

輸送振動がブロッコリーの呼吸速度および 内容成分に及ぼす影響

池田浩暢・茨木俊行
(生産環境研究所)

ブロッコリーがトラック輸送中に受ける振動を測定し、これを実験室で再現し、この振動がブロッコリーの呼吸速度および内容成分に及ぼす影響を明らかにした。一般道路を1トントラックで走行した際の振動加速度は0.5～1.5Gであったが、道路状況が悪い部分では2Gを越える振動を記録した。ブロッコリーの呼吸速度は、振動開始後約20分間は徐々に上昇したが、その後は振動を停止するまでほぼ一定であった。また、振動停止後は約1時間で振動開始前の呼吸速度にまで低下した。振動による呼吸速度の上昇の程度は、測定温度にかかわらずほぼ同じであった。ブロッコリーを実験室で10時間加振した場合でも、また実際にトラック輸送した場合でも、全糖含量、アスコルビン酸含量、クロロフィル含量、茎硬度および総合鮮度に与える振動の影響は認められなかった。

[キーワード：ブロッコリー、振動、振動加速度、呼吸速度、内容成分]

Effects of transport vibration on the respiration rates and chemical components of Broccoli. IKEDA Hironobu, Toshiyuki IBARAKI (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 18:76-79 (1999)

The vibration that broccoli is subjected to during truck transportation was actually measured. The vibration was then simulated in a laboratory to investigate its effects on respiration rates and chemical components of broccoli. The vibrating acceleration experienced when a 1-ton truck with broccoli ran on ordinary roads was 0.5～1.5G, and on occasion, above 2G depending on the road condition. The respiration rates of broccoli increased gradually for the first 20 minutes and remained at an elevated level for the following 100 minutes, or during the time vibration was imposed. After the vibration was stopped, the respiration rates of broccoli returned to the initial level in about 1 hour. In spite of the differences in measured temperature, the elevated levels of the respiration rates of broccoli were nearly constant. There were no significant effects from transport vibration on sugar, ascorbic acid and chlorophyll contents, hardness of the stem on market quality of the broccoli under the 10-hour simulated transportation test in the laboratory and the actual transportation on the truck.

[Key words : Broccoli, transport vibration vibrating acceleration, respiration rate, chemical components]

緒 言

近年、ブロッコリーは消費の増加に伴い輸入量が急増しているが、輸入農産物に対する安全性への懸念から国内産への需要は高い。このような中で福岡県では冬期の温暖な気候を活かし、冬春出しのブロッコリーの生産が行われ、トラック輸送により出荷されている。ところが、ブロッコリーは花蕾が軟弱であるため、輸送中の振動による品質の低下が懸念されている。

青果物は、本質的に振動加速度に対する抵抗性は比較的強いと言われているが^{1,2)}、箱詰め状態で輸送される場合には青果物同士の共振など様々な要因が相乗的に関与し、小さな振動でも影響を受けることが示唆されている^{4,9,10)}。これまで振動が青果物に及ぼす影響については、物理的損傷^{2,3)}や呼吸速度の上昇^{5,8)}および有機酸含量の低下等⁷⁾が報告されている。しかし、これらの報告で用いられた振動は外傷を伴うような極端に大きなものであったり^{4,11)}、外傷を伴わない場合であっても定常振動のみ^{5,7,8)}にすぎない。実際に輸送中に測定したデータを用いて振動を再現する試みも行われてきたが^{2,3)}、これは時間を短縮して折れや擦れなど物理的損傷の再現することを目的とした

ものであり、今回本報で報告する内容成分など生理的变化を再現することを目的とした研究事例はみられない。

そこで、振動が青果物の内容成分等に及ぼす影響について明らかにするため、実際にトラック輸送中に発生する多様な振動を測定し、実験室で再現した振動をブロッコリーに与えたときの呼吸速度や内容成分に及ぼす影響を調査した。また、実際にブロッコリーをトラック輸送した場合の輸送中の振動が、内容成分に及ぼす影響についても併せて調査し、知見を得たので報告する。

材料及び方法

試験1 輸送振動の測定

1996年12月に収穫したブロッコリー9個をポリエチレンフィルム袋を内装した普通段ボール容器に縦詰めにした。これを1トントラックに満載し、福岡県粕屋町から福岡大同青果まで約15kmの一般道路を0～40km/hrで走行した際に荷台後方の段ボール箱上で発生する振動加速度を、テレバイプロメーター（アカシ製：AVZ-75）で測定し、データレコーダー（ティアック製：RD-180）で記録した。

試験2 輸送振動がブロッコリーの呼吸速度に及ぼす影響

1996年2～3月に粕屋町で生産されたブロッコリーを供試した。ブロッコリー1個を佐賀大学所有の電磁式振動装置（アカシ社製：E・DES45）に設置した内容積6.9ℓの亚克力樹脂製チャンパーに縦置きで固定した。ブロッコリーの品温および呼吸速度を安定させるため、測定温度下で一晩放置した。測定温度は、流通時および販売時の条件を想定して5℃および15℃とした。輸送振動は、試験1で測定したデータを電力増幅器（アカシ社製：MODEL E・DA）を用いて再現した。加振時間は、県内輸送を想定して2時間とした。呼吸速度は、チャンパーの一方から毎分1ℓの流量で外気を通気し、反対側から内部の空気を取り出し、その二酸化炭素濃度を二酸化炭素濃度自動計測機（YANACO製）で測定した。チャンパー内の二酸化炭素濃度と外気中の二酸化炭素濃度の差から呼吸速度を算出した。

試験3 輸送振動がブロッコリーの内容成分に及ぼす影響

1997年2月に粕屋町で生産されたブロッコリーを供試した。ブロッコリーは、収穫後ポリエチレン袋を内装した普通段ボール容器に9個縦詰めし、上部をハンカチ折り込み包装した。自家用車で福岡県農業総合試験場（以下試験場）に搬入し、15℃の恒温庫内に保存したものを静置区とした。振動区は、さらに試験場から佐賀大学まで輸送した。輸送距離は、収穫した粕屋町から試験場までが約20km、試験場から佐賀大学までが約40kmであった。佐賀大学到着後は普通段ボール容器を電磁式振動装置に設置し、15℃で一晩放置後、試験1で測定した振動を7時間ブロッコリーに与えた。振動停止後は直ちに試験場に返送し、静置区とともに15℃の恒温庫内に保存した。振動区には、佐賀大学での7時間の振動処理と、試験場と佐賀大学との往復の輸送時間をあわせ、合計で10時間振動を与えた。自家用車で試験場と佐賀大学とを往復輸送した際のブロッコリーの品温は、平均で16.5℃であった。収穫当日を含め試験開始4日目までの全糖含量、アスコルビン酸含量、クロロフィル含量および茎硬度を測定した。全糖含量、アスコルビン酸含量およびクロロフィル含量の測定は、前報¹⁾で用いた方法に従った。茎硬度の測定は、茎を下部から約5cm切り出し、これを縦に半分に切りレオナーメーターで表面が0.5mm歪むのに要する力を測定した。内容成分の分析および茎硬度の測定には6個体を供試した。

試験4 長距離輸送試験

1998年3月に筑紫野市で生産されたブロッコリーを供試した。試験には振動の影響を最も受けやすいと考えられる花蕾の柔らかい春先のブロッコリーを用いた。ポリエチレンフィルム袋を内装した普通段ボール容器に9個縦詰めし、上部をハンカチ折り込み包装した。自家用車で試験場に搬入し、15℃の恒温庫内に保存したものを静置区とした。振動区はさらに自家用車で北野町に運搬後、10tトラックに積み替え大阪中央卸売市場へ輸送した。

2日目の早朝に大阪に到着したブロッコリーは、約12時間室外に放置された後、再びトラックで転送し、3日

目の昼に試験場に到着した。輸送距離は、収穫した筑紫野市から試験場までが約5km、試験場から北野町までが約30km、北野町から大阪中央卸売市場までが約700km、大阪卸売市場から試験場までが約680kmであった。輸送中のトラックの庫内温度は5℃に設定した。試験場到着後は箱を開け、15℃の恒温庫内に静置した。試験開始1日目（収穫日）および3～5日目の全糖含量、アスコルビン酸含量、クロロフィル含量など内容成分を分析し、茎硬度および総合鮮度を調査した。総合鮮度は、収穫時を4、市場出荷可能な状態を3、小売り可能な状態を2、食べられる状態を1、食べられない状態を0とした。成分分析および調査には6個体を供試した。

結 果

試験1 輸送振動の測定

ブロッコリーを満載した1トントラックが、一般道路を走行した際に荷台後方で発生する振動加速度は、ほとんどが0.5～1.5Gであった。しかし、舗装が悪い所やマンホールや橋のつなぎ目など道路状況が劣悪な部分では、2Gを越える振動が認められた。

試験2 輸送振動がブロッコリーの呼吸速度に及ぼす影響

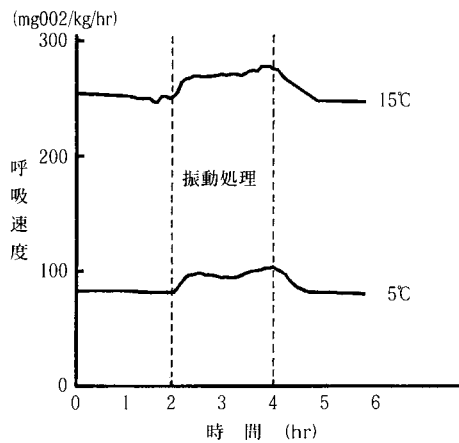
輸送振動がブロッコリーの呼吸速度に及ぼす影響を第1図に示した。振動開始前のブロッコリーの呼吸速度は、15℃で約250mgCO₂/kg/hr、5℃では約80mgCO₂/kg/hrであった。15℃でブロッコリーに試験1で測定した振動を与えた場合、呼吸速度は約20分かけて徐々に上昇し、約280mgCO₂/kg/hrに達した。それ以降の呼吸速度は振動を停止するまでほぼ一定であった。振動停止後は約1時間かけて徐々に下降し、振動開始前の呼吸速度にまで低下した。5℃で振動を与えたときも、ブロッコリーの呼吸速度は15℃の場合と同様に約20分かけて約30mgCO₂/kg/hr上昇し、約110mgCO₂/kg/hrとなった。その後は、振動停止までほぼ一定の呼吸速度を示し、振動停止約1時間後には振動開始前の呼吸速度にまで低下した。

試験3 輸送振動がブロッコリーの内容成分に及ぼす影響

輸送振動とブロッコリーの内容成分の関係を第1表に示した。全糖含量は、試験開始直後から3日目にかけて急速に低下した。振動区でやや低く推移する傾向を示したものの、t検定による統計的に有意差は認められなかった。アスコルビン酸含量は、試験開始直後から4日目まで緩やかに低下し続けた。振動区および静置区では4日目までアスコルビン酸含量の変化に差は認められなかった。クロロフィル含量は、調査期間内はほとんど変化なく、4日目まで収穫時の含有量を保っていた。茎硬度は、試験開始直後から急激に低下したが、試験区間の差は認められなかった。

試験4 長距離輸送試験

輸送中におけるブロッコリー出荷容器内の温度変化を第2図に示した。輸送中の容器内温度は輸送時間の経過



第1図 振動処理がブロッコリーの呼吸速度に及ぼす影響

第1表 振動処理がブロッコリーの内容成分に及ぼす影響

調査項目 (単位)	試験区	1日目	2日目	3日目	4日目
全糖含量 (%)	静置	3.1±0.2	2.5±0.2	2.1±0.2	2.0±0.1
	振動		2.3±0.1	1.8±0.1	1.9±0.1
アスコルビン酸 含量(mg%)	静置	140±22	136±23	131±27	105±12
	振動		131±19	122±18	111±19
クロロフィル 含量(mg%)	静置	68±3	66±2	67±4	63±2
	振動		66±4	67±4	64±4
茎硬度 (g)	静置	903±43	733±83	711±44	681±53
	振動		735±53	698±57	672±66

1) 数値は平均±標準偏差

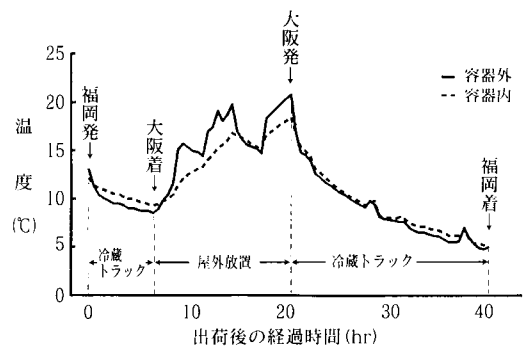
2) t検定を実施したが、いずれにおいても有意差なし。

とともに低下し、往路の大阪到着時には約8℃まで低下した。大阪では福岡への転送のため約12時間室外に放置されたが、その間容器内温度は徐々に上昇し、最高で約21℃に達した。復路の試験場到着時には約5℃まで低下した。

実際のトラック輸送中に発生する振動がブロッコリーの内容成分および品質に及ぼす影響を第2表に示した。全糖含量は、振動区および静置区とも試験開始4日目までは緩やかに低下した。振動区でやや低く推移する傾向を示したものの、統計的な有意差は認められなかった。アスコルビン酸含量は両試験区とも3日目までは急速に、それ以降は緩やかに低下した。クロロフィル含量は、両試験区とも5日目までほぼ収穫時の状態を保持していた。茎硬度は、3日目までは緩やかに低下したが、それ以降は容器を開放したために急激に低下した。振動区では花蕾の傷みなど外傷は観察されず、見た目においては静置区とほとんど差は認められなかった。内容成分の変化も考慮した総合鮮度は、振動区および静置区とも3日目までは市場出荷が可能な状態であり、5日目までは商品性を保持していた。

考 察

今回、1トントラック上で発生した振動加速度は、そ



第2図 トラック輸送中のブロッコリー出荷容器内・外の温度変化

第2表 トラック輸送時の振動がブロッコリーの内容成分に及ぼす影響

調査項目 (単位)	試験区	1日目	2日目	3日目	4日目
全糖含量 (%)	静置	1.5±0.3	1.2±0.2	0.9±0.3	0.9±0.1
	振動		1.0±0.2	0.8±0.1	0.7±0.1
アスコルビン酸 含量(mg%)	静置	97±18	65±19	54±19	49±12
	振動		70±20	67±18	46±18
クロロフィル 含量(mg%)	静置	46±5	44±3	41±5	41±5
	振動		46±4	43±5	44±5
茎硬度 (g)	静置	829±109	793±42	677±47	534±70
	振動		781±69	693±53	605±57
外観鮮度	静置	4.0±0.0	3.5±0.0	2.9±0.2	2.3±0.3
	振動		3.5±0.0	2.9±0.2	2.4±0.2

1) 数値は平均±標準偏差

2) t検定を実施したが、いずれにおいても有意差なし。

のほとんどが0.5～1.5Gと小さな値であった。これまで1トントラックで青果物を輸送した場合の輸送中の振動について報告はないが、中村ら⁵⁾や中馬¹⁰⁾らは6～10トントラックでブドウや温州みかんを輸送中に発生する振動を測定し、0.4～2.4Gという値を得ている。これらの振動を測定した位置はいずれも最も振動加速度が大きい荷台後方で、しかも走行速度も同じ0～40kmでの報告である。車の大きさなどが異なるため一概に比較はできないが、これらが報告された20年以上前より、今日では発生する振動加速度がかなり小さくなっていると考えられる。

ブロッコリーの呼吸速度は、貯蔵温度にかかわらず振動開始後20分かけて約30mgCO₂/kg/hr上昇したが、それ以降は振動停止までほぼ一定の値を示した。中村ら⁵⁾はトマトに1Gや2Gの定常振動を3時間与えた場合、トマトの呼吸速度は振動処理中は上昇し続けたと報告している。この中で中村らは、青果物に加わる振動の総量を「振動加速度の強さ×加振時間」で表し、外傷が伴わない程度の範囲内であれば、呼吸速度の上昇は振動の総量に比例すると結論づけている。今回著者らがブロッコリーで行った試験では、振動開始後20分までは呼吸速度は一律に上昇するため、振動の総量に比例していたが、それ以降は振動停止まで呼吸速度は一定で、上昇は認められなかった。また、劉ら¹³⁾はイチゴで0.5Gの定常振動を

1時間与えた場合、呼吸速度の変化はブロッコリーの呼吸速度の変化と同様に振動開始後約15分で最大値に達し、それ以後は上昇しなかったと報告している。これらのことから、中村らが提唱した「呼吸速度の上昇は振動の総量に比例する」ということは、すべての青果物に合致するものではなく、少なくともブロッコリーやイチゴでは当てはまらないことが明らかになった。

実用規模を想定して輸送シュミレーションを行い、内容成分等について検討を試みた。10時間振動処理した場合には、全糖含量など内容成分に及ぼす振動の影響は認められなかったが、これは振動によるブロッコリーの呼吸速度の上昇がわずかであったためと考えられる。すなわち、振動によってブロッコリーの呼吸速度は最大で約30mgCO₂/kg/hr上昇するが、10時間振動を加えたときでも、呼吸速度の総量は静置区に比べて約300mgCO₂/kg多くなるだけである。この量は試験2の振動処理前の呼吸速度から算出すると、ブロッコリーが15℃条件下で約1時間呼吸した時に排出する二酸化炭素量にしか相当しない。さらに、この呼吸基質としてすべて糖が用いられたと仮定しても、全糖含量は計算上0.02%減少するのみである。このため、輸送振動がブロッコリーの内容成分に及ぼす影響は極めて少ないと考えられる。

輸送シュミレーションにおいてブロッコリーでは振動による影響が認められなかったため、実際に輸送試験を行った。内容成分の変化は、振動を加えなかったものと比較しても統計的な差は認められなかった。これらのことから、実際の輸送振動がブロッコリーの内容成分および鮮度に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。今回、往路の輸送中の温度制御は不完全で、しかも大阪中央卸売市場では約12時間室温に放置された。輸送中の温度制御が完全に行われれば、さらに鮮度保持が可能となると考えられる。したがって、ブロッコリーは振動に対する抵抗性が比較的大きく、長距離出荷も可能である。

引用文献

1) 池田浩暢・茨木俊行 (1997) 雰囲気ガス組成がブロッコリーの呼吸速度・内容成分及び品質に及ぼす影

響. 福岡農総試研報. **17**: 104~107.

2) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭 (1977) 青果物輸送の等価再現化に関する研究 (第1報). 多段積載時の段ボール箱および内容レタスの振動特性ならびに損傷性. 農機誌. **39**(3): 343~349.

3) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭 (1977) 青果物輸送の等価再現化に関する研究 (第2報). 損傷度の定義と輸送シュミレーション時の加速度レベルの設計. 農機誌. **40**(1): 61~67.

4) EAKS, I.L. 1961. Techniques to Evaluate injury to citrus fruits from handling practices. *Proc. Amer. Soc. Hort. Science.* **78**: 190~196.

5) 中村怜之輔・伊東卓爾 (1976) 振動が果実の呼吸生理に及ぼす影響 I. 振動中および振動直後のトマト果実の呼吸速度の変化. 園学雑. **45**: 313~319.

6) 中村怜之輔・伊東卓爾・阪部正博 (1976) トラック輸送時の果実段ボール箱の振動強度. 岡山大農学報. **47**: 41~50.

7) 中村怜之輔・伊東卓爾・稲葉昭次 (1977) 振動が果実の呼吸生理に及ぼす影響 II. トマト果実の追熟中に対する振動の影響. 園学雑. **46**: 349~360.

8) 中村怜之輔・家永 孝・伊東卓爾・稲葉昭次 (1985) 振動による数種果実の呼吸速度の変化. 園学雑. **54**: 498~506.

9) SOMMER, N.F., F.G. MITCHELL, R. GUILLOU and D.A. LUVISI (1960) Fresh fruit temperature and transit injury. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **76** 156~162.

10) 中馬 豊・村田 敏・安部武美・早川 功 (1967) 生鮮農産物の輸送損傷に関する研究. 輸送振動による梨の損傷と箱内の運動. 農機誌. **29**(2): 82~87.

11) 中馬 豊・泉 裕己・松岡孝尚 (1967) 温州みかんの輸送損傷に関する研究. 外力による表皮損傷と呼吸変化. 農機誌. **29**(3): 104~108.

12) 中馬 豊・村田 敏・紀伊富夫 (1970) リンゴの衝撃加速度の測定と解析. 農機誌. **32**(1): 47~52.

13) 劉蛟艶 (1996) 振動および貯蔵温度がイチゴの品質変化に及ぼす影響. 佐賀大修士論文.