ブロッコリーの収穫後の呼吸特性と酸素透過度を変えたフィルムによる鮮度保持効果

永井耕介*・小河拓也*・福嶋 昭*・中川勝也*

Characteristics of Respiration Rate in Harvested Broccoli and Effect of Packaging with Films of Different O₂ Permeability on quality maintenance

NAGAI Kousuke*, OGAWA Takuya*, FUKUSHIMA Akira* and NAKAGAWA Katsuya*

*Hyogo Prefectural Hokubu Agricultural Institute
Yasui, Wadayama-cho, Asako-gun, Hyogo, 669-52 Japan

Respiration rate and ethylene (C₂H₄) production in harvested broccoli (*Brassica oleracea* L.) were examined. Effect of packaging with films of different O₂ permeability on quality maintenance was studied. (1) The higher the storage-temperature, the higher the respiration rate was observed. Seven days after harvest, the respiration rate decreased under 50% of that at the time of harvest. The production of C₂H₄ was slightly under 10°C and increased remarkably over 10°C. (2) At the stage that the flower buds of broccoli became soft, the respiration rate increased. However, the effect of the stage of broccoli on respiration rate was less than on C₂H₄ production, C₂H₄ production increased remarkably at the stage that the flower buds became slightly soft. (3) The respiration rate of early cultivars were higher than that of medium and late cultivars. (4) The difference of effect among films on maintaining freshness was slightly at 0°C and 5°C storages, a high fresh score was maintained for 2 weeks at 0°C and 1 week at 5°C in almost all films. (5) At 10°C storage, a high fresh score was maintained for 4 days in almost all films. And a high fresh score was maintained for 7 days in films with low gas permeability. At 20°C storage, a high fresh score was maintained for 4 days in films with low gas permeability. However, in films with low gas permeability an unfavorable off-flavor occurred. (6) These results indicate that at 10°C storage, quality is high in films with O₂ permeability of about 4000mL/m²·day·atm (15°C). However, it is suggested that the use of films with O₂ permeability of over 10000mL/m²·day·atm (15°C) is practical, when the temperature of broccoli is over 20°C.

(Received Jun. 18, 1997)

今日の消費者は野菜に「美味しさ」や「栄養価」のみならず、「新鮮さ」を強く求めている¹⁾。

ブロッコリー (*Brassica oleracea* L.) は、流通途上で黄化や花蕾が開花するなどして、品質低下を生じやす

い^{2),3)}。一般に低温ほど品質保持期間が長い⁴⁾ことから、高温時には予冷・保冷等の低温流通が行われている。しかし、実際の流通段階では品温変化があり^{5),6)}、そのために、品質低下を起こす場合も少なくない。また、鮮度

Table 1 The characteristics of films used

film	O ₂ permeability* ¹ ml/m ² · day · atm	size mm	thickness μm	material* ² of film
L 1	7,000	438×306	16.4	LDPE
L 2	5,400	438×306	20.3	LDPE
L 3	4,100	438×306	27.8	LDPE
L 4	1,900	438×306	38.4	LDPE
H 1 (microhole)* ³	100,000	431×279	40.6	OPP
H 2 (microhole)	28,000	431×280	40.4	OPP
H 3 (microhole)	10,000	433×278	40.5	OPP
H 4 (microhole)	4,000	432×282	39.6	OPP

*1 measured at 15°C

*2 LDPE : low density polyethylene, OPP : polypropylen

*3 microhole film treated with laser beams

保持の観点から包材の機能性も検討されている^{7),8)}。機能性フィルムについては近年、レーザー光による微細孔フィルムなど新たなフィルムが開発されている。しかしながら、その効果的な利用法が確立されていない。

そこで、ブロッコリーの収穫後の呼吸特性を調べるとともに、酸素透過量を変えたフィルムの鮮度保持効果を検討した。

実験材料および方法

1. 実験材料

実験に供したブロッコリーは兵庫県立中央農業技術センター（1994年加西市）と同北部農業技術センター（1995年和田山町）で栽培したものをを用いた。1994年は12月10日と20日に収穫した試料を、1995年は10月13日と10月18日に収穫した試料を用いた。

栽培種は、1994年が「唐嶺」「緑嶺」「グリーンビューティ」「ハイツ」、1995年は「ハイツ」を用いた。ブロッコリーの重量は250～280gのものをを用いた。

2. 実験方法

試験1 ブロッコリーの収穫後の呼吸およびエチレン発生量

① **花蕾の生育ステージ**：花蕾の生育ステージ別呼吸特性およびエチレン発生量を把握するため、花蕾の状況が緑色で硬い、緑色で少し軟らかい、緑色で軟らかい、黄化始期で軟らかいの4段階の試料を用いた。生育ステージに関する調査の供試品種は「唐嶺」とした。

② **保存方法**：収穫後の保存温度は0、5、10、15と20℃の5区とした。保存の包装はOPP微細孔フィルム袋（酸素透過量：20,000ml/m² · day · atm, 15℃, 大きさ：197×370mm, 厚さ：25μm）に入れ保存は立ち姿で行った。

③ **呼吸量、エチレン発生量およびフィルム内のガス**

濃度の測定：呼吸量、エチレン発生量の測定に用いた試料はガラス製デシケータ内に保ち、試料取り出し用のデシケータのふたの部分はラバーストッパーで固定した。二酸化炭素（以下CO₂と略す）およびエチレンの濃度は密封直後と密封2時間後に測定した。

CO₂濃度は収穫直後、保存試験開始2日後および7日後に測定した。収穫直後の測定は保存設定温度に4時間放置後測定を開始した。

CO₂濃度は株式会社友ペークライト製ガスアナライザー（モデルMAP-T3000）で測定し、エチレン濃度は日立製作所製ガスクロマトグラフ（モデル163型、検知器FID）で測定した。

試験2 酸素透過量を変えたフィルムの鮮度保持効果

① **機能性フィルムと保存温度**：供試したフィルム包材の種類と特性はTable 1に示した。保存温度は0℃、5℃、10℃と20℃の4区とした。保存施設は日本医化器製作所製のインキュベータ（BIOTRON LPH200型）を使用した。

② **袋内のガス組成**：5℃、20℃保存における1日、4日、7日後の袋内のCO₂、酸素（以下O₂と略す）濃度を測定した。測定には試験1と同様の装置を用いた。

③ **官能評価**：鮮度スコア等の評価は5人のパネリストを用い、各パネリストが5から1の5段階で評価を行った。

鮮度スコアは以下のとおりとした。

5：収穫直後の状態

4：商品性は高いが、若干しおれ等がみられる

3：商品性はあるが、かなり鮮度低下している

2：商品性はかなり低下している（商品性の限界）

1：食べられない

花蕾の色スコアは以下の通りとした。

5：緑色 4：緑色～薄緑 3：薄緑 2：黄緑 1：

黄色

開封時の品質調査では異臭発生やかび等の外観調査を行った。

実験結果

試験1 ブロッコリーの収穫後の呼吸およびエチレン発生量

Table 2に収穫後の保存温度とブロッコリーの呼吸量並びにエチレン発生量の関係を示した。CO₂発生量およびエチレン発生量は保存温度が高いほど増加しており、CO₂発生量は5℃を基準にみると10℃、15℃、20℃は5℃のそれぞれ約1.5倍、3倍、4.3倍であった。0℃は5℃の約1/2量であった。エチレン発生量は10℃以下では比較的少なく、15℃以上で激増していた。

Table 3にブロッコリーの花蕾の育成ステージと呼吸量並びにエチレン発生量の関係を示した。呼吸量は花蕾の状況による差が小さいが、花蕾が軟らかい段階IIIで最も多い傾向にあった。エチレン発生量は花蕾が硬い段階Iでは比較的少なく、花蕾が少し軟らかくなった段階IIで増加しはじめ、花蕾が軟らかい段階IIIで急増した。その後、花蕾が黄化しはじめる段階IVではエチレン発生量は減少した。

Table 4にブロッコリーの品種別呼吸性を示した。供試4品種の中で差がみられ、‘ハイツ’のCO₂排出量が最も多かった。収穫直後および2日後では‘緑嶺’の排出量が少ない傾向にあった。CO₂排出量は収穫後減少傾向にあり、収穫7日後ではほぼ半量以下に減少していた。

試験2 O₂透過量を変えたフィルムの鮮度保持効果

Table 5には0℃、5℃の保存温度条件における各種フィルムの鮮度保持効果を示した。外観鮮度スコア4.0以上を高鮮度状態とした。0℃の保存条件下では無包装を除きほぼ全ての包材で2週間程度高鮮度状態に保てた。保存7日後の調査では全ての包材で色調の変化および異臭の発生はみられなかった。5℃の保存条件下では無包装を除きほぼ全ての包材で7日間高鮮度状態に保てた。保存7日後の調査ではL1とH1の包材で色調がやや薄緑のものがみられたが、他の包材では色調変化はみられなかった。異臭の発生はL4とH4の包材で少しみられた。

Table 6には10℃、20℃の保存温度条件における各種フィルムの鮮度保持効果を示した。10℃の保存条件下では無包装とL2の包材を除きほぼ全ての包材で4日間高鮮度状態に保てた。保存7日後でもL3、L4およびH4の包材では高鮮度状態に保てた。7日後の色調変化では緑色に保てたのはL3、L4、H3およびH4の

Table 2 Effect of storage temperature of broccoli ‘Tourei’ on respiration rate and C₂H₄ production

temperature of storage (°C)	respiration rate (CO ₂ mg/kg/hr)	C ₂ H ₄ (μl/kg/hr)
0	58	0.1
5	95	0.1
10	145	0.6
15	289	2.5
20	414	5.1

stage of the flower buds of broccoli : hard~little soft

Table 3 Effect of stage of broccoli ‘Tourei’ on respiration rate and C₂H₄ production

stage* broccoli	respiration rate (CO ₂ mg/kg/hr)	C ₂ H ₄ (μl/kg/hr)
I	278	2.8
II	276	7.0
III	318	14.1
IV	254	6.8

storage temperature : 15℃

* stage of the flower buds of broccoli;

I : green and hard, II : green and little soft,

III : green and soft, IV : yellow and soft

Table 4 Respiration rate of several cultivars of broccoli

cultivar	respiration rate*1 (CO ₂ mg/kg/hr)		
	storage period (days)		
	0*2	2	7
Ryokurei	282	250	147
Tourei	312	273	140
Greenbyutyi	347	336	157
Haitsu	378	366	169

stage of the flower buds of broccoli : green and hard~green and little soft

* 1 : storage temperature : 15℃

* 2 : 0 day : measured after 4 hours storage at 15℃

4種類の包材であった。異臭の発生はL2、L3、H3では少し、L4、H4ではかなり感じられた。

20℃の保存条件下ではL3、L4、H4の3包材で4日間比較的高鮮度の状態に保てた。色調ではH4の包材が緑色を保持した。異臭の発生はH1の包材ではみられず、L3、L4、H3、H4の包材ではかなり感じられた。

Table 5 Effect of plastic films on maintaining freshness of broccoli 'Haitsu' at 0°C and 5°C storage

film*1	0℃ storage						5℃ storage					
	fresh score*2		color*3	stench*4		weight decrease per day (10 ⁻² %)	fresh score		color	stench		weight decrease per day (10 ⁻² %)
	storage period (days)			4	7		storage period (days)			4	7	
	4	7	14				7	7	4			
L 1	5.0	4.8	4.5	5	1	35	4.2	4.0	2.3	4	1	74
L 2	5.0	4.8	4.2	5	1	29	4.0	4.0	1.3	5	1	91
L 3	5.0	4.8	4.2	5	1	26	4.5	4.5	1.0	5	1	102
L 4	5.0	4.8	4.5	5	1	24	5.0	5.0	2.0	5	1	61
H 1	5.0	4.8	4.2	5	1	41	4.5	4.0	1.1	4	1	63
H 2	5.0	4.8	4.0	5	1	24	5.0	4.5	1.2	5	1	76
H 3	5.0	4.8	3.5	5	1	23	5.0	4.0	1.7	5	1	84
H 4	5.0	4.8	4.5	5	1	18	5.0	4.3	2.2	5	1	46
non-pack	3.0	2.5	1.0	5	1	162	2.0	1.0	1.0	3	1	326

*1 film : same as in Table 1

*2 fresh score ; 5 : Excellent~1 : not edible

*3 color score ; 5 : Green~1 : yellow

*4 stench score ; 3 : terrible, 2 : small, 1 : non

Table 6 Effect of plastic films on maintaining freshness of broccoli 'Haitsu' at 10°C and 20°C storage

film*1	10°C storage						20°C storage					
	fresh score*2			color*3	stench*4	weight decrease per day (10 ⁻² %)	fresh score			color	stench	weight decrease per day (10 ⁻² %)
	storage period (days)				storage period (days)							
	4	7	14		7		7			4	7	
L 1	4.0	3.5	1.0	4	1	135	3.5	1.0	-	1.5	2	168
L 2	3.5	3.0	1.0	4	2	80	3.8	1.0	-	2	2	220
L 3	4.5	4.3	1.0	5	2	66	4.3	2.0	-	4	3	106
L 4	4.0	4.0	1.0	5	3	53	4.0	2.5	-	4	3	82
H 1	4.0	3.8	1.0	4	1	94	1.3	1.2	-	2	1	199
H 2	4.0	3.8	1.0	4	1	47	2.5	1.0	-	2	2	126
H 3	4.0	3.8	1.0	5	2	49	3.5	1.0	-	4	3	80
H 4	4.5	4.3	1.2	5	3	37	4.3	2.5	-	5	3	58
non-pack	2.7	1.0	-*5	2	1	456	1.0	1.0	-	2	1	678

*1 film : same as in Table 1

*2~*4 : same as in Table 5

*5 - : sample rotted

1日当たりの重量減はフィルムにより異なっており、0°Cでは0.2~0.4%、5°Cでは0.5~1.0%で、10°Cでは0.4~1.4%、20°Cでは0.6~2.2%となっており、保存温度が高いほどO₂透過性の違いによる重量減の差が大きくなる傾向にあった。O₂透過性の低いフィルムほど重量減は少ない傾向にあった (Table 5, 6)。

保存中の供試フィルム内のCO₂濃度をTable 7に示した。5°Cの保存条件下ではO₂透過性の低い包材ほどCO₂濃度が高くなっており、L4のフィルムでは保存1日後から7日後までの間CO₂濃度がほぼ13~15%で推移していた。また、H4フィルムは10~18%で推移しており、

保存日数に伴い増加傾向にあった。

20°C保存条件下での供試フィルム内CO₂濃度もO₂透過性の低い包材ほど高くなっており、5°C保存に比べてフィルム内のCO₂濃度は全体に高かった。L4のフィルムでは保存1日後から7日後までの間CO₂濃度がほぼ16~19%で推移しており、H4フィルムは15~19%で推移していた。

考 察

ブロッコリーの呼吸量、エチレン発生量は保存温度と密接な関係にあり、低温ほど少なく、商品性が著しく低

Table 7 CO₂ and O₂ concentration in film bags in which broccoli 'Haitsu' was packaged

film*	5℃ storage						20℃ storage					
	CO ₂ %			O ₂ %			CO ₂ %			O ₂ %		
	storage period (days)											
	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7
L 1	1.9	0.7	0.8	18.9	17.4	17.7	2.5	1.9	1.3	16.8	13.3	12.2
L 2	3.3	2.8	1.6	16.4	15.5	13.8	6.4	7.3	5.2	10.3	7.5	7.8
L 3	10.5	9.4	8.6	7.9	7.5	7.1	12.5	13.5	10.3	6.4	4.9	3.3
L 4	13.3	13.5	12.8	5.6	4.4	2.3	18.3	18.8	15.7	2.5	2.3	1.4
H 1	0.4	0.2	0.4	20.3	20.4	20.5	0.7	0.5	0.4	20.0	20.3	20.1
H 2	1.3	0.9	1.0	18.7	17.5	18.2	3.0	3.8	1.6	16.5	12.4	14.3
H 3	6.7	4.2	4.6	12.5	10.6	9.5	8.9	9.4	6.9	7.5	5.9	4.8
H 4	10.4	15.3	17.9	5.7	2.8	1.9	15.1	17.2	15.3	4.5	1.1	1.5
non	0.0	0.0	0.0	20.5	20.8	20.7	0.0	0.0	0.0	20.3	20.7	20.7

* same as in Table 1

*2~*4; same as in Table 5

*5 -: sample rotted

下する花蕾の黄化が抑制されるので、高温時収穫のブロッコリーでは収穫直後の予冷および低温保存は鮮度保持の観点から不可欠のものであると考えられた。

花蕾の生育ステージと呼吸量およびエチレン発生量の関係では花蕾が軟らかくなった段階で増加し始めた。この点で寺井ら²⁾はエチレンの増加が主に花蕾部によるものと報告している。エチレンの急増は黄化等品質低下を促進するので、収穫時の箱詰めでは花蕾が硬い段階で収穫し、花蕾の生育ステージを揃えることが重要であると考えられる。

供試品種間に呼吸量の差がみられ、早生品種の‘ハイツ’、‘グリーンビューティ’は中晩生の‘唐嶺’、‘緑嶺’よりも呼吸量が多い傾向にあった。しかしながら、その差は保存温度や花蕾の生育ステージに比べれば小さいと考えられた。

呼吸量は収穫7日後には収穫直後の1/2程度に減少していた。収穫後の呼吸量が減少傾向にあることから柑橘類⁹⁾と同様に呼吸型は漸減型であると推察される。

0℃、5℃の保存条件ではフィルムの種類およびO₂透過量の違いによる鮮度保持期間にほとんど差が見られなかった。フィルム内に蓄積したCO₂濃度はフィルムの違いにより異なっていた。KUBOら¹⁰⁾、壇ら¹¹⁾は高O₂条件下では、CO₂が増加しても呼吸抑制効果は少ないと報告しているが、本試験ではCO₂の増加にともない、O₂濃度は低下していた。したがって、O₂透過性の高いフィルムでは呼吸抑制効果があると推察されるが、低温条件のため呼吸量そのものが少ないのと水分減少率が低いために、外観鮮度の差が小さくなったものと考えられる。

10℃の保存条件ではL3、H4のO₂透過量4000ml/m²・day・atm(15℃)程度のフィルムの外観鮮度がやや優れており、異臭の発生も少なかった。20℃の保存条件でもO₂透過量4000ml/m²・day・atm程度のフィルムの外観鮮度はやや優れていたが、異臭が発生した。フィルム内にCO₂が蓄積した包材ほど緑色が保持された。この点に関して阿部ら¹²⁾はブロッコリーの緑色保持には高濃度CO₂の影響が低濃度O₂よりも大きいと報告している。さらに阿部ら¹²⁾、別府¹³⁾らは異臭に含まれるエチルアルコールが黄化に関与する酵素に影響を及ぼし黄化を抑制すると報告している。

夏季高温時の場合流通段階での品温変化の幅は大きく、ホウレンソウでは5~20℃の幅で温度変動が見られた⁶⁾。茨木ら⁵⁾も輸送中にネギの品温変化が生じることを報告している。したがって、高温時流通では異臭の発生の可能性が高いので、O₂透過量7000~10000ml/m²・day・atm程度のフィルム使用が安全であり、品温が20℃を越える場合にはO₂透過量10000ml/m²・day・atm以上のフィルムを使用する必要があるものと推察される。

素材がポリプロピレンによる微細孔フィルムは低密度ポリエチレンフィルムに比べてO₂透過量がほぼ同じ場合、CO₂の蓄積量が多い傾向にあった。本試験ではその原因は不明であり、今後詳細に検討する必要があるものと思われた。

要 約

ブロッコリーの収穫後の呼吸量およびエチレン発生量を測定するとともに、O₂透過量の異なるフィルムを用

いて各種フィルムの鮮度保持効果を検討した。

1. 呼吸量は保存温度が高いほど多く、収穫7日後では収穫直後の1/2以下に減少した。エチレン発生量は10℃以下は比較的少なく、15℃以上で激増していた。
2. 花蕾の状況による呼吸量の差は小さいが花蕾が軟らかくなった段階で呼吸量は多かった。エチレン発生量は花蕾が少し軟らかくなった段階で増加し始め、花蕾が軟らかい段階で急増した。
3. 呼吸量は品種間に差がみられ、早生品種は中晩生品種に比べ、呼吸量が多い傾向にあった。
4. 0℃と5℃の温度条件下ではフィルムの包材による鮮度保持効果の差は小さく、ほぼ全ての包材で0℃では2週間、5℃では1週間高鮮度状態が保てた。
5. ほぼ全ての包材で10℃の温度条件下で4日間高鮮度状態を保て、比較的O₂透過量の少ない包材では10℃で7日間、20℃で4日間外観鮮度の高い状態に保てた。しかしながら、O₂透過量の少ない包材では異臭が感じられた。
6. 10℃以下の低温流通が確保できれば、O₂透過量4000ml/m²・day・atm(15℃)程度のフィルムの鮮度保持効果が高いが、流通途上で品温が20℃を越える可能性の場合にはO₂透過量10000ml/m²・day・atm以上のフィルムを使用の方が実用的であると考えられた。

謝 辞 本研究は農林水産省地域重要新技術開発促進事業「機能性フィルム等と温度管理を活用した野菜の高鮮度保持流通技術の確立」で取り組んだ課題の一部であり、取りまとめに当たってのご指導とフィルムの提供を賜った農林水産省農研センター第4プロジェクトチームの各位に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 永井耕介・有方千裕・小河拓也・中川勝也：近畿中国農研, **89**, 49 (1995)
- 2) 寺井弘分・土田広信・水野雅史・日食低温誌, **19**, 194 (1993)
- 3) 山下市二・小林恭一：日食低温誌, **19**, 8 (1993)
- 4) 緒方邦安・伊藤 卓・岩田 隆：日食工誌, **21**, 394 (1974)
- 5) 茨城俊行・池田浩暢・打田 宏・太田英明：日食低温誌, **21**, 69 (1995)
- 6) 永井耕介・羽瀨維子・小河拓也・中川勝也：日食保科誌, **23**, 136 (1997)
- 7) 龔 一平・阿部一博・茶珍和雄：日食低温誌, **16**, 148 (1990)
- 8) 太田英明・與座宏一・中谷明雄・椎名武夫・井尻 勉・石谷孝佑：日食低温誌, **17**, 106 (1991)
- 9) 樽谷隆之・北河博敏：園芸食品の流通・貯蔵・加工(養賢堂, 東京), p.36 (1990)
- 10) KUBO, Y., INABA, A. and NAKAMURA, R.: *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **58**, 731 (1990)
- 11) 壇和 弘・永田雅靖・山下市二：日食低温誌, **21**, 128 (1995)
- 12) 阿部一博・龔 一平・茶珍和雄：日食低温誌, **21**, 208~209 (1995)
- 13) 別府道子・片平理子：日食低温誌, **21**, 223 (1995)

(平成9年6月18日受理)