香港への輸出において船舶・航空複合一貫輸送が 九州産イチゴ‘恋みのり’の果実品質に及ぼす影響

遠藤（飛川）みのり^{1,2*}・曾根一純¹・大石高也³・小林俊裕⁴・
松下孝一⁴・文 美玲⁴・佐藤優介⁴・田中慎司⁵

¹ 農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター 839–8503 福岡県久留米市御井町 1823–1

² 農業・食品産業技術総合研究機構西日本農業研究センター 765–8508 香川県善通寺市仙遊町 1–3–1

³ 大石産業株式会社 805–0068 福岡県北九州市八幡東区桃園 2–7–1

⁴ 日本通運株式会社 812–0034 福岡県福岡市博多区下呉服町 1–1

⁵ 株式会社ナックス 812–0016 福岡県福岡市博多区博多駅南 4–16–35

Effects of Sea and Air Transportation on Fruit Quality of Strawberry Cultivar ‘Koiminori’ Exported from Kyushu

Minori HIKAWA-ENDO^{1,2}, Kazuyoshi SONE¹, Takaya OISHI³, Toshihiro KOBAYASHI⁴,
Koichi MATSUSHITA⁴, MeiLing WEN⁴, Yusuke SATO⁴ and Shinji TANAKA⁵

¹ Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO, 1823–1, Miimachi, Kurume 839–8503, Japan

² Western Region Agricultural Research Center, NARO, 1–3–1, Senyu-cho, Zentsuji 765–8508, Japan

³ Oishi Sangyo Co., Ltd., 2–7–1, Toen, Yahatahigashi-ku, Kitakyushu 805–0068, Japan

⁴ Nippon Express Co., Ltd., Shimogofukumachi, Hakata-ku, Fukuoka 812–0034, Japan

⁵ NAX Co., Ltd., 4–16–35, Hakataekiminami, Hakata-ku, Fukuoka 812–0016, Japan

Abstract

The use of sea transportation is desirable for reducing the transportation cost of strawberry exports. However, because Kyushu does not have a large-scale container terminal, it is difficult to transport strawberries directly overseas by sea. Therefore, we examined the possibility of exporting strawberries from Kyushu by combining shipping with air transportation from Okinawa to the Asian continent. In a laboratory storage test, storage in modified atmosphere packaging for 10 days did not affect the fruit quality of strawberries. In a sea and air transportation test from Kyushu, the quality of ‘Koiminori’ fruits that were not stored in modified atmosphere packaging were similar to the quality of those transported by sea immediately after arrival in Hong Kong and higher than the quality of those transported by sea a few days after arrival. In addition, storage for 1 to 2 days during air-sea transshipment did not affect fruit quality after arrival in Hong Kong. The combination of sea and air transportation was superior to sea transportation alone in terms of shelf stability and flexibility of storage during transportation and was effective for the export of strawberry fruits from Kyushu to Asia.

Keywords: air transportation, ‘Koiminori’, logistics, sea transportation, strawberry

2019 年 9 月 18 日受付

2020 年 2 月 16 日受理

*Corresponding author: Minori Hikawa-Endo
(mhikawa@affrc.go.jp)

緒 言

九州における年間イチゴ収穫量は約 48,300 t に上り、わが国における総収穫量の 30 % を占める（作況調査（野菜）http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/, 2019 年 11 月 25 日参照）。生産されたイチゴの多くは関西、関東をはじめとする遠方の都市圏、および香港など海外へ出荷される。このうち海外への出荷、すなわち輸出は、わが国における人口減少による食品市場縮小、アジアにおける人口増加や所得向上による食品市場拡大を背景に、今後、重要性を増すことが期待される。

現在、わが国のイチゴの輸出において主たる輸送方法は、航空輸送である。航空輸送は輸送期間が 1 から数日間と迅速であるものの、量的輸送能力は低く、貨物の積載や荷下ろしの際に衝撃発生が多いうえ¹⁾、輸送コストも高い。イチゴの輸出拡大にあたり、果実品質を維持するとともに輸送コストを低減する目的から、これまでに、輸送期間が 1 から数週間と長い、衝撃発生が少なく輸送コストも低い海上輸送を可能にする新たなイチゴの包装形態や、‘恋みのり’などの流通適性が高いイチゴ品種が開発され、九州を中心に普及が進みつつある。新たな包装形態は、果実の損傷発生を抑制する包装容器と、果実の黒ずみを抑制する MA (Modified Atmosphere) 包装や十分な低温管理を利用するものであり、2 週間以上の期間にわたりイチゴの果実品質を維持することができる^{2,3)}。また、新品種‘恋みのり’は、流通中の損傷発生に関与する果実硬度や見かけ弾性率⁴⁾が、他の品種に比べ高い⁵⁾。ただし、九州は地理的にはアジアに近いものの、年間取扱コンテナ数が 100 万 TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) を超えるコンテナターミナルを有さないことから（港湾関係情報・データ No. 8 港湾別コンテナ取扱量 (TEU) ランキング (2017 年)。http://www.mlit.go.jp/statistics/details/port_list.html, 2019 年 9 月 13 日参照）、‘恋みのり’などの九州産イチゴを海上輸送により輸出するためには、あらかじめイチゴをアジアへは遠回りとなる関東、関西のコンテナターミナルへ陸送するか、抜港などによる遅延が生じやすい九州内の小規模コンテナターミナルを利用する必要があり、輸送工程および日数の増加によるイチゴの果実品質低下や、コスト増大を招きやすい。また、輸送期間が 1 から数週間と長い海上輸送では、日本国内の輸出業者と海外の輸入業者とが早期に商談を取りまとめる必要がある。輸送日数の増加に伴う商談スケジュールの逼迫は、関東、関西産イチゴに対する九州産イチゴの競争力を低下させることが懸念される。九州産イチゴの輸出をいっそう利便化するためには、既存の包装形態、品種に加え、九州から海外へ直接、迅速

に輸送する独自のロジスティクスが必要である。

沖縄県では、近年、わが国で唯一の国際物流拠点産業集積地域が発足するとともに、物流インフラの整備が進み、国内、国際貨物および航空、海上輸送貨物の積み替えに適した国際物流拠点が形成されている。九州内の一部の小規模コンテナターミナルから沖縄県までは内航船による定期航路が、沖縄県からアジアへは多数の国際航空路が運用されていることから、沖縄を経由した九州からアジアへの総輸送期間および総輸送コストは、それぞれ九州からアジアへの海上輸送、航空輸送の中間程度になると想定される。沖縄県を経由した国際複合一貫輸送を行うことで、九州外のコンテナターミナルからの海上輸送に対しより迅速かつ、九州内の空港からの航空輸送に対しより低コストに、九州産イチゴを輸出できることが期待される。一方、海上輸送と航空輸送を併用する複合一貫輸送（シー・アンド・エア輸送）は、近年では輸送コスト削減およびモーダルシフトや環境負荷の観点で注目され、国内外の特定航路が振興しているものの（Sea & Air 輸送の推進に関する調査・検討業務報告書。<http://www.mlit.go.jp/common/000040217.pdf>, 2019 年 9 月 13 日参照）^{6,7)}、わが国では工業製品における利用が主体であり、宮古島産マンゴーなどで検討された⁸⁾。他は、青果物における利用はほとんど見当たらない。本輸送方法では中継地点で貨物の積み替えを行うため、単純な海上、航空輸送に比べ積み替え回数が多いうえ、天候不順で航空機が欠航するなど、海上輸送した貨物の全量をただちに航空輸送できない場合は、海上輸送から航空輸送への積み替え時に数時間から数日間程度の待ち時間が発生する可能性が否定できないことから、流通中に品質が低下しやすい青果物では、利用が避けられてきたのであろう。すでに述べた通り、流通中にイチゴ果実に生じる損傷発生や黒ずみは、適切な包装形態、品種の選択や低温の維持により低減可能である²⁾。適切な包装形態や品種を使用するとともにコールドチェーンを維持することで、イチゴにおいても海上輸送と航空輸送を併用した複合一貫輸送が利用可能であることを実証できれば、関東、関西のコンテナターミナルから遠く海上輸出に不利な九州においても、イチゴ輸出における利便性を高められると考えられる。

本研究では、輸送性が高い九州産イチゴ‘恋みのり’に適する、低コストかつ迅速な新たな輸送方法を見出す目的で、第一に、‘恋みのり’の船舶・航空複合一貫輸送に適した包装形態を提示した。これまでに、海上、航空輸送を問わず、イチゴの輸出では、損傷発生を低減する包装容器の利用が必要であること、輸送期間が長い海上輸送では、包装容器に加え MA 包装の利用あるいは 0℃以下での低温管理が必要であることが知られる^{2,3)}。海上および航空輸送の両工程および中継地での積み替えを含む船舶・航空複合一貫輸送で

は、0℃以下の安定的な維持は困難と考えられるため、適正包装の必要性が特に高いと考えられるが、包装容器の利用は必須であることが想定されるものの、輸送期間が海上輸送より短い、航空輸送より長いことから、MA包装の必要性は不明である。そこで、複合一貫輸送を想定した貯蔵試験を行い、貯蔵後の果実品質から見たMA包装の必要性を検討した。第二に、提示した包装形態を用いて、九州内の小規模コンテナターミナルから沖縄県内の物流拠点を經由した、アジアへの九州産‘恋みのり’の船舶・航空複合一貫輸送を行い、本輸送方法が果実品質に及ぼす影響を明らかにした。第三に、本輸送方法において偶発が懸念される、海上輸送から航空輸送への積み替え時における短期間の貯蔵が、‘恋みのり’の果実品質に及ぼす影響を明らかにした。以上により、九州産イチゴ‘恋みのり’の輸出における船舶・航空複合一貫輸送の有効性を実証したので報告する。

材料および方法

1. 試験1 船舶・航空複合一貫輸送を想定した期間の貯蔵においてMA包装が‘恋みのり’の果実品質に及ぼす影響

試験には、福岡県広川町のイチゴ生産者が栽培した‘恋みのり’を供試した。2019年2月8日に収穫した果実をただちに九州沖縄農業研究センター（福岡県久留米市）の20℃程度に設定した実験室に持ち帰り、2Lサイズ（20g程度）の果実について、明らかな損傷があるものおよび奇形果を除いたのち、一部果実を取り出して果実品質を調査した。残った果実はすべて宙吊り型容器（ゆりかごCタイプ、大石産業株式会社）に1パック当たり9果入れた。宙吊り型容器の半数はMA包装（P-プラス、住友ベークライト株式会社）に入れ、残る半数は入れずに、4℃で貯蔵した。以下、MA包装した容器をMA包装区、しなかった容器を非MA包装区とする。貯蔵後2日目以降、15日目まで毎日、MA包装区については袋内、非MA包装区については袋外の大气に占める酸素および二酸化炭素の割合を、O₂/CO₂分析計（Check Point II, PBI-Dansensor）を用いてそれぞれ測定した。また、5、10日目に両試験区から2パックずつを、15日目に3パックずつを取り出し、MA包装および宙吊り型容器を開封し、イチゴの果実品質をパック毎に調査した。調査項目は果皮色（明度・彩度）、果皮硬度、果肉硬度、芯の硬度、見かけ弾性率および糖度とした。果皮色は色彩計（CR-13、コニカミルタ株式会社）を用いて測定した。測定箇所は瘦果を含む果実おもて面（最も色が濃い面）および裏面（おもて面の反対側の面）の中央部、色空間としてCIE

Fig. 1 Puncture force curve of strawberry fruit
F_{skin}: skin firmness, F_{flesh}: flesh firmness,
F_{bundle}: bundle firmness, X_{skin}: compression
depth at penetration.

L*a*b* 表色系を用い、両面のL*の平均値を明度、両面の $\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$ の平均値を彩度とした。果皮、果肉および芯の硬度は、果実おもて面中央部の瘦果を避けた位置について、材料試験機（EZ-SX、株式会社島津製作所）および専用ソフトウェア（TRAPEZIUM、株式会社島津製作所）を用いた貫入試験により測定した。ロードセルは10Nとし、既報⁹⁾に従い、ロードスピードは10 mm min⁻¹、貫入するプランジヤーの先端直径は3 mmとした。また、第1のピークを果皮硬度、次のボトムを果肉硬度、第2以降のピークのうち最大のものを芯の硬度とした。さらに、既報^{5,10)}に従い、貫入開始から果皮硬度までの変位を貫入変形量とし（Fig. 1）、以下の式により貫入変形量、果皮硬度、果径、プランジヤーの断面積から見かけ弾性率を算出した。

$$E = (F_{\text{skin}} \times X_{\text{fruit}}) / (X_{\text{skin}} \times A_p)$$

ここで、Eは見かけ弾性率（MPa）、F_{skin}は果皮硬度（N）、X_{fruit}は果径（mm）、X_{skin}は貫入変形量（mm）、A_pはプランジヤーの断面積（mm²）を示す。

糖度は糖度計（PAL-BX ACID4 マスターキット、株式会社アタゴ）を用いて測定した。

2. 試験2 船舶・航空複合一貫輸送が‘恋みのり’の果実品質に及ぼす影響

試験には、熊本県宇城市内のイチゴ生産者が栽培した‘恋みのり’を供試した。2018年3月6日に収穫した2Lサイズのイチゴ果実について、明らかな損傷があるものおよび奇形果を除いたうえで、ただちに宙吊り型容器（新ゆりかご、大石産業株式会社）に6～7果ずつ入れたのち、12パックずつ汎用A式段ボール箱に入れ、博多港コンテナターミナル（福岡県福岡市；以下、博多港）へ冷蔵トラックにて輸送した。3月8日に段ボール箱をパレットサイズして-1℃に設定した

Table 1 Transportation process in test 2.

Date (March 2018)	Sea transportation	Sea and air transportation
6	Harvesting and shipping (Uki, Kumamoto, Japan)	
7	Warehouse arrival (Fukuoka, Japan)	
8	Palletizing, vaning, shipment and departure from Hakata port (Fukuoka, Japan)	
15	Harvesting and shipping (Uki, Kumamoto, Japan)	
16	Warehouse arrival (Fukuoka, Japan)	
17	Palletizing, vaning, shipment and departure from Hakata port	
18	Arrival at Okinawa port (Naha, Okinawa, Japan)	
19	Aircraft loading procedure	
20	Arrival at Hong Kong port, transportation to warehouse and devanning (Hong Kong)	Loading on aircraft, departure from Naha airport (Naha, Okinawa, Japan), arrival at Hong Kong airport, radioactivity test and transportation to warehouse (Hong Kong)
21	Radioactivity test, fruit quality survey (1st time)	Fruit quality survey (1st time)
23	Transportation to retail store and fruit quality survey (2nd time)	
26	Fruit quality survey (3rd time)	

冷蔵コンテナ（fresh bank, 日通商事株式会社）に入れ、香港港コンテナターミナル（香港：以下、香港港）へ海上輸送し、以上を海上輸送区とした。同様に、3月15日に収穫した2Lサイズのイチゴ果実について、明らかな損傷があるものおよび奇形果を除いたうえで、宙吊り型容器に6～7果ずつ入れたのち、12パックずつ汎用A式段ボール箱に入れ、博多港へ冷蔵トラックにて輸送した。3月17日に1℃に設定した冷蔵倉庫内で段ボール箱をパレタイズしたのち、3℃に設定した冷蔵コンテナに入れ、ベンチレーションを閉め、沖縄港（沖縄県那覇市）へ海上輸送、3月19日に那覇空港（沖縄県沖縄市）から香港国際空港（香港）へ航空輸送し、以上を複合一貫輸送区とした。3月21日に、両試験区の果実を香港港および香港国際空港から1℃に設定した冷蔵倉庫（香港：以下、倉庫）へ冷蔵トラックにて輸送し、5時間以上貯蔵後、一部の果実を抜き取り、ただちに室温20℃、湿度52％程度の室内にて果実品質を調査した。また、3月23日に、残りの果実を倉庫から香港内の小売店へ冷蔵トラックにて輸送し、到着直後に一部の果実を抜き取り、ただちに室温23℃、湿度57％程度の室内にて果実品質を調査した。さらに残った果実は、7℃程度に管理された小売店の青果物用バックヤード内で貯蔵を続け、3月26日に回収後、ただちに室温24℃、湿度64％程度の室内にて果実品質を調査した。試験2における輸送工程をTable 1に示す。

調査項目は損傷発生面積割合、果皮色（明度、彩度）、果実硬度、糖度、酸度および萼の状態とした。損傷発生面積割合は果実全面におけるカビ、オセ（果実の自重により果実同士または果実と容器の接触面に生じる傷¹¹⁾）およびスレ（摩擦により果実同士または果実と容器の接触面に生じる傷¹¹⁾）の発生面積割合の合計とし、目視により評価した。果実硬度は、プッシュプルゲージ（RZ-1, アイコーエンジニアリング株式会社）に先端直径3mmのプランジャーを装着して貫入した際の最大抵抗値とし、貫入方向を90°変えて2回測定した平均値を用いた。酸度は、糖酸度計（PAL-BX ACID4 マスターキット, 株式会社アタゴ）により測定した。萼の状態は、目視により、明らかな褐変や枯損の有無を観察した。果皮色および糖度の調査方法は試験1に準じた。調査果数は調査日当たり6～30果とした。輸送中における衝撃加速度および温度は、容器内に設置した輸送振動計（G-MEN DR-10, 株式会社スリック）により計測した。

3. 試験3 船舶・航空複合一貫輸送における沖縄県内での短期間の貯蔵が‘恋みのり’の果実品質に及ぼす影響

試験には、熊本県玉名市内のイチゴ生産者が栽培した‘恋みのり’を供試した。2019年1月17日に収穫した2Lサイズのイチゴ果実について、明らかな損傷があるものおよび奇形果を除いたうえで、ただちに6～8果ずつ宙吊り型容器に

Table 2 Transportation process in test 3.

Date (January 2019)	No storage	1 day storage	2 days storage
17	Harvesting, fruit quality survey (1st time) and shipping (Tamana, Kumamoto, Japan)		
19	Warehouse arrival, fruit quality survey (2nd time), palletizing, vanning, shipment (Fukuoka, Japan)		
20	Departure from Hakata port (Fukuoka, Japan)		
21	Arrival at Okinawa port (Naha, Okinawa, Japan)		
	Aircraft loading procedure	Storage	Storage
	Loading on aircraft, departure from Naha airport (Naha, Okinawa, Japan), arrival at		
22	Hong Kong airport, radioactivity test, transportation to warehouse and fruit quality survey (3rd time) (Hong Kong)	Aircraft loading procedure	Storage
	Loading on aircraft, departure from Naha airport (Naha, Okinawa, Japan), arrival at		
23		Hong Kong airport, radioactivity test, transportation to warehouse and fruit quality survey (3rd time) (Hong Kong)	Aircraft loading procedure
	Loading on aircraft, departure from Naha airport (Naha, Okinawa, Japan), arrival at		
24	Transportation to retail store and fruit quality survey (4th time)	Transportation to retail store and fruit quality survey (4th time)	Hong Kong airport, radioactivity test, transportation to warehouse and fruit quality survey (3rd time) (Hong Kong)
	Transportation to retail store and fruit quality survey (4th time)		
25			
27	Fruit quality survey (5th time)		

入れたのち、8バックずつ汎用A式段ボール箱に入れ、博多港へトラック輸送した。1月19日に1℃に設定した冷蔵倉庫内で段ボール箱をパレット化したのち、3℃に設定した冷蔵コンテナに入れてベンチレーションを閉め、1月20日に沖縄港へ海上輸送した。沖縄港への発送時に一部の果実を抜き取り、ただちに室温20℃、湿度50%程度の室内にて果実品質を調査した。1月21日に沖縄港に到着した段ボール箱を3つに分け、1つは1月21日にただちに、1つは那覇市内で貯蔵したのち1月22日に、1つは同じく貯蔵したのち1月23日にそれぞれ香港国際空港へ航空輸送し、以降はそれぞれを0日貯蔵区、1日貯蔵区、2日貯蔵区とした。那覇市内での貯蔵は、4℃に設定した冷蔵倉庫内で行った。0日貯蔵区は1

月22日に、1日貯蔵区は1月23日に、2日貯蔵区は1月24日に、香港国際空港から1℃に設定した倉庫へ冷蔵トラックにて輸送したのち、一部の果実を抜き取り、ただちに室温22℃、湿度56%程度の室内にて果実品質を調査した。また、0、1日貯蔵区は1月24日に、2日貯蔵区は1月25日に、残りの果実を倉庫から香港内の小売店へ冷蔵トラックにて輸送し、7℃程度に管理された青果物用バックヤード内で貯蔵したのち、1月27日に全ての区について果実を抜き取り、ただちに室温23℃、湿度55%程度の室内にて果実品質を調査した。試験3における輸送工程をTable 2に示す。

調査項目は損傷発生面積割合、果皮色（明度、彩度）、果実硬度、糖度、酸度および萼の状態とし、調査方法は試

験2に準じた。調査果数は調査日、試験区当たり12～32果とした。輸送中における衝撃加速度および温度は、容器内に設置した輸送振動計（G-MEN DR-10, 株式会社スリック）により計測した。

すべての統計処理は、JMP ver. 8.0.2（SAS Institute Japan（株））を用いて行った。

結 果

1. 試験1 船舶・航空複合一貫輸送を想定した期間の貯蔵においてMA包装が‘恋みのり’の果実品質に及ぼす影響

貯蔵中のMA包装内大気に占める酸素および二酸化炭素の割合をFig. 2に示す。MA包装区における袋内大気は、貯蔵開始後、2～3日以内に酸素割合約18%、二酸化炭素割合約4%に達し、以降はおおむね安定した。一方、非MA包装区における袋外大気は、貯蔵中を通じ酸素濃度21%、二酸化炭素濃度0%であった。

貯蔵中における‘恋みのり’の果実品質をTable 3に示す。貯蔵後10日目までは、試験区による果皮色（明度、彩度）、硬度、見かけ弾性率および糖度の差異は認められなかった。一方、貯蔵後15日目では、非MA包装区はMA包装区に対し果皮および果肉硬度、見かけ弾性率が有意に低かった。貯蔵後15日目においても、果皮色、芯の硬度および糖度は試験区による差異が認められなかった。

2. 試験2 船舶・航空複合一貫輸送が‘恋みのり’の果実品質に及ぼす影響

輸送中における衝撃加速度および温度の変化をFig. 3に示す。輸送中の容器内温度は、複合一貫輸送区では約7

Fig. 2 O₂ and CO₂ ratio to atmosphere in Modified Atmosphere Packaging during storage. Vertical bars represent standard errors (n=3–7).

℃、海上輸送区では約0℃で推移した。また、いずれの試験区においても発送や船積、荷揚げ時に最大15～25 G程度の衝撃加速度が観察されたほか、複合一貫輸送区では沖縄での積み替え時にも最大3 G程度の衝撃加速度が観察された。

輸送後におけるイチゴ果実の損傷発生面積割合、果皮色、果実硬度、糖度および酸度の変化をFig. 4に示す。倉庫および小売店到着時には、損傷発生面積割合、果皮色、果実硬度、糖度および酸度について、試験区間に差異は認められなかった。小売店での貯蔵後には、いずれの試験区においても損傷発生面積割合が増加、果実硬度が低下したが、複合一貫輸送区では海上輸送区に対し、増加後の損傷発生面積割合は低く、低下後の果実硬度は高かった。また、小売店での貯蔵後は、海上輸送区では糖度が低下、酸度が増加したが、複合一貫輸送区では糖度及び酸度の変化は認められなかった。

萼の状態をFig. 5に示す。倉庫および小売店到着時に

Table 3 Fruit quality of 'Koiminori' in storage assuming sea and air transportation.

Day after storage	Treatment	n	Skin color		Firmness (N)			Apparent modulus of elasticity (MPa)	Brix (%)
			Brightness	Chroma	Skin	Flesh	Bundle		
0	—	2	42.7	38.8	1.52	0.58	3.18	3.57	9.1
5	MAP	2	47.6	37.3	2.06	0.82	3.61	4.75	9.3
	Non-MAP	2	45.9	38.5	1.71	0.70	3.31	4.17	8.8
10	MAP	2	46.5	36.5	2.03	0.85	3.91	4.65	9.2
	Non-MAP	2	46.1	36.9	1.86	0.71	3.75	4.08	9.0
15	MAP	3	42.2	39.0	2.11	0.90	3.90	4.45	8.9
	Non-MAP	3	41.7	39.9	1.85	0.73	3.18	3.76	8.9

** and * represent significant differences among the treatments at $p < 0.01$ and 0.05 , as determined by ANOVA.

Fig. 3 Temperature and impact acceleration during transportation in test 2.

Fig. 4 Fruit quality of strawberries transported by sea and air or sea transportation
Vertical bars represent standard errors. Different letters represent significant differences among the transportations at $p < 0.05$, as determined by Kruskal-Wallis test (damaged area ratio) or the Tukey HSD test (others; $n=6-30$).

は、いずれの試験区においても苺の褐変、枯損は認められなかった。小売店での貯蔵後には、複合一貫輸送区では苺の状態には変化が認められなかった一方で、海上輸送区では、半数程度の果実において苺に乾燥に伴う褐変が認めら

れた。

3. 試験 3. 船舶・航空複合一貫輸送における沖縄県内での短期間の貯蔵が‘恋のり’の果実品質に及ぼす影響

輸送中における衝撃加速度および温度の変化を Fig. 6 に示す。海上、航空輸送中における衝撃発生及び温度変化は試験 2 とおおむね同様であった。また、1, 2 日貯蔵区では、沖縄での貯蔵中における衝撃発生は皆無であったものの、貯蔵前後に最大 9 G 程度の衝撃が発生したほか、輸送中は約 4℃ であった容器内温度が貯蔵開始時にただちに約 6℃ に上昇し、その後約 5℃ まで緩やかに下降した。

イチゴ果実の損傷発生面積割合、果皮色、果実硬度、糖度および酸度の変化を Fig. 7 に示す。統計処理は 1 月 24 日 (0, 1 日貯蔵区は小売店到着時, 2 日貯蔵区は倉庫到着時), 27 日 (全試験区ともに小売店での貯蔵後) について行った。1 月 24, 27 日ともに、試験区間による損傷発生面積割合、果皮色 (彩度), 果実硬度, 糖度および酸度の差異は認められなかった。果皮色 (明度) は 0 日貯蔵区では 1 月 24 日から 27 日にかけて増加, 2 日貯蔵区では減少し, 27 日には沖縄県内での貯蔵期間が長い試験区ほど高かった。果実硬度は 1, 2 日貯蔵区では 1 月 24 日から 27 日にかけて減少したが, 27 日も試験区間における差異は認められなかった。また、いずれの試験区においても苺の外観変化は認められなかった (データ略)。

考 察

海上輸送と航空輸送を併用した複合一貫輸送は、海上輸送の低コスト性と航空輸送の迅速性を併せ持ち、世界的には約半世紀の歴史を持つ⁶⁾。しかしながら、輸送中に品質が低下しやすい青果物における利用は少なく、イチゴにおける検

Fig. 5 Appearance of strawberry fruits transported by sea and air or sea transportation
Arrows indicate brown calyx by drying.

Fig. 6 Temperature and impact acceleration during transportation in test 3.

討は皆無である。本研究では、船舶・航空複合一貫輸送に適するイチゴの包装形態を提示するとともに、本輸送方法が九州からアジアへのイチゴの輸出において品質保持上有用であることを実証した。

複合一貫輸送を想定した貯蔵試験（試験1）の結果、

MA 包装は貯蔵に伴う‘恋みのり’果実の見かけ弾性率の低下防止に有効であったが、果皮色、果皮、果肉および芯の硬度、糖度には影響しなかった（Table 1）。また、見かけ弾性率の低下防止効果も、貯蔵後15日目までは認められず、九州からアジアへの船舶・航空複合一貫輸送の輸送期間に相当する数日から1週間程度範囲では、MA 包装の利用の有無による、見かけ弾性率を含む果実品質の明確な差異は認められなかった。見かけ弾性率は、果皮硬度に比べ貯蔵中における低下開始が早いことから、貯蔵中における果実品質の低下程度の評価指標として適し¹²⁾、これまでのところ、見かけ弾性率以上に感度の高い果実品質の低下程度の評価指標は見出されていない。以上より、MA 包装は‘恋みのり’の果実品質維持に有効であるものの、九州からアジアへ複合一貫輸送する場合には、輸送期間が短く十分な品質維持効果を得られないことから、不要であると考えられた。

試験1を踏まえ、MA 包装を利用せず、損傷を低減する包装容器のみを利用して、九州から香港まで‘恋みのり’の船舶・航空複合一貫輸送を実証し、海上輸送と比較した（試験2）。複合一貫輸送は収穫から倉庫到着までの日数が6日間と、海上輸送に対し9日間短く、迅速であったものの、中継地での積み替え時および航空輸送の前後に、衝撃加速度が3 G 程度の衝撃が発生した（Fig. 3）。しかしながら、香港到着直後における損傷発生は軽微であり、果皮色、果実硬度、糖度ともに、海上輸送と同程度であった。むしろ、着荷数日後には、複合一貫輸送した果実は海上輸送した果実に対

Fig. 7 Fruit quality of strawberries transported by sea and air transportation

Vertical bars represent standard errors. Different letters represent significant differences among the transportations at $p < 0.05$, as determined by Kruskal–Wallis test (damaged area ratio) or the Tukey HSD test (others; $n = 12\text{--}32$).

し損傷発生面積割合が低く、果実硬度も高いなど、高い果実品質を維持することが明らかになった (Fig. 4, 5)。イチゴ果実の貯蔵過程では、果実硬度はただちに低下しないものの¹²⁾、果実硬度の関与物質であるペクチン¹³⁾は徐々に変質し、貯蔵条件や貯蔵前の処理条件により、異なる組成比を示すことが知られる¹⁴⁾。輸送期間が長い海上輸送では、時間経過に伴いペクチンの変質や疲労の累積、微生物の繁殖などが進行し、輸送後の短期間に品質低下および軟化に伴う損傷を生じやすい一方で、輸送機関が短い船舶・航空複合一貫輸送を利用することで本現象を回避できる可能性がある。今後、輸送中の成分変化や累積疲労、微生物の繁殖などが着荷後の品質低下に及ぼす影響について詳細に検討する必要がある。

船舶・航空複合一貫輸送において偶発が懸念される、海上輸送と航空輸送の積み替えに際する短期間の貯蔵および貯蔵前後の衝撃発生は、果皮色を除くイチゴの果実品質に対し明確な影響を及ぼさなかった (試験3; Fig. 7)。前澤・秋元は、5℃以下で6時間以上予冷し、果実硬度を上昇させたイチゴ果実において、予冷終了後に果実硬度が徐々に低下する様子を報告している¹⁵⁾。試験3では、船舶・航空複合一貫輸送では、輸送工程の性質上、中継地での積み替えに際する温度上昇および衝撃発生は、いずれも6時間以上にわたる低温遭遇の直後に発生した。航空輸送に比べ輸送期間が長い複合一貫輸送では、海上輸送期間および積み替え時の貯蔵期間が、イチゴ果実に予冷による果実硬度上昇効果をもたらすこと、および海上輸送または積み替え時の貯蔵期間終了から、積み替え前による温度上昇、衝撃発生

直前までの期間が比較的短いことが、積み替えによる衝撃や温度変化の影響による品質低下を抑制している可能性がある。予冷終了後の果実硬度低下は、0～15℃の範囲では、予冷温度が低温であるほど緩やかである¹⁵⁾。商取引の観点からは、積み替えに際し、一時的な貯蔵を行わないことが理想的ではあるものの、やむを得ず貯蔵する場合は、あらかじめ適切な包装や品種を用いるとともに、十分な低温条件下で貯蔵することで、イチゴの品質低下を防ぐことが可能であると考えられる。

以上により、海上輸送に対し迅速な船舶・航空複合一貫輸送が、九州産イチゴのアジアへの輸出に有用であることが実証された。本試験結果から、複合一貫輸送は、輸送後のイチゴの棚もち性が高い点において、海上輸送に対し優位であるだけでなく、海上輸送から航空輸送への積み替えに際し1～2日間程度の貯蔵を行うことができる可能性があり、一定の利便性を有するイチゴの輸送方法であるといえる。現在、九州からアジアへの船舶・航空複合一貫輸送は、博多港発沖縄経由だけでなく、鹿児島港発沖縄経由を始めとする航路でも取り組みが始まりつつある。大規模コンテナターミナルを有さず海上輸送に不利な九州のイチゴ産地では、各地の小規模コンテナターミナルおよび本輸送方法を活用することで、低コストなイチゴ輸出を実現することができると考えられる。なお、複合一貫輸送を利用する九州産イチゴの輸出業者は、海上輸送に有利な関東、関西のイチゴ産地に対しては、輸送後の棚もち性において差別化を図るとともに、輸出先国のイチゴ販売小売店に対し、海上輸送したイチゴと複合一貫輸送したイチゴの棚もち性の差異の理解を促し、適切な販売順序

や販売形態を考案する必要がある。イチゴにおける船舶・航空複合一貫輸送の活用促進に向けては、このような認識の共有が求められる。

摘 要

イチゴ輸出にかかる輸送コスト低減のため、海上輸送の利用が望まれている。一方、九州は大規模コンテナターミナルを有さないことから、海上輸送により直接海外へイチゴを輸送することは困難である。そこで、九州からアジアへのイチゴ輸出における、沖縄を経由した船舶・航空複合一貫輸送の利用可能性を検討した。事前の室内貯蔵試験により、Modified Atmosphere 包装は10日以内にはイチゴ‘恋みのり’の果実品質に影響を及ぼさなかった。実際に、MA包装を利用せず九州産‘恋みのり’を香港へ複合一貫輸送したところ、香港到着直後には海上輸送と同程度の、到着数日後には海上輸送以上の果実品質を示すことが明らかになった。また、海上輸送から航空輸送への積み替え時における1～2日間の貯蔵も、香港到着後の果実品質には影響しなかった。以上より、九州からアジアへの船舶・航空複合一貫輸送は、棚もち性の観点からは海上輸送に対し優れること、輸送中の一時貯蔵も可能であり一定の融通性を有することなどから、イチゴの輸出に有効であることが示された。

謝 辞

本研究は、平成28年度革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）「イチゴの省エネ栽培・収量予測・低コスト輸送技術の融合による販売力・国際競争力の強化」により実施した。また、イチゴ生産者の山下陽市氏、株式会社まるむね、熊本宇城農業協同組合の皆様よりイチゴ果実をご提供いただいた。研究の遂行全般においては、AEON Stores (Hong Kong) Co., Limited, AEON TOPVALU (HONG KONG) Co., Limited および香港日本通運株式会社の皆様、イオン九州株式会社の福山博久氏に多大なるご協力をいただいた。記して深く感謝の意を表します。

引用文献

1) 石川 豊, 北澤裕明, 今野 勉. 航空便と船便による果実輸出中に発生する衝撃比較. 日本食品保蔵科学

会誌. 39: 25–30. 2013.

- 2) 遠藤（飛川）みのり, 曾根一純. 航空便および船便輸送において新型包装容器および MA 包装がイチゴ果実にもたらす損傷低減効果の評価. 園芸学研究. 16: 95–104. 2017.
- 3) 遠藤（飛川）みのり, 曾根一純, 大石高也, 小林俊裕, 文 美玲, 佐藤優介, 田中慎司. 0℃以下での海上輸送によるイチゴ輸出の可能性. 園芸学研究. 18(別2): 494. 2019.
- 4) 遠藤（飛川）みのり, 曾根一純. 輸送による損傷発生との関係性および遺伝的特性からみた見かけ弾性率のイチゴの選抜指標としての利用可能性. 育種学研究. 21: 20–27. 2019.
- 5) 遠藤（飛川）みのり, 曾根一純, 藤田敏郎, 森下昌三. イチゴ果実における見かけ弾性率の貯蔵, 収穫時期による変化および遺伝資源評価. 農研機構研究報告九州沖縄農業研究センター. 67: 1–14. 2018.
- 6) 岡田夕佳. シー・アンド・エア輸送と港. 池上 寛編, 『アジアにおける海上輸送と主要港湾の現状』調査研究報告書. 日本貿易振興機構アジア経済研究所, 千葉. 19–28. 2012.
- 7) 大北勝久, 雨宮 孝. 複数モードを利用した国際複合一貫輸送システムの最適化のための基礎的考察. 経営情報研究. 18(1): 93–114. 2010.
- 8) 広瀬直人, 前田剛希, 宮城聡子, 照屋 亮, 大城良計. 宮古島産マンゴーの船舶・航空複合輸送試験. 沖縄県農業研究センター研究報告. 5: 32–38. 2011.
- 9) 門馬信二, 上村昭二, 吉川宏昭. イチゴ果実の硬さ測定法と品種間差異. 野菜試験場報告 B. 1: 1–11. 1977.
- 10) 望月龍也, 稲川 裕, 船倉栄一郎, 野口裕司, 曾根一純. 促成イチゴ果実における日持ち性の評価方法と品種間差異. 野菜・茶業試験場研究報告. 16: 1–7. 2001.
- 11) 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. 輸送過程で発生する振動がイチゴの呼吸速度および品質に及ぼす影響. 日本食品保蔵科学会誌. 25: 15–20. 1999.
- 12) Kohyama K, Masuda T, Shimada H, Tanaka T, Wada Y. A simple mechanical index of storage quality of strawberry fruits. Rep. Nat'l Food Res. Inst. 77: 1–11. 2013.
- 13) 柏崎 勝, 永末 健, 五月女英平, 中島教博, 大森定夫. イチゴ果実硬度の非破壊測定に関する基礎的研究（第2報）. 農業機械学会誌. 71: 90–97. 2009.
- 14) 余 小林, 邨田卓夫. イチゴ果実貯蔵中の品質変化に及ぼす高温処理の影響. 日本食品低温保蔵学会誌. 20: 169–174. 1994.
- 15) 前澤重禮, 秋元浩一. イチゴ果実のポストハーベスト品質に及ぼす収穫熟度と予冷条件の影響. 岐阜大学農学部研究報告. 60: 65–73. 1995.