broccoli tijdens de distributie met name vertraagd kan worden door:

- a) een lage temperatuur (optimum $0,5^{\circ}C$)
- b) een hoge CO_2 -concentratie (optimum 6%)
- c) een lage C_2H_4 -concentratie ($< 0,05$ ppm)
- d) een lage O_2 -concentratie (1%)
- e) een hoge relatieve vochtigheid ($\pm 95\%$)

Door broccoli te verpakken in plastic folie wordt als gevolg van de ademhaling en vochtafgifte de zuurstofconcentratie verlaagd en de r.v., CO_2 en C_2H_4 -concentratie verhoogd. Na verloop van tijd wordt min of meer een evenwichtssituatie bereikt als de temperatuur verder constant blijft. Het uiteindelijke niveau van de gasconcentraties in de verpakking hangt af van diverse factoren, nl.:

- 1) diffusie-eigenschappen van de folie
- 2) dikte en oppervlakte van de folie
- 3) ademhaling van het verpakte produkt
- 4) ethyleenproductie van het produkt

De ademhaling van het produkt is niet constant in de tijd en wordt bovendien sterk beïnvloed door de heersende CO_2 - en O_2 -concentratie. De overheersende factor in dit verband is echter de temperatuur. Bij $20^{\circ}C$ produceert broccoli 160 ml $CO_2/kg.h$ en bij $1^{\circ}C$ slechts 30 ml $CO_2/kg.h$ (lit. 1). Het is dus moeilijk om de uiteindelijk bereikte gasconcentratie te voorspellen. Het is dan ook nodig om ruime marges aan te houden om zuurstofgebrek te vermijden. Het gevolg hiervan is dat optimale klimaatcondities zelden of slechts bij benadering worden bereikt. Een ander gevaar bij kleinverpakken is het ontstaan van te hoge CO_2 -concentraties ($> 10\%$). Bij broccoli kan dit smaakbederf tot gevolg hebben. De diffusietoleranties voor folie kunnen alleen binnen nauwe grenzen gedefinieerd worden als de temperatuur tijdens de distributie volledig onder controle is.

Een hoge externe ethyleenconcentratie veroorzaakt versnelde afleving, echter hoge CO_2 -concentraties kunnen de effecten weer min of meer onderdrukken.

Het doel van dit onderzoek is vast te stellen of BFG-folie in staat is de houdbaarheid, en met name de geelverkleuring, van broccoli in gunstige zin te beïnvloeden t.o.v. standaard polyetheen (PE)-folie. Om bij eventuele verbetering van de houdbaarheid na te gaan waardoor deze wordt veroorzaakt, zijn ook andere verpakkingen toegepast waarbij is getracht verschil aan te brengen in koolzuur- en ethyleenniveaus in de verpakking.

2. PROEFOPZET

2.1 Proefschema

produkt	: broccolistronken
verpakkingsbehandelingen	: onverpakt, PVC, BFG, PE, PE + actieve kool, PE + ethysorb
herkomst	: 1
herhaling	: 2, waarvan elk object bestond uit 16 stonken
metingen koolzuur + ethyleen zuurstof	: dagelijks aan 4 (v.d. 16) stonken per object : 1 x vlak voor de kleurbeoordeling
kleurbeoordeling	: de helft na 10 dagen, de andere helft na 16 dagen
inzet proef	: 07-06-1988

2.2 Werkwijze

Het produkt is geoogst op 07-06-1988 en binnen 8 uur op de hieronder beschreven manier verpakt. De temperatuur van het produkt tijdens het inpakken was ca. 18°C. De broccolistronken zijn na het inpakken gewogen en op glazen potten (0,5 l) geplaatst. Dit om beschadiging van het produkt door veelvuldig aanraken te vermijden. De 16 potten per object zijn in een plastic krat geplaatst en willekeurig op de bodem van de koelcel gezet.

Als opslagtemperatuur is 10°C aangehouden. Dit is relatief hoog aangezien de optimale bewaartemperatuur 1°C is. Een bewaartemperatuur van 10°C is gekozen om een gemiddeld ademhalingsniveau van het produkt te bereiken, zodat verschillen tussen de behandelingen goed meetbaar zouden zijn.

2.3 Verpakkingsbehandelingen en de verwachte invloed op de gasniveaus

Onverpakt Om de luchtcirculatie langs de onverpakte broccoli te verminderen en daarmee de uitdroging, is een stuk PVC-folie over het produkt gelegd. Door de gaten in het krat en de luchtspleten is vrije gasuitwisseling met de omgeving mogelijk.

PVC-rekfolie De Nederlandse groenteveilingen passen PVC-rekfolie toe bij de kleinverpakking van broccoli. De folie is van Borden: type Resinite auto RMFA 15 µm. Het produkt werd verpakt op de veiling WFO te Zwaagdijk.

BFG-folie Deze op polyetheen (PE) lijkende folie heeft een dikte van 26 µm en heeft een groene kleur. De afmeting van de geleverde zakken is m.b.v. een seal-apparaat zodanig verkleind dat het oppervlak bij benadering overeenkwam met de andere PE-verpakkingen (ca. 0,1 m²). Zowel het folie-oppervlak als het ingesloten luchtvolume wijkt af t.o.v. PVC-rekfolie. BFG-folie is goed sealbaar.

Polyetheen-folie (PE) De verpakking heeft een dikte van 26 µm en de oppervlakte van het zakje was net als bij de BFG-folie ongeveer 0,1 m². Afgezien van de bij de BFG-folie toegevoegde "coral powder"-bestanddelen en de kleur lijkt er geen verschil tussen de BFG- en de PE-folie te zijn.

PE-folie + actieve kool (PE + ak) Behalve de broccolistronk werd in de PE-folie (als hierboven omschreven) ook een sachet met 5 gram actieve kool (Norit type RB 2030) ingepakt. De bedoeling daarvan was om t.o.v. standaard PE-folie een lagere CO₂-concentratie te verkrijgen, hoewel de adsorptiecapaciteit vrij beperkt is. Een andere mogelijkheid (met meer capaciteit) zou zijn geweest om de CO₂ chemisch te binden m.b.v. kalk (CA(OH)₂). Een nadeel daarvan is echter dat er een onderdruk ontstaat in de verpakking, waardoor het vrije luchtvolume niet constant is. Hierdoor zou de gasconcentratie beïnvloed worden en is vergelijking met andere behandelingen moeilijk.

De behandeling met actieve kool zou kunnen aantonen of bij dezelfde ethyleenconcentraties (in PE en in PE + ak) er een effect is op de kwaliteit van de

broccoli als gevolg van deze lagere CO₂-concentraties.

PE-folie + ethysorb (PE + es) Ethysorb is een middel dat in staat is ethyleen uit lucht te oxideren. Het is geactiveerd aluminiumoxide gedrenkt in kaliumpermanganaat en wordt in korrelvorm toegepast. Onder droge omstandigheden werkt het middel zeer goed. De werking wordt negatief beïnvloed bij hogere r.v., het is relatief duur en geschikt voor eenmalig gebruik. Condenswater wordt paars als gevolg van de KMnO₄ en kan bruine vlekken op het produkt veroorzaken. Toepassen van ethysorb in een kleinverpakking is met name daarom niet aan te bevelen. Om in verband met de hoge r.v. toch een efficiënte ethyleenverwijdering te bewerkstelligen zijn 2 sachets met 5 gram ethysorb mee ingepakt (overmaat!). Deze behandeling laat zien wat de gegarandeerde verwijdering van ethyleen tot zeer laag niveau voor invloed heeft op de produktkwaliteit.

Tabel 1: Te verwachten effect van de verpakkingen op gasconcentraties

Behandeling	C ₂ H ₄	CO ₂	O ₂	H ₂ O
onverpakt	0	0	0	--
PVC-rekfolie (15 μm)	+	+	-	+
BFG-folie (26 μm)	-	++	--	+
PE-folie (26 μm)	++	++	--	+
PE-folie + actieve kool* (26 μm)	+	+	--	+
PE-folie + ethysorb* (26 μm)	--	++	--	+

+ = verhogend effect

- = verlagend effect

* actieve kool = adsorbeert koolzuur en in geringe mate ethyleen

* ethysorb = absorbeert ethyleen en in geringe mate koolzuur

2.4 Kwaliteitsbeoordeling van de broccoli

De kwaliteitsbeoordeling werd uitgevoerd op de 10^e en 16^e dag na de oogst, steeds met de helft van de partij. Om de kwaliteit te kunnen vaststellen was het noodzakelijk de folie te verwijderen.

De kleurbeoordeling werd uitgevoerd door een panel van 6 deskundigen. De broccolistronken werden zonder folie at random uitgesteld en per stronk beoordeeld. De kleurwaardering is het gemiddelde van 6 beoordelaars.

Ook is vastgesteld of de broccoli was aangetast door rot. Er is geen onderscheid gemaakt in mate van aantasting.

2.5 Gasmetingen en gasanalysemethode

Van elke 16 broccoliverpakkingen per object werd dagelijks van 4 eenheden koolzuur en ethyleen gemeten. Deze werkwijze is gekozen om de beïnvloeding van de interne concentratie als gevolg van de meting te minimaliseren. Door deze meetfrequentie is CO₂ en C₂H₄ in iedere verpakking ca. 3 maal gemeten tijdens de bewaring.

O₂ is slechts één keer gemeten omdat de O₂-analyse veel luchtvolume vraagt, hetgeen ontoelaatbare beïnvloeding van de interne gasconcentratie tot gevolg heeft. O₂ is gemeten direct voor het verwijderen van de folie in verband met deze beïnvloeding.

Om de invloed van de vochtafgifte te beoordelen is het gewichtsverlies van iedere eenheid gemeten.

Om de CO₂-concentratie te meten is gebruik gemaakt van een ADC-infra-rood CO₂-analyser type SS1. De inlaat en uitlaat zijn voorzien van zeer dunne siliconenslangen en deze werden tegelijkertijd door middel van injectienaalden in een verpakking geprikt. De interne pomp van de analyser zorgde voor een flow van ca. 0,1 l/min. De range van het instrument is 0-10% CO₂ en de nauwkeurigheid $\pm 0,2\%$ CO₂. De door de naalden veroorzaakte lekken werden direct zorgvuldig afgeplakt.

De C₂H₄-metingen werden uitgevoerd met een Intersmat gaschromatograaf type 120. Deze GC is voorzien van een vlamionisatiedetector. Het systeem is voorzien van een back-flush regeling om vervuiling van de kolom te voorkomen. De kolom is gevuld met alumina 80-100 mesh en de temperatuur is 115°C. Om de C₂H₄-concentratie vast te stellen worden luchtvolumes van 2 ml ingebracht en de piekgrootte elektronisch vergeleken met ijkgaspiekhoogtes.

De O₂-meting is uitgevoerd met een Servomex O₂-analyser type OA 570. Het meetprincipe berust op de paramagnetische eigenschappen van O₂ en de werkwijze van de monstername is identiek aan die van de CO₂-meting. Deze meter heeft een lange responsietijd zodat veel lucht rondgepompt moet worden voor een juiste meting. De range is 0-100% en de nauwkeurigheid $\pm 0,3\%$.

2.6 Statistische verwerking

De doelstelling van de proef is gericht op de specifieke eigenschappen van BFG-folie in relatie tot de produktkwaliteit c.q. de geelverkleuring. Daarom is een variantie-analyse uitgevoerd op het CO₂-gehalte, C₂H₄-gehalte en de geelverkleuring. Bleek er een interactie te bestaan tussen de soort verpakking en de uitslag dan werd een LSD-toets uitgevoerd over beide uitslagen afzonderlijk bij een $p < 0,05$ (Newman en Keuls). Is er geen significante interactie, dan werd de LSD-toets uitgevoerd over het gemiddelde van beide uitslagen.

3. MEETRESULTATEN

In dit hoofdstuk wordt voor de overzichtelijkheid een opsomming van veelal gemiddelde meetresultaten gegeven. In de bijlagen staan alle gasmetingen vermeld (bijlage 1 t/m 5).

3.1 Kwaliteitsbeoordeling

Kleur De kleurbeoordeling in tabel 2 is het gemiddelde van 6 beoordelaars. Donker groen is een 10 en volledig geel is 1.

Tabel 2: Gemiddelde kleurwaardering (groen - geel : 10 - 1) van broccoli na opslag bij 10°C

Behandeling	Kleurwaardering* (10 - 1 = groen - geel)**			
	10 dagen		16 dagen	
	Herh. 1	Herh. 2	Herh. 1	Herh. 2
1 onverpakt	3,0	2,6	1,1	1,6
2 PVC-rekfolie	4,2	5,2	1,4	1,7
3 BFG-folie	7,4	7,2	4,2	3,5
4 PE-folie	7,6	6,8	3,8	3,3
5 PE-folie + ak	5,9	6,4	2,9	2,8
6 PE-folie + es	7,8	7,9	5,3	5,3

* Bij inzet kreeg alle broccoli een kleurcijfer 9

** Een kleurwaardering 5 is onverkoopbaar geel.

Rot In tabel 3 is de aantasting door rot weergegeven. Er is geen onderscheid gemaakt in mate van aantasting.

Tabel 3: Rotaantasting (%) van broccoli na de uitslag (herhalingen gemiddeld) na opslag bij 10°C

	Rotaantasting%	
	10 dagen	16 dagen
1 onverpakt	88	100
2 PVC-rekfolie	63	100
3 BGF-folie	44	100
4 PE-folie	25	100
5 PE-folie + ak	69	100
6 PE-folie + es	31	100

3.2 Koolzuurconcentraties

De gemeten koolzuurconcentraties waren het hoogst op de 1^e meetdag. Bij de hoge begintemperatuur was de ademhaling hoog en werd in de verpakking snel een hoge CO₂-concentratie opgebouwd. Naarmate de temperatuur daalde, daalde ook de CO₂-productie. Deze daalde nog extra door de hoge CO₂-concentratie in de verpakking. Na 2 dagen werd een evenwicht bereikt tussen diffusie en produktie en bleven de CO₂-concentraties verder min of meer constant. Bekend is dat de invloed van CO₂ op de produktkwaliteit merkbaar wordt na langere opslagtijd.

Een hogere concentratie gedurende relatief korte tijd (enkele uren) zal weinig invloed hebben op de kwaliteit. Daarom wordt de laatstgemeten CO₂-concentratie gebruikt als meetwaarde. Hiermee is de gemiddelde concentratie per behandeling uitgerekend, die in tabel 4 te zien is.

Tabel 4: Gemiddelde CO₂-concentratie (%) in broccoliverpakkingen op de dag van uitslag na opslag bij 10°C

Behandeling	CO ₂ -concentratie (%)			
	10 dagen		16 dagen	
	Herh. 1	Herh. 2	Herh. 1	Herh. 2
1 onverpakt	0	0	0	0
2 PVC-rekfolie	2,08	2,05	1,38	1,91
3 BFG-folie	4,06	4,08	3,20	3,71
4 PE-folie	3,73	3,34	3,51	3,34
5 PE-folie + ak	3,24	3,55	3,21	3,25
6 PE-folie + es	3,59	2,69	3,73	2,84

3.3 Ethyleenconcentratie

In tabel 5 staat de gemiddelde ethyleenconcentratie per behandeling weergegeven in ppb (parts per billion = nl. C₂H₄/l lucht). Net als bij de CO₂-concentratie is er aanvankelijk een wat hogere C₂H₄-concentratie als gevolg van de temperatuurafhankelijke C₂H₄-produktie. Deze concentratie stabiliseert zich na enkele dagen op een zeker niveau. In tegenstelling tot het CO₂-effect kan ethyleen reeds binnen één dag een duidelijke uitwerking op de geelverkleuring van groente hebben. Om deze reden is in tabel 5 het rekenkundig gemiddelde van 3 metingen per uitslag genoteerd. De weergegeven ethyleenconcentraties zijn verder gemiddeld per behandeling en per herhaling.

Tabel 5: Gemiddelde ethyleenconcentratie (ppb) in broccoliverpakkingen tijdens de opslag bij 10°C

Behandeling	C ₂ H ₄ -concentratie in ppb			
	10 dagen		16 dagen	
	Herh. 1	Herh. 2	Herh. 1	Herh. 2
1 onverpakt	-	-	-	-
2 PVC-rekfolie	208	128	291	239
3 BFG-folie	351	368	317	238
4 PE-folie	288	207	269	287
5 PE-folie + ak	357	309	380	364
6 PE-folie + es	29	24	57	41

3.4 Zuurstofconcentratie

In tabel 6 wordt de gemiddelde gemeten O₂-concentratie weergegeven per behandeling en per uitslag. De O₂ is gemeten op de dag van uitslag.

Tabel 6: Gemiddelde zuurstofconcentratie (%) in broccoliverpakkingen na opslag bij 10°C

Behandeling	O ₂ -concentratie (%)			
	10 dagen		16 dagen	
	Herh. 1	Herh. 2	Herh. 1	Herh. 2
1 onverpakt	21,0	21,0	21,0	21,0
2 PVC-rekfolie	18,6	18,1	19,7	19,1
3 BFG-folie	16,7	16,5	17,1	17,0
4 PE-folie	15,4	16,4	15,9	16,8
5 PE-folie + ak	16,5	16,3	17,7	17,2
6 PE-folie + es	16,9	16,6	18,0	17,4

3.5 Vochtafgifte

In tabel 7 zijn de gemiddelde gewichtsverliezen van elke behandeling weergegeven op beide uitslagdata. De herhalingen zijn gemiddeld.

Tabel 7: Gewichtsverlies (%) van de broccoli na de opslag bij 10°C

Behandeling	Opslagduur	
	10 dagen	16 dagen
1 onverpakt	9,3	16,6
2 PVC-rekfolie	2,0	3,5
3 BFG-folie	0*	0
4 PE-folie	0	0
5 PE-folie + ak	0	0
6 PE-folie + es	0	0

* Alle verpakkingen in behandeling 3, 4, 5 en 6 verloren 1 gram gewicht, hetgeen de meetnauwkeurigheid van de gebruikte weegschaal is. Een spreiding is niet gemeten. Het produkt heeft vrijwel geen gewicht verloren in de PE-verpakkingen.

Op alle PE-folie en BFG werd tijdens de bewaring condens aangetroffen. Dit was niet het geval bij PVC-folie, door de grotere doorlatendheid van deze folie voor H₂O.

4. BESPREKING VAN DE RESULTATEN

4.1 Kwaliteitsbeoordeling

Kleur De gemiddelde kleur is weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: Gemiddelde kleur van de broccoli na opslag bij 10°C
(10 = donker groen; 1 = geel)

	10 dagen	16 dagen
1 onverpakt	2,82 b	1,39 a
2 PVC-rekfolie	4,70 d	1,57 a
3 BFG-folie	7,27 f	3,84 c
4 PE-folie	7,17 f	3,55 bc
5 PE-folie + ak	6,12 e	2,85 b
6 PE-folie + es	7,87 f	5,28 d

LSD-waarde = 0,794 p < 0,05

Getallen voorzien van eenzelfde letter zijn niet significant verschillend.

Bij de 1^e uitslag waren PE + es, PE en BFG de beste folies wat kleurbehoud betreft (onderling geen significante verschillen). Hierop volgde PE + ak, vervolgens PVC en de onverpakte broccoli was het slechtst. De laatste twee zijn dan al te zeer geelverkleurd om nog verhandeld te kunnen worden.

Bij de 2^e uitslag was PE + es het beste, gevolgd door BFG en PE. Daarna kwam de PE + ak (niet verschillend van PE). De PVC en de onverpakte broccoli gaven de slechtste resultaten. Alle behandelingen waren te geel voor handelsdoeleinden. Met behulp van de CO₂ en C₂H₄-metingen (tabel 9 en 10) kan verband worden gelegd met het kleurverlies.

4.2 Koolzuurconcentratie

De interactie tussen uitslag en verpakking bleek voor de CO₂-concentratie niet significant verschillend te zijn. Daarom wordt in tabel 9 de invloed van de verpakking op de CO₂-concentratie, gemiddeld over beide uitslagen, weergegeven.

Tabel 9: Gemiddelde CO₂-concentratie (%) in broccoliverpakkingen tijdens de opslag bij 10°C

	CO ₂ -conc. (%)
1 onverpakt	0 a
2 PVC-rekfolie	1,85 b
3 BFG-folie	3,76 d
4 PE-folie	3,48 cd
5 PE-folie + ak	3,31 c
6 PE-folie + es	3,21 c

LSD-waarde = 0,414 p < 0,05

Getallen voorzien van eenzelfde letter verschillen niet significant.

In tabel 9 is te zien dat de BFG-folie samen met PE-folie de hoogste koolzuurconcentratie gaf. De verpakkingen met adsorptiematerialen als ak en es gaven een iets lager niveau (kleine verschillen) terwijl PVC-rekfolie duidelijk meer CO₂ doorliet en op een veel lager niveau uitkwam.

4.3 Ethyleenconcentratie

De ethyleenconcentratie staat per verpakkingsbehandeling en per uitslag vermeld in tabel 10.

Tabel 10: Gemiddelde ethyleenconcentratie (ppb) in broccoliverpakkingen tijdens de opslag bij 10 C

Behandeling	Ethyleenconcentratie (ppb)	
	10 dagen	16 dagen
1 onverpakt	0 a	0 a
2 PVC-rekfolie	168 b	265 cd
3 BFG-folie	359 e	277 cd
4 PE-folie	247 c	278 cd
5 PE-folie + ak	368 e	336 de
6 PE-folie + es	27 a	49 a

LSD-waarde = 72,61 . p < 0,05

Getallen voorzien van eenzelfde letter verschillen niet significant.

De laagste ethyleenconcentraties kwamen voor in PE-folie + es. Opmerkelijk is dat BFG-folie de hoogste ethyleenconcentratie heeft bij de 1^e uitslag (samen met PE + ak). Bij de 2^e uitslag is er weinig verschil, behalve dat PE + es weer duidelijk de laagste is.

4.4 Zuurstofconcentratie

Uit de gemeten zuurstofconcentraties zijn geen bijzonderheden af te leiden. De O₂ was verlaagd tot een niveau dat fysiologisch geen invloed heeft op de houdbaarheid. PVC-folie had een hogere O₂-concentratie als gevolg van een hogere doorlaatbaarheid. BFG-folie had geen bijzondere invloed.

4.5 Gewichtsverliezen

De gewichtsverliezen zijn zeer beperkt gebleven en hadden geen invloed op de houdbaarheid of op de kwaliteitsbeoordeling. Door de hogere doorlaatbaarheid voor waterdamp was alleen het produkt in PVC-folie verpakt ca. 2% resp. 3,5% na 10 en na 16 dagen ingedroogd. BFG-folie reageerde hetzelfde als PE (0% gewichtsverlies).

4.6 Onderlinge invloeden

Er waren grote kleurverschillen tussen sommige behandelingen. Deze werden voornamelijk veroorzaakt door verschillen in CO₂- en C₂H₄-concentraties in de verpakking. Er was een groot verschil tussen het effect van PE-folie of van PVC-folie op de produktkwaliteit. De snelle geelverkleuring in de PVC-verpakking werd waarschijnlijk grotendeels veroorzaakt door de lage CO₂-concentratie. Dat de werking van C₂H₄ en CO₂ elkaar beïnvloeden blijkt uit het feit dat bij de PVC C₂H₄ significant lager is. In deze proef lijkt CO₂ de bepalende factor. Dit is in overeenstemming met literatuur over dit onderwerp (lit. 2).

Boven een bepaalde C₂H₄-drempelwaardeconcentratie (tijd, temperatuur en CO₂ afhankelijk) kan CO₂ zijn beschermende werking waarschijnlijk niet meer handhaven en gaat het ethyleeneffect (versnelde geelverkleuring) overheersen.

PE + es geeft het beste resultaat maar de effecten worden pas significant na 16 dagen opslag op een vergelijkingsniveau dat commercieel geen betekenis meer heeft.

De verwachting is dat bij een meer optimale CO_2 -concentratie ($\pm 6\%$) de betekenis van de aanwezige ethyleen nog verder afneemt als gevolg van het bezetten van meer ethyleenbindingsplaatsen door CO_2 .

De beïnvloeding van de gasconcentraties in de verpakking m.b.v. ak en es is alleen goed gelukt met es wat C_2H_4 betreft. Vijf gram actieve kool in de verpakking bleek onvoldoende te zijn om de CO_2 -concentratie te verlagen. De kleur in deze behandeling was na 10 dagen evenwel slechter dan de andere PE-behandelingen. De beoogde beïnvloeding (tabel 1) lager CO_2 en daardoor meer geelverkleuring heeft toch plaatsgevonden zonder dat dit in de CO_2 -metingen tot uiting kwam. Verondersteld wordt dat door enige vertraging in de CO_2 -opbouw (door ak) de toen aanwezige C_2H_4 versterkt werkzaam kon zijn op de geelverkleuring. Deze aanname kan door onvoldoende CO_2 -metingen in de eerste 24 uur niet bevestigd worden aan de hand van de meetresultaten.

Opmerkelijk is dat de veronderstelde bijzondere eigenschappen van BFG-folie door de proefresultaten eenduidig weerlegd worden. Er was geen verhoogde ethyleenabsorptie bij verpakking in BFG-folie. De ethyleenconcentratie na 10 dagen was juist betrouwbaar hoger dan in de PE-verpakking. Ook uit andere observaties als kleurwaardering, gewichtsverlies en rotvorming kwamen geen verschillen naar voren ten opzichte van standaard PE.

Aan de hand van de CO_2 - en C_2H_4 -metingen was een marginaal verschil in gasdiffusie te constateren met PE. Zowel C_2H_4 als CO_2 waren enigszins hoger bij de BFG-folie. Dit had geen invloed op de kleur.

PVC-rekfolie leverde in deze proef slechte resultaten op ten opzicht van PE. Dit was in overeenstemming met buitenlands onderzoek. Met name het lage CO_2 -gehalte is daar waarschijnlijk de oorzaak van geweest. Dat zowel C_2H_4 als CO_2 in deze verpakking laag waren, komt door het verschil in dikte: $16 \mu\text{m}$ versus $26 \mu\text{m}$ en de hogere doorlaatbaarheid van PVC. Deze hogere doorlaatbaarheid (ook voor waterdamp) was er de oorzaak van dat het produkt condensvrij bleef en daardoor aantrekkelijk van uiterlijk. De condensvorming op alle PE-verpakkingen is niet veroorzaakt door het "warme" kleinverpakken want toen een restant voorgekoelde broccoli werd verpakt in PE trad dezelfde ernstige condensvorming op. Uit de metingen blijkt dat condens en rot elkaar niet hebben beïnvloed (tabel 3).

5. DISCUSSIE

Verlenging van de houdbaarheid van broccoli wordt behalve door een lage temperatuur bereikt door hoge CO₂-concentraties. Het is riskant om PE met een dikte van 26 µm op basis van deze proef voor de praktijk aan te bevelen en te verkiesen boven PVC. Bij de afzet van groente zijn temperatuurwisselingen in de keten namelijk heel normaal en de CO₂-concentraties zouden bij een te dichte folie boven de 10% kunnen stijgen (smaakbederf!).

De keuze van een folie wordt verder bepaald door argumenten als: machinale verwerkbaarheid, prijs, milieu-aspecten, displayfunctie, krimp- of rekvermogen e.d. In deze proef is geen rekening gehouden met deze aspecten.

Het verpakken van broccoli in een rechthoekig zakje en bovendien vol met condens oogde weinig fraai.

Om te komen tot aanbevelingen voor de praktijk is nader onderzoek noodzakelijk en zou het volgende kunnen omvatten:

- a) Het meten van CO₂-concentraties bij diverse foliediktes en bij meerdere temperaturen.
- b) Het beschrijven of meten van temperatuurwisselingen in de praktijk (inventarisatie distributiekanaal).
- c) Het toetsen van de geldigheid van een bestaand computermodel (opgesteld voor champignons) voor broccoli.
Inputgegevens zijn: ademhaling, folie-oppervlak en diffusiecoëfficiënten.
Output is CO₂ en O₂-concentratie.
- d) Aanvullende verpakkingseisen vanuit marketingoverwegingen.

6. CONCLUSIES

- Toepassing van BFG-folie bij de kleinverpakking van broccoli had geen verlaging van de ethyleenconcentratie in de verpakking tot gevolg.
- De geelverkleuring van broccoli verpakt in BFG-folie verschilde niet van broccoli verpakt in PE-folie.
Er was ook geen verschil tussen andere kwaliteitsaspecten.
- Door de geringere doorlaatbaarheid van PE-folie t.o.v. PVC ontstaat een hogere CO₂-concentratie waardoor de geelverkleuring van broccoli vertraagd wordt.
- Ethyleenverwijdering uit de verpakking heeft geen effect bij een opslagperiode van 10 dagen bij 10°C. Wel is er effect na 16 dagen maar de kwaliteit is dan op een te laag niveau om nog acceptabel te zijn voor verkoop.

7. LITERATUUR

1. Produktgegevens Groente en Fruit: broccoli (1982).
Sprenger Instituut, mededeling no. 30, Wageningen.
2. N. Aharoni; S. Philosoph-Hadas and R. Barkai-Golan (1984).
Modified atmospheres to delay senescence and decay of broccoli.
HR no. 126. Department of Horticultural Science North Carolina State
University Raleigh.
3. Werner, J. Lipton and C. Max Harris (1974).
Controlled Atmosphere effects on the market quality of stored broccoli
(Brassica oleracea L. Italica group).
Agricultural Research Services, USDA.
J. Amer. Soc.Hort.Sci. 99(3)200-205.
4. K.W. Lebermann, A.I. Nelson and M.P. Steinberg (1968).
Post-harvest changes of broccoli stored in modified atmospheres.
Food technology Vol. 22, 487, 143-174.

Wageningen, 15 augustus 1988
hamb/eo/ak

Bijlage 1

Tabel: Kleurwaardering van broccoli na opslag bij 10°C.
 Gemiddelde van 6 keurders (donkergroen = 10 - geel = 1) 17-6

Nr.	onverpakt	Wavin	PE + es	PE + ak	PE	PVC
1	3,0	6,33	7,0	6,13	7,50	4,50
2	2,17	7,0	8,17	5,0	8,17	4,83
3	4,0	8,17	8,0	8,0	7,67	3,17
4	2,50	6,17	7,67	5,13	5,50	3,83
5	3,67	7,0	7,0	7,67	8,50	4,83
6	3,17	7,83	8,33	6,13	6,83	2,17
7	3,0	8,33	8,0	4,13	8,0	5,17
8	2,83	8,0	8,50	5,0	8,33	5,0
17	2,0	7,0	8,17	6,0	7,0	4,83
18	2,0	7,50	8,33	6,13	6,50	6,33
19	3,17	6,50	7,50	5,13	8,0	5,83
20	3,0	7,0	6,17	6,67	7,0	5,0
21	2,33	8,0	7,67	5,83	5,83	4,83
22	2,33	7,33	8,83	7,50	7,17	5,17
23	3,0	7,33	7,83	7,17	5,83	4,50
24	3,0	6,83	8,67	6,33	6,83	5,13

Bijlage 2

Tabel: Kleurwaardering van broccoli na opslag bij 10°C.
 Gemiddelde van 6 keurders (donkergroen = 10 - geel = 1) 23-6

Nr.	onverpakt	Wavin	PE + es	PE + ak	PE	PVC
9	1,17	2,67	6,0	1,17	2,83	1,0
10	1,0	3,50	7,0	3,67	2,50	1,0
11	1,17	4,83	3,83	2,50	3,83	1,33
12	1,0	3,83	5,0	3,0	2,17	2,0
13	1,17	4,67	5,0	1,50	4,67	1,50
14	1,33	5,33	5,0	5,0	5,17	1,0
15	1,0	3,33	5,50	3,17	5,0	2,0
16	1,17	5,0	5,0	3,17	4,17	1,63
25	1,0	3,33	5,0	2,17	3,0	2,0
26	1,0	3,0	5,0	2,0	4,67	1,63
27	2,17	6,17	4,83	2,17	3,0	2,0
28	1,33	6,33	5,17	2,50	2,67	1,50
29	1,50	2,83	8,0	3,0	3,0	1,50
30	1,67	2,33	5,0	2,83	3,0	2,17
31	2,67	2,17	3,33	4,67	3,17	1,50
32	1,83	2,17	5,83	3,0	4,0	1,33

Tabel: Koolzuurconcentratie (vol. %) in de broccoliverpakking

Datum	nr.	Herhaling 1			nr.	Herhaling 2			beh.6 PE + es	beh.5 PE + ak	beh.4 PE	beh.6 PE + es
		beh.2 PVC- rek	beh.3 BFG	beh.4 PE		beh.2 PVC- rek	beh.3 BFG	beh.4 PE				
08-06	1	3,3	5,7	5,4	17	2,9	6,6	4,8	4,9	4,8	5,9	
	2	2,7	6,8	6,8	18	4,0	6,2	6,3	5,5	6,3	6,3	
	3	2,7	9,6	6,5	19	3,0	7,7	7,3	5,4	7,3	5,0	
	4	3,6	5,0	8,6	20	4,0	9,0	6,5	5,2	6,5	5,5	
09-06	5	3,3	7,0	6,0	21	2,5	5,5	4,8	4,7	4,8	6,0	
	6	2,3	5,5	4,9	22	3,8	7,1	5,1	5,2	5,1	6,0	
	7	1,8	7,2	6,1	23	2,7	6,5	3,7	4,0	3,7	6,3	
	8	4,1	6,8	5,1	24	2,8	7,9	5,8	4,8	4,8	4,7	
10-06	9	2,7	4,5	3,0	25	2,8	4,1	3,4	4,0	3,4	5,0	
	10	2,3	4,0	3,9	26	2,5	5,0	4,9	1,5	4,9	3,9	
	11	3,1	7,2	5,3	27	2,5	7,8	4,1	4,6	4,1	5,7	
	12	2,6	4,7	3,7	28	2,8	7,4	4,1	3,9	4,1	3,5	
11-06	13	2,5	5,0	4,9	29	2,4	4,4	4,5	4,2	4,5	5,2	
	14	1,8	5,3	4,0	30	2,1	3,5	4,7	4,0	4,7	5,0	
	15	1,8	4,8	4,8	31	2,0	3,1	4,5	5,0	4,5	4,2	
	16	2,5	5,8	4,4	32	2,6	2,8	4,3	3,9	4,3	4,7	

Bijlage 3a

Tabel: Koolzuurconcentratie (vol. %) in de broccoli verpakking (vervolg)

Datum	nr.	Herhaling 1			nr.	Herhaling 2					
		beh.2 PVC- rek	beh.3 BFG	beh.4 PE		beh.2 PVC- rek	beh.3 BFG	beh.4 PE			
12-06	1	1,9	2,6	4,3	17	1,4	3,0	3,7	3,0	3,2	3,0
	2	2,0	4,6	2,5	18	2,1	3,2	1,6	3,2	3,2	4,3
13-06	3	1,4	4,9	3,4	19	1,4	4,2	4,4	4,2	3,4	2,7
	4	2,1	2,3	2,6	20	2,2	4,7	3,6	4,7	2,9	2,7
	5	2,3	4,1	3,7	21	1,6	3,5	3,3	3,5	3,7	4,5
	6	1,8	4,2	3,1	22	2,3	4,5	2,9	4,5	3,1	3,7
	7	1,7	5,2	4,0	23	1,9	3,7	2,4	3,7	3,0	5,0
14-06	8	2,3	5,4	3,5	24	1,9	5,1	2,2	5,1	2,8	2,9
	9	2,1	3,1	2,8	25	1,8	3,4	2,7	3,4	3,1	2,9
	10	2,0	3,3	2,8	26	1,8	3,1	3,9	3,1	1,9	3,8
	11	2,2	5,2	4,5	27	1,9	5,5	3,3	5,5	3,0	4,5
15-06	12	1,1	3,8	3,1	28	2,3	5,4	3,1	5,4	3,3	3,1
	13	2,0	3,1	3,9	29	2,5	3,4	3,9	3,4	2,6	4,5
	14	1,9	4,4	3,4	30	1,6	2,9	4,0	2,9	2,8	3,6
	15	1,5	3,3	4,5	31	1,6	2,6	3,1	2,6	4,6	1,6
17-06	16	2,1	3,8	3,3	32	2,4	2,3	4,5	2,3	3,4	3,0
	1	2,5	2,1	4,1	17	2,0	3,2	3,7	3,2	3,3	2,8
	2	1,8	3,1	3,1	18	2,3	3,4	2,2	3,4	4,2	4,3
	3	1,6	5,8	3,4	19	-	4,2	4,9	4,2	4,2	3,4
23-06	4	2,6	2,6	4,9	20	3,0	3,4	4,1	5,0	4,1	3,2
	9	1,5	1,9	2,6	25	1,9	2,6	1,9	4,1	2,7	2,4
	10	1,7	3,0	2,6	26	1,9	3,8	4,6	3,7	1,5	2,7
	11	2,1	4,8	4,4	27	1,5	3,2	3,4	5,9	3,0	3,1
	12	1,5	3,7	3,1	28	2,0	2,5	2,3	3,8	3,2	3,5
	13	0,3	2,3	3,6	29	2,5	1,2	3,7	3,7	3,4	4,0
14-06	14	0,4	3,1	3,7	30	1,5	4,6	3,3	2,8	3,7	3,0
	15	1,1	2,4	4,6	31	1,8	3,5	3,3	2,9	5,2	1,5
	16	2,4	4,4	3,5	32	2,2	4,3	4,2	2,8	3,5	2,5

Tabel: Ethyleencyconcentratie (ppb-vol.) in de broccoliverpakking
(ppb = 10^{-6} l/l = nl/l)

Datum	nr.	Herhaling 1			Herhaling 2			nr.	Herhaling 2			
		beh.2 PVC- rek	beh.3 BFG	beh.4 PE	beh.5 PE + ak	beh.6 PE + es	beh.2 PVC- rek		beh.3 BFG	beh.4 PE	beh.5 PE + ak	beh.6 PE + es
08-06	1	126	364	481	441	27	17	111	425	-	388	15
	2	232	903	385	419	34	18	106	457	410	360	26
	3	340	835	305	376	21	19	74	563	274	625	29
	4	310	248	847	288	20	20	152	964	182	369	17
09-06	5	212	319	364	471	33	21	92	181	268	540	18
	6	233	296	145	464	28	22	136	431	159	500	21
	7	87	415	224	496	26	23	135	188	95	378	20
	8	104	469	148	307	24	24	111	747	141	490	13
10-06	9	235	239	116	287	21	25	107	219	179	410	23
	10	-	193	130	242	28	26	151	207	575	155	32
	11	522	938	327	617	14	27	194	438	387	355	31
	12	165	295	437	404	20	28	169	510	229	664	15
11-06	13	238	201	191	66	22	29	427	109	184	401	31
	14	426	308	145	717	24	30	78	153	210	620	20
	15	91	160	274	467	13	31	95	128	191	826	17
	16	251	209	20	463	161	32	252	92	194	327	37

