

輸送振動がブロッコリー (*Brassica oleracea* var. *italica*) の呼吸速度 および内容成分に及ぼす影響

池田浩暢*・石井利直**・茨木俊行*・小島孝之***・太田英明**

Influence of transport vibration on respiration rates and
chemical components of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)

IKEDA Hironobu*, ISHII Toshinao**, IBARAKI Toshiyuki*, KOJIMA Takayuki*** and OHTA Hideaki**

* Fukuoka Agricultural Research Center

587, Yoshiki Chikushino-shi, Fukuoka 818-8549

** Department of Food Science and Nutrition, Nakamura Gakuen University

5-7-1, Befu, Johnan-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka 814-0198

*** Faculty of Agriculture, Saga University

1, Honjyo, Saga-shi, Saga 840-0026

Influence of vibration by practical or simulated transportation on respiration rates and chemical components of Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads was examined. Acceleration data of practical vibration were actually recorded by truck transportation, and the simulated vibration experiment was performed with a trans-simulation vibrator in the laboratory. The 0.5~1.5G of vibrating acceleration was observed on the ordinary roads, while more than 2G obtained occasionally, depending on road condition. Before the vibration, the respiration rate (CO₂ production) of broccoli was approximately 250mg · kg⁻¹ · hr⁻¹ at 15°C and 80mg · kg⁻¹ · hr⁻¹ at 5°C. The respiration rate gradually increased to 280 mg · kg⁻¹ · hr⁻¹ at 15°C and 110mg · kg⁻¹ · hr⁻¹ at 5°C for the first 20 min and then remained constant during the vibration. After the vibration, the respiration rate decreased to the initial level within 1 hr. Practical and simulated vibration did not affect counts of total soluble sugar, ascorbic acid and chlorophyll, stem firmness and freshness of broccoli.

(Received Mar. 26, 2001; Accepted Sep. 10, 2001)

近年、ブロッコリー (*Brassica oleracea* var. *italica*) は消費の増加に伴い輸入量が急増している。輸入農産物に対する安全性への懸念から国内産に対する潜在的な需要は高い。このようななかで福岡県をはじめ熊本県や鹿児島県などの西南暖地では、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、そのほとんどがトラックを利用して出荷されている。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されている¹⁾。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^{2),3)}。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^{4),5)}や呼吸速度の上昇^{6)~9)}および有機酸含量の低下等^{10),11)}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^{2),10)}、外傷を伴わない場合であ

*福岡県農業総合試験場 (〒818-8549 福岡県筑紫野市大字吉木587)

**中村学園大学食物栄養学科 (〒814-0198 福岡県福岡市城南区別府5-7-1)

***佐賀大学農学部 (〒840-0026 佐賀県佐賀市本庄1)

っても定常振動のみ^{6),7),9),11)}の試験であった。一方、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^{4),5)}、これらは時間を短縮して折れや擦れなどの物理的損傷の再現を目的としたものであった。今回報告する成分含量など生理・化学的变化を再現することを目的とした研究事例は、イチゴ⁸⁾で報告されているにすぎない。

そこで、振動とブロッコリーの成分含量の変化との関連を明らかにするため、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および成分含量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と成分含量の変化との関係についても併せて調査し、知見を得たので報告する。

実験方法

1. 輸送振動の測定

1996年2月に福岡県粕屋町で生産されたブロッコリー‘みよみどり28号’を供試した。ブロッコリー9個を厚さ30 μ mの低密度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1tトラックに満載し、福岡県粕屋町から福岡市中央卸売市場までの約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。

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月に福岡県粕屋町で生産されたブロッコリー‘みよみどり28号’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6.9 ℓ の亚克力樹脂製コンテナ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、測定温度下で一夜放置した。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 $^{\circ}$ C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、近隣市場への輸送を想定して2時間とした。呼吸速度は、コンテナの一方から毎分1 ℓ 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。コンテナ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。

3. 輸送振動がブロッコリーの成分含量に及ぼす影響

1997年2月に福岡県粕屋町で生産されたブロッコリー‘みよみどり28号’を供試した。ブロッコリーは、収穫後厚さ0.03mmの低密度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。

ライトバンで福岡県農業総合試験場(以下、試験場)に搬入し、15 $^{\circ}$ C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。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 $^{\circ}$ Cで一夜放置後、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 $^{\circ}$ C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(80km)の輸送時間をあわせ、合計で10時間振動を与えた。ライトバン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 $^{\circ}$ Cであった。

試験開始日(収穫日)および3日後までの全糖含量、L-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、L-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²⁾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、これを縦に半分切りレオナーメーター(山電製:RE-3305型、プランジャー:直径10mmの球形、台座スピード1mm/秒)を用いて表面が0.5mm歪むのに要する力を測定した。成分含量の分析および茎硬度の測定には6個体を供試した。

4. 輸送試験

1998年3月に福岡県筑紫野市で生産されたブロッコリー‘エンデバー’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。厚さ0.03mmの低密度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。ライトバンで試験場に搬入し、15 $^{\circ}$ C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福岡県北野町に運搬後、10tトラックに積み替え大阪中央卸売市場へ輸送した。翌朝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、2日後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。試験開始日(収穫日)および2~4日後の全糖含量, L-アスコルビン酸含量, クロロフィル含量など成分含量を分析し, 茎硬度および総合鮮度を調査した。総合鮮度は花蕾の色, つまりおよび臭いを基準とし, 収穫時の状態を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。

実験結果

1. 輸送振動の測定

ブロッコリーを満載した1 t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を超える振動が認められた。

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Fig. 1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250mg・kg⁻¹・hr⁻¹, 5℃では約80mg・kg⁻¹・hr⁻¹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280mg・kg⁻¹・hr⁻¹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30mg・kg⁻¹・hr⁻¹上昇し, 約110

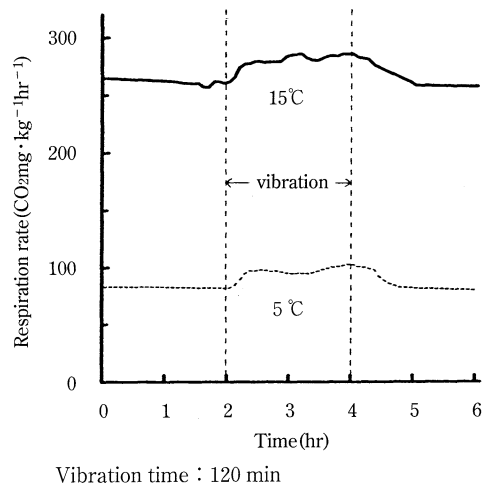


Fig. 1 Effect of simulated vibration on respiration rates of broccoli during storage at 5°C and 15°C

mg・kg⁻¹・hr⁻¹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低下した。

3. 輸送振動がブロッコリーの成分含量に及ぼす影響

輸送振動とブロッコリーの成分含量の関係をTable 1に示した。全糖含量は, 試験開始直後から2日後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検定による統計的な有意差は認められなかった。L-アスコルビン酸含量は, 試験開始直後から3日後まで緩やかに低下し続けた。振動区および静置区では3日後までL-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

Table 1 Effect of simulated vibration on chemical components and firmness of broccoli

Components	Condition	Day 0	Day 1	Day 2	Day 3
Total soluble sugar (%)	non-vibration	3.1±0.2 ¹⁾	2.5±0.2	2.1±0.2	2.0±0.1
	vibration		2.3±0.1	1.8±0.1	1.9±0.1
L-Ascorbic acid (mg%)	non-vibration	140±22	136±23	131±27	105±12
	vibration		131±19	122±18	111±19
Chlorophyll (mg%)	non-vibration	68±3	66±2	67±4	63±2
	vibration		66±4	67±4	64±4
Stem firmness (g)	non-vibration	903±43	733±83	711±44	681±53
	vibration		735±53	698±57	672±66

1) mean±S.D. (n=5)

No significant differences were detected at 5% level between vibrated and non-vibrated samples.

査期間内はほとんど変化はなく、3日後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。

4. 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Fig. 2に示した。輸送中の容器内温度は輸送時間の経過とともに低下し、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。

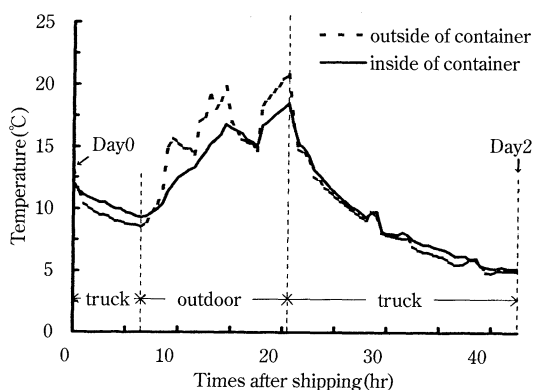


Fig. 2 Changes of temperature of broccoli container during actual truck transportation

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成分含量および品質に及ぼす影響をTable 2に示した。全糖含量は、振動区および静置区とも試験開始直後から3日後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。L-アスコルビン酸含量は両試験区とも2日後までは急速に、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4日後まではほぼ収穫時の状態を保持していた。茎硬度は、2日後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、可視的には静置区とほとんど差は認められなかった。総合鮮度は、振動区および静置区とも2日後までは市場出荷が可能な状態であり、4日後までは商品性を保持していた。

考 察

今回、1 tトラック上で発生した振動加速度は、そのほとんどが0.5~1.5Gと小さな値であった。また、多々良ら⁸⁾は10 tトラックで高速道路走行時に発生した振動を測定し、0.2~0.5Gであったと報告している。中村ら¹³⁾や中馬ら¹⁴⁾は6~10 tトラックが一般道路を0~40km走行時に発生する振動を測定し、0.4~2.4Gという値を得ている。車の大きさや走行速度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

Table 2 Effect of practical vibration by truck transportation on chemical components, firmness and freshness of broccoli

Components	Condition	Day 0	Day 2	Day 3	Day 4
Total soluble sugar (%)	non-vibration	1.5 ± 0.3 ¹⁾	1.2 ± 0.2	0.9 ± 0.3	0.9 ± 0.1
	vibration		1.0 ± 0.2	0.8 ± 0.1	0.7 ± 0.1
L-Ascorbic acid (mg%)	non-vibration	97 ± 18	65 ± 19	54 ± 19	49 ± 12
	vibration		70 ± 20	67 ± 18	46 ± 18
Chlorophyll (mg%)	non-vibration	46 ± 5	44 ± 3	41 ± 5	41 ± 5
	vibration		46 ± 4	43 ± 5	44 ± 5
Stem firmness (g)	non-vibration	829 ± 109	793 ± 42	677 ± 47	534 ± 70
	vibration		781 ± 69	693 ± 53	605 ± 57
Freshness ²⁾	non-vibration	4.0 ± 0.0	3.5 ± 0.0	2.9 ± 0.2	2.3 ± 0.3
	vibration		3.5 ± 0.0	2.9 ± 0.2	2.4 ± 0.2

1) mean ± S.D. (n = 5)

2) Score : 4 ; freshness at harvest, 3 ; freshness at wholesale, 2 ; fair, 1 ; edible, 0 ; inedible.

No significant differences were detected at 5% level between vibrated and non-vibrated samples.

年以上前よりさらに舗装された道路網の整備等によって、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 $30\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 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¹³⁾はトマトなどに1~2Gの定常振動を与えた場合、呼吸速度は振動処理中および処理後数時間経過しても上昇し続けたと報告している。この中で、傷害に至らない程度の許容域内であれば、呼吸速度の上昇は強度と回数による総刺激量に比例するとしている。今回回収し、再現した振動加速度はそのほとんどが0.5~1.5Gであり、最大でも2.4Gと傷害は全く認められず、許容範囲内であったと考えられる。しかし、ブロッコリーでは呼吸速度は振動開始後20分までは一律に上昇し総刺激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ほとんど一定であった。また、振動停止後も呼吸速度の上昇は認められず、1時間後には振動開始前の値まで低下した。多々良ら⁸⁾はイチゴに高速道路走行時に回収した0.2~0.5Gの振動加速度を再現させた場合、呼吸速度が上昇したのは振動開始後1時間までで、振動終了後は速やかに試験開始時の値まで低下したと報告している。また、劉ら⁹⁾はイチゴに0.5Gの定常振動を与えた場合、呼吸速度は振動処理後15分で最大値に達し、それ以降は上昇しなかったとしている。これらは、今回ブロッコリーで認められた現象とよく一致している。したがって、中村らが提唱した「呼吸速度の上昇は振動の総刺激量に比例する」という現象は、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には当てはまらないと推察される。

トマトやミカンでは、振動に伴う有機酸の変化が報告されているが^{5), 11)}、ブロッコリーでは10時間振動処理した場合でも全糖含量に及ぼす振動の影響は認められなかった。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約 $30\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 上昇するため、10時間振動を加えた場合では呼吸速度の総量は静置区に比べて約 $300\text{mgCO}_2/\text{kg}$ 多くなる。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時間呼吸したときに排出する二酸化炭素量にしか相当しない。さらに、この呼吸作用の基質としてブドウ糖が用いられたと仮定しても、糖含量は計算上0.02%減少するのみである。また、L-アスコルビン酸やクロロフィ

ルなど他の成分含量についても、ブロッコリーでは振動区と静置区との間に差は認められなかった。イチゴにおいても、輸送振動による成分含量の低下は認められていない^{8), 9)}。したがって、ブロッコリーやイチゴでは他の青果物と異なり、輸送振動が成分含量に及ぼす影響は僅少と思われる。

イチゴでは輸送振動が呼吸速度や成分含量に及ぼす影響では同様の傾向が認められた。振動によってオセやスレが発生し、外観品質や果皮の貫入抵抗値の低下が認められた^{8), 9)}のに対して、ブロッコリーでは茎硬度や花蕾の傷みなど外観品質についても輸送振動による影響は認められなかった。したがって、輸送振動がブロッコリーの品質に及ぼす影響は極めて少なく、これまで報告されてきたイチゴや他の青果物とは明らかに異なる結果となった。

実際に輸送試験を行った結果からも、成分含量の変化は振動区と静置区の間には統計的な差は認められなかった。以上のことから、実際の輸送振動がブロッコリーの成分含量および鮮度に及ぼす影響は僅少なため、トラックなどによる長距離出荷も事実上問題はないと思われる。

要 約

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成分含量に及ぼす影響を調査した。一般道路を1t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を超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量は、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時間振動処理した場合でも、また実際にトラック輸送した場合でも、全糖含量、L-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。

文 献

- 1) 中馬 豊・村田 敏・紀伊富夫：農機誌，32，47 (1970)
- 2) EAKS, I.L.: *Proc. Amer. Soc. Hort. Science.*, 78, 190 (1961)
- 3) SOMMER, N.F., MITCHELL, F.G., GUILLOU, R. and

- LUVISI, D.A.: *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **76**, 156 (1960)
- 4) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭：農機誌，**39**, 343 (1977)
- 5) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭：農機誌，**40**, 61 (1977)
- 6) 中村怜之輔・伊東卓爾：園学雑，**45**, 313 (1976)
- 7) 中村怜之輔・伊東卓爾・稲葉昭次：園学雑，**46**, 349 (1977)
- 8) 多々良泉・辻 聡宏・御厨初子・田中政信・劉 蛟艶・小島孝之・太田英明：日食保蔵誌，**25**, 15 (1999)
- 9) 劉 蛟艶：佐賀大修士論文 (1996)
- 10) 増田亮一・早川 昭・河野澄夫・岩元睦夫：食総研報，**52**, 36 (1988)
- 11) 中村怜之輔・伊東卓爾・稲葉昭次・今永 孝：園学雑，**55**, 99 (1986)
- 12) 池田浩暢・茨木俊行：福岡農総試研報，**17**, 104 (1997)
- 13) 中村怜之輔・伊東卓爾・阪部正博：岡山大農学報，**47**, 41 (1976)
- 14) 中馬 豊・村田 敏・安部武美・早川 功：農機誌，**29**, 82 (1967)
- (平成13年 3月26日受付，平成13年 9月10日受理)
-