

宮古島産マンゴーの船舶・航空複合輸送試験

誌名	沖縄県農業研究センター研究報告 = Bulletin of the Okinawa Prefectural Agricultural Research Center
ISSN	18829481
著者名	広瀬,直人 前田,剛希 宮城,聡子 照屋,亮 大城,良計
発行元	沖縄県農業研究センター
巻/号	5号
巻号補足	
掲載ページ	p. 32-38
発行年月	2011年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



宮古島産マンゴの船舶・航空複合輸送試験

広瀬直人¹・前田剛希²・宮城聡子²・照屋亮¹・大城良計¹

¹ 沖縄県農業研究センター農業システム開発班

〒901-0336 沖縄県糸満市真壁 820 番地

² 沖縄県農業研究センター宮古島支所

〒906-0012 沖縄県宮古島市平良西里 2071-40

Composite Transportation Tests Using Ships and Airplanes for Mango Produced on Miyakojima Island

Naoto Hirose¹, Goki Maeda², Akiko Miyagi²,
Ryo Teruya¹ and Yoshikazu Ooshiro¹

¹Okinawa Prefectural Agricultural Research Center,
820, Makabe, Itoman city, Okinawa 901-0336, Japan

²Okinawa Prefectural Agricultural Research Center Miyakojima Branch,
2071-40, Nishizato, Hirara, Miyakojima city, Okinawa 906-0012, Japan

Abstract

Using ships and airplanes, we performed composite transportation tests on mango fruits produced on Miyakojima Island. Mango fruits were stored at 20° C after being harvested until they were brought to the port, at 25° C during the marine transport from Miyakojima Island to Naha, and at room temperature during the air transport from Naha to Miyakojima Island that simulated transportation from Naha to the consuming region. Although composite transportation using ships and airplanes took a maximum of six days to reach the consuming region, use of fruits that were harvested when part of the fruit began to turn scarlet demonstrated that mango fruits of the same maturity can be delivered to the consuming region as in the conventional case, where fruits are harvested when the entire fruit surface is scarlet and then transported by airplane (transportation period of three days). Furthermore, no significant difference was observed between the quality of the juice from the fruits harvested when part of the fruit began to turn scarlet and subsequently matured further and that of fruits harvested when the entire surface appeared scarlet. Thus, it is possible to maintain a low degree of maturity when arriving at the consuming region.

Keywords: Degree of maturity, Pericarp color

緒 言

マンゴはリゾート沖縄を象徴する高級熱帯果実として全国 1 位（平成 19 年度，沖縄県農林水産部，2010）の生産量を誇り，沖縄ブランドの推進に大きく寄与している。なかでも宮古島地域は沖縄県におけるマンゴ生産量の 1/4 を占め（沖縄県農林水産部，2009），2009 年には宮古島市が拠点産地に認定されるなど，沖縄県におけるマンゴの主要な産地である。

宮古島では例年 6 月下旬から 7 月上旬に「アーウィン」種マンゴの出荷ピークを迎えるが，島外への出荷は主に航空輸送に頼っており，大都市消費地向けに出荷されるマンゴのほとんどは，宮古島から那覇を中継して消費地まで常温にて航空輸送されている。そのため，「宮古島－那覇」間の使用機材が小型のボーイング 737 型機である 7 月上旬までは，航空貨物輸送能力の限界によ

る滞貨が大きな課題となっている。2009 年度の宮古島におけるマンゴ生産量は 350t であったが，3 年後の 2012 年度には倍増の 680t が見込まれ（宮古農林水産振興センター，2009），航空輸送能力の問題は，今後更に深刻化することが予想される（図 1）。

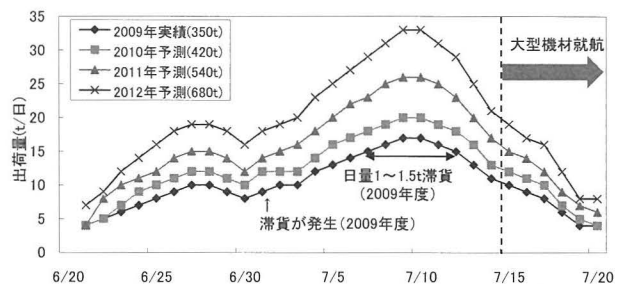


図 1 宮古島マンゴの出荷予測（平成 21 年度宮古農林水産振興センター資料より改変）

本研究では、低コストかつ高鮮度保持輸送技術の開発を目的として、航空輸送の障害となる「宮古島－那覇」間の輸送手段を船舶輸送に置き換え、次いで那覇から消費地までを従来どおり航空輸送とする、船舶・航空複合輸送について検討した。

実験材料および方法

供試材料

マンゴーは試験当日早朝に宮古島で収穫された「アーウィン」種を用いた。室内試験では収穫当日午前中に那覇まで常温で航空輸送して農研センター本所に搬入し、輸送試験では農研センター宮古島支所に直接搬入して試験に供した。収穫時期は宮古島で主流である「果実全体に鮮紅色が出た段階」を「全果鮮紅色区」とし、これよりも2～3日収穫時期が早い（沖縄本島地域で一般的である）「果実の一部に鮮紅色が出始めた段階」で収穫した果実を「部分鮮紅色区」とした。なお、室内試験、輸送試験共に同一の生産者より供試果実を調達し、熟度が異なる果実や病害発生果実を除いて、室内試験では各試験区あたり30個、輸送試験では20個を供試した（表1）。

表1 供試果実の概要

試験区分	収穫日	収穫時期	供試 個数	果実重量 (g)	非破壊糖度 (Brix)
室内試験					
船舶・航空複合輸送区 (+3日区)	2010年6月13日	全果鮮紅色	30	395±60	9.3±1.0
		部分鮮紅色	30	402±57	8.5±1.5
(+2日区)	2010年6月14日	全果鮮紅色	30	377±63	8.1±1.9
		部分鮮紅色	30	421±39	6.8±1.6
(+1日区)	2010年6月15日	全果鮮紅色	30	391±67	8.7±1.7
		部分鮮紅色	30	410±77	7.6±2.1
航空輸送区	2010年6月16日	全果鮮紅色	30	365±48	9.2±2.0
輸送試験					
船舶・航空複合輸送区 (+3日区)	2010年6月23日	全果鮮紅色	20	405±34	
		部分鮮紅色	20	401±57	
(+2日区)	2010年6月24日	全果鮮紅色	20	432±72	
		部分鮮紅色	20	445±55	
(+1日区)	2010年6月25日	全果鮮紅色	20	403±74	
		部分鮮紅色	20	465±62	
航空輸送区	2010年6月26日	全果鮮紅色	20	407±66	
※果実重量および非破壊糖度は、平均値±標準偏差で示した。 空欄は、未測定。					

船舶・航空複合輸送モデル

宮古島から那覇までの船舶便は、現行では火、木および土曜日の週三便運行されており、宮古（平良港）を早朝に出港して石垣を経由し、翌日早朝に那覇到着となる。従って、出港前日の月、水および金曜日に収穫した果実は翌日、火、木および日曜日に収穫した果実は2日後の出港、土曜日に収穫した果実では3日後の火曜日までの出港待機時間が発生し、出荷翌日には消費地に到着可能な航空輸送に対して1～3日間、輸送に要する日数が増加する（表2）。そこで、試験区の構成は、「航空輸送」を対照（慣行）区として、「船舶・航空複合輸送」区は「+3日（2日間出港待ち）」、「+2日（1日間出港待ち）」および「+1日（収穫翌日出港）」と試験区を設定した。また、「船舶・航空複合輸送」については、輸送日数の増加に対処する目的で、果実の収穫時期を慣行の「全果鮮紅色区」に加えて、それよりも数日収穫が早く追熟日数に余裕が見込まれる「部分鮮紅色区」を設定した。

船舶輸送の温度設定は低温障害を回避できる15℃以上の温度帯が望ましいが（広瀬・前田，2004a），25℃以下では常温暴露時に結露のリスクが生じる（広瀬・前田，

表2 輸送スケジュールモデル

		船舶・航空複合輸送 予想されるスケジュール			航空輸送 実際の スケジュール
		収穫後2日待	収穫後1日待	収穫翌日出港	
		収穫	出荷	収穫	
1日目	朝 昼 夕方 夜	収穫			収穫 出荷 宮古→那覇 (航空輸送)
2日目	朝 昼 夕方 夜		収穫		
3日目	朝 昼 夕方 夜	コンテナにて 20℃保存	出荷	収穫	那覇→消費地 (航空輸送) 販売 消費者着
4日目	朝 昼 夕方 夜		コンテナにて 20℃保存	出荷	
5日目	朝 昼 夕方 夜	宮古発 25℃船舶輸送 那覇港着 那覇港→那覇空港(横持ち) 那覇→消費地 (航空輸送)			
6日目	朝 昼 夕方 夜	那覇港着 那覇港→那覇空港(横持ち) 那覇→消費地 (航空輸送) 販売 消費者着			

2004b)．そこで、出港待ちの保管温度を20℃設定として速やかな品温低下を図り、続く船舶輸送（約1日間）を25℃設定として、輸送終了後の常温暴露による結露発生防止を図った。一方、航空輸送および常温保管時の温度設定は、同時期の輸送試験におけるデータを参考に30℃とした（広瀬・前田，2008）。表3に室内試験における温湿度の実測値（平均）を示す。

表3 室内試験における温湿度条件

	温度(℃)			湿度(%)		
	平均	最高	最低	平均	最高	最低
20℃設定	20.4	21.3	19.6	89	97	63
25℃設定	25.2	25.8	24.4	92	97	78
常温	27.7	28.6	27.3	89	91	84

※コンテナ内温度の変更(20℃から25℃へ)に要した時間は2時間50分であった。

室内試験

宮古島からの船舶・航空複合輸送を模した室内試験は、2010年6月13日～20日に実施した（表4a）。20℃および25℃の保管には低温コンテナ(CRB-800, ヤンマー)を、常温保管には30℃設定の空調室を用いた。果実は出荷時および消費地到着時における外観（重量減少率、熟度の進行、病害の発生程度および果皮色の変化）、および果実品質（糖度、酸度、果汁色調、糖および有機酸組成）の変化を比較した。また、消費地到着時には20～50歳

表4a 船舶・航空複合輸送実施日程（室内試験）

日程		船舶・航空複合輸送区			航空輸送区
		+3日区	+2日区	+1日区	
6/13	朝 昼 夜	収穫 評価 20℃保管			
6/14	朝 昼 夜		収穫 評価 20℃保管		
6/15	朝 昼 夜			収穫 評価 20℃保管	
6/16	朝 昼 夜	保管温度を20℃から25℃に変更 25℃保管			収穫 評価 常温保管
6/17	(終日)	常温保管			
6/18	昼	(消費地到着時)品質評価			
6/19	(終日)	常温保管			
6/20	昼	追跡評価			

代の男女8名による食味評価を実施し、果皮や果肉の香り、色および食味について、試料名を伏せて5段階に評価した。消費地到着後の果実は2日間常温で保存し、果実の状態変化を追跡調査した。なお、外観評価には12個、果実品質の測定には出荷時、消費地到着時および到着2日後に各6個、食味評価には外観と果肉の評価にそれぞれ3個の果実を供試した。

船舶・航空複合輸送試験

室内試験と同様に、宮古島での出港待ちにおける保管温度を20℃に設定し、宮古島から那覇間を25℃設定の船舶輸送、那覇から大都市消費地間の航空輸送を模して那覇から宮古島間を温度指定無し（常温）で航空輸送した試験を2010年6月23日～29日に実施した（表4b）。船舶輸送には20ftのリーファーコンテナを用い、船舶・航空複合輸送における港－空港間の移送は25℃とした。コンテナの温度設定変更は設定変更ミスや漏れが無いよう船積み時とした。果実は出荷時および到着時における外観（重量減少率、熟度の進行、病害の発生程度および果皮色の変化）、および果実品質（糖度、酸度、糖および有機酸組成）の変化を比較した。また、消費地到着時には20～60歳の男女25名による食味評価を実施し、果実の外観、香りおよび食味について、試料名を伏せて5段階に評価した。なお、外観評価には12個、果実品質は出荷時および消費地到着時に各6個、食味評価には外観および果肉の評価にそれぞれ3個の果実を供試した。

表4b 船舶・航空複合輸送実施日程（輸送試験）

日程		船舶・航空複合輸送区			航空輸送区
		+3日区	+2日区	+1日区	
6/23	朝	収穫/評価 港に搬入 20℃保管 ↓	収穫/評価 港に搬入 20℃保管 ↓		
	夜				
6/24	朝				
	昼				
6/25	夜			収穫/評価	
	朝			港に搬入	
6/26	昼			20℃保管	
	夜				
6/27	朝	コンテナ温度を20℃から25℃に変更			収穫/評価
	昼	宮古→那覇船舶輸送 琉球海運「みやらび」 06:00宮古出港 石垣経由			空港搬入 宮古→那覇 航空輸送
6/28	夜				5℃保管
	朝	港から空港へ25℃で輸送			
6/29	昼	那覇→宮古・航空輸送			
	夜	常温保管			
6/28	(終日)				
6/29	(消費地到着時)品質評価				

測定方法

1) 温湿度および果実品温

温湿度はデータロガー（TR-72U, T&D）を用いて10分間隔で測定した。輸送試験では温湿度センサーを出荷箱外に露出させ、測定した値を環境温湿度とした。果実品温は小型防水温度データロガー（TR-52S, T&D）を用い、温度測定用プローブを果実中央部に挿入して10分間隔で測定した。

2) 果実熟度

果皮表面のブルーム消失とワックス発生を指標に5段

階（1:果面全体にブルームあり、2:果面の半分にブルームが残る、3:ブルームおよびワックス無し、5:果面の半分にワックスが発生、5:果面全体にワックスが発生）で目視評価した。

3) 炭疽病の発病度

果実表面に発生した病斑の個数と直径を指標に4段階（0:発生無し、1:2mm以下の病斑が2個以下、2:2mm以下の病斑が3～6個又は2～5mmの病斑が1個、3:それ以上）で目視評価し、井手・田代（2004）の方法により発病度を計算した。発病度換算式は「発病度＝（Σ（目視評価×評価別果数）／（調査果数））×100」である。

4) 果皮および果汁の色調

果皮色は果実赤道部の一点を分光測色計（CM-2600d, コニカミノルタ）でSCI（正反射光を含む）測定し、L*a*b*表色系で評価した。また、光沢の評価にはSCI/SCE同時測定による相対グロス値を用いた。果汁色は、可食部をプレス搾汁して不織布で濾した果汁を光路長1cmのガラスセルに入れ、透過反射光を分光測色計でSCI測定してL*a*b*表色系で評価した。

5) 糖度および酸度

非破壊的な果実糖度の測定には反射式近赤外分光分析計（TD-2000C, 東和電機）を用い、果実赤道部の一点を測定した。糖度および酸度は、可食部をプレス搾汁して不織布で濾した果汁を測定試料とした。糖度の測定には光屈折式デジタル糖度計（APAL-J, アタゴ）を用いた。酸度は藤原ら（2000）の報告を参考に、電気伝導度測定法により測定した。すなわち、蒸留水で100倍に希釈した果汁の電気伝導度を導電率計（B-173, 堀場製作所）で測定し、クエン酸酸度として算出した。

6) 糖組成及び有機酸組成

糖及び有機酸組成の分析はHPLC法によった。果汁に2倍量のエタノールを加えて遠心分離（2,000 G, 10分間、室温）し、得られた上清を50%エタノールで4倍に希釈した後に0.45 μmのメンブレンフィルターでろ過してAsahipak-NH2P-50カラムと蒸発光散乱検出システム（ELSD-LT, 島津製作所）を装備したHPLCによる糖組成分析に供した。また、果汁を移動相（5mM p-トルエンスルホン酸）で20倍希釈してメンブレンフィルターろ過し、分析Shim-pack SPR-Hカラムを装備したHPLCによる有機酸分析（pH緩衝化法有機酸分析システム, 島津製作所）に供した。

7) 呼吸速度

密閉雰囲気中における単位時間当たりの二酸化炭素濃度上昇を赤外線ガス分析計（CGT-7000, 島津製作所）で測定した。すなわち、25℃の室温中でマンゴー1個を9.7L容のデシケーターに入れて密閉し、45分間置いた後にデシケーター内雰囲気中の二酸化炭素濃度の増加を測定した。なお、測定には3個の果実を供した。

結果および考察

室内試験

船舶・航空複合輸送と同様の条件下でマンゴーを保管し、船待ち日数や収穫時熟度などの輸送条件が消費地到着時の果実品質に及ぼす影響を検討した。

1) 果実外観

収穫時および消費地到着時の果実外観を比較した結果

を表5に示す。果実外観の果実重量の減少は輸送所要日数の増加と共に増大傾向にあったが、いずれも2%以下と低く、果実表面の萎凋などは認められなかった。また、収穫時の熟度による影響は観察されなかった。

消費地到着時の熟度は、全果鮮紅色収穫では船舶・航空複合輸送の+3日区で食べ頃(熟度5)に達していたが、+2日区と+1日区は航空輸送よりわずかに低くなった。部分鮮紅色収穫では、早朝収穫後に宮古から那覇まで常温で航空輸送を行なったためか供試果実の熟度が1.1~2.0とやや進んでいたが、+3日区でも航空輸送と同レベル、+2~1日区では航空輸送よりも低い熟度に留まった。これらの結果より、輸送日数が長い船舶便利用でも、収穫時の熟度を調整すると適切な熟度での市場到着が可能であることが示唆された。宮古地区のマンゴー出荷は現状では個別販売が多いために「消費地到着=食べ頃」でも問題は少ないと思われるが、市場出荷を想定するとブルームが残存するレベル(熟度3以下)での到着が必要と考えられるため、収穫時熟度の前進(部分鮮紅色へのシフト)や航空輸送の温度帯コントロール(25℃程度以下の定温輸送)、港での待機期間温度を結露が生じない程度まで下げるなど、追熟の抑制を検討する必要がある。なお、いずれの試験区においても、常温でさらに2日置くと食べ頃(熟度5)に達すると推測された。

炭疽病の発生は船舶・航空複合輸送区で高くなった。船舶輸送時の温度設定は低温障害を回避するため15℃以上が良いが(広瀬・前田, 2004a)、この温度帯ではマンゴー炭疽病菌の生育を抑制できない(田場ら, 2004)。また、炭疽病斑は熟の進行と共に成長するため(Kuo, 1999)、収穫時期が従来の全果鮮紅色から部分鮮紅色へ早めると、出荷時の判別がさらに困難になることが予想される。今後、船舶・航空複合輸送を実施するうえで、耕種的防除の徹底や温熱処理による炭疽病対策が必須であると考えられた。

果皮色では追熟に伴うb*値(黄色)とG値(相対グロス値)の増加が認められたが、試験区間において顕著な差異は認められなかった。

2) 果汁品質

収穫時および消費地到着時の果汁品質を比較した結果を表6に示す。糖度は輸送後に僅かに低くなった。船舶・

表5 船舶・航空複合輸送がマンゴー外観品質に及ぼす影響(室内試験)

		船舶・航空複合輸送区						航空輸送区
		+3日区		+2日区		+1日区		
		全果鮮紅色	部分鮮紅色	全果鮮紅色	部分鮮紅色	全果鮮紅色	部分鮮紅色	
重量(g)	收穫時	395	402	377	421	391	405	370
	輸送後	388	395	369	414	387	400	365
重量減少率(%)		1.8	1.8	2.0	1.5	1.2	1.3	1.4
熟度 ¹⁾	收穫時	3.1	1.1	2.5	1.3	2.4	2.0	3.2
	輸送後	5.0	4.8	4.4	3.7	4.3	3.6	4.7
追熟後 ²⁾		5.0	4.8	4.4	3.7	4.3	3.6	4.7
炭疽病発病度 ³⁾		9	9	19	0	6	3	0
果皮色								
L*値	收穫時	44.2	45.1	45.7	45.4	46.9	50.5	45.8
	輸送後	45.7	46.9	46.8	46.2	47.9	50.9	47.8
a*値	收穫時	36.2	29.1	31.6	30.2	32.2	29.2	34.5
	輸送後	34.3	33.9	33.7	34.1	32.8	32.9	33.6
b*値	收穫時	27.3	19.1	23.9	19.6	26.7	27.0	28.9
	輸送後	32.5	33.7	34.0	32.4	34.6	39.0	34.5
G値 ⁴⁾	收穫時	6.7	3.4	4.5	4.2	4.5	5.8	6.2
	輸送後	13.5	14.5	21.3	15.5	21.5	12.0	25.2

¹⁾ 熟度はブルームの消失とワックスの発生を指標に5段階で評価した。
(1: 果面全体にブルームあり, 3: ブルームおよびワックス無し, 5: 果面全体にワックスが発生)
²⁾ 輸送後に常温で2日間置き、熟度を評価した。
³⁾ 発病度は病斑の個数と直径を4段階に評価し、発病度に換算した。
(0: 無し, 1: 2mmが2個以下, 2: 2mmが6個以下又は5mmが1個, 3: それ以上)
⁴⁾ 果皮色の「光沢」はG値(8°グロス値)で示した。

表6 船舶・航空複合輸送がマンゴー果汁品質に及ぼす影響(室内試験)

		船舶・航空複合輸送区						航空輸送区
		+3日区		+2日区		+1日区		
		全果 鮮紅色	部分 鮮紅色	全果 鮮紅色	部分 鮮紅色	全果 鮮紅色	部分 鮮紅色	
糖度	収穫時	11.0	11.1	12.0	9.9	11.5	12.0	12.2
	輸送後	12.3	10.1	11.4	9.6	10.4	10.5	10.6
酸度	収穫時	0.11	0.18	0.17	0.27	0.16	0.21	0.17
	輸送後	0.13	0.11	0.16	0.17	0.12	0.14	0.10
ショ糖	収穫時	4.61	4.49	5.17	2.68	3.86	3.87	3.87
	輸送後	4.18	3.52	5.33	3.27	3.09	4.09	3.87
ブドウ糖	収穫時	0.11	0.22	0.11	0.28	0.13	0.05	0.05
	輸送後	0.03	0.06	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06
果糖	収穫時	3.54	3.37	2.89	2.35	2.76	2.33	2.33
	輸送後	2.09	3.00	3.21	2.77	2.47	2.88	3.04
クエン酸	収穫時	0.08	0.16	0.22	0.34	0.19	0.26	0.20
	輸送後	0.08	0.08	0.13	0.18	0.10	0.36	0.51
果汁色調								
L*値	収穫時	44.0	45.5	41.4	40.5	41.5	41.4	39.8
	輸送後	41.4	41.5	42.0	41.6	39.7	40.5	41.3
a*値	収穫時	6.8	4.7	4.9	4.0	4.5	5.4	6.4
	輸送後	5.4	4.1	4.8	4.1	5.5	5.3	5.3
b*値	収穫時	24.7	20.3	20.5	18.2	19.8	21.1	23.6
	輸送後	19.8	16.8	16.2	18.5	18.8	19.7	20.5

航空複合輸送の全果鮮紅色収穫/+3日区では逆に高くなったが、これは供試果実の個体差が大きいために生じた結果と推測される。糖組成は、いずれもショ糖が50~60%、ブドウ糖が5%以下、果糖が35~45%であり、上田ら(2001)やVazquez-Salinas & Lakshminarayana(1985)の報告例と一致した。伊東ら(1997)や吉武(1995)は果実追熟に伴うショ糖含有量の増加を指摘しているが、今回の試験では、輸送前後に大きな差異は認められなかった。一方、酸度は輸送後に低くなる傾向が見られたが、船舶・航空複合輸送の全果鮮紅色収穫/+2日区は微減、+3日区では微増となった。クエン酸は追熟後に減少することが報告されており(伊東ら, 1997)、本試験でもその傾向が確認されたが、全果鮮紅色収穫/+3日区では出荷時の測定値が既に低レベルであり、供試果実の熟度が進んでいたためと考えられた。

3) 食味評価

消費地到着時の果実を用いて、外観及び果肉について食味評価を実施した結果、いずれの項目についても、試験区間に有意な差異は検出されなかった(図2)。熟度では+2日区の果皮で部分鮮紅色区が高くなるなど他の試験区や外観調査(表5)と異なる結果が得られたが、これは果実の個体差によるものと考えられた。

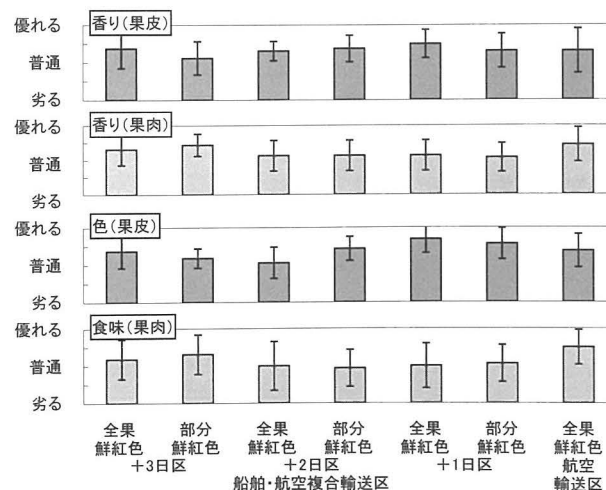


図2 輸送条件がマンゴーの果実品質に及ぼす影響(室内試験)*Steel-Dwassの方法により各試験区間に有意差なし(p<0.05)

4) 呼吸速度

アーウィンは果皮色の着色と共にクライマテリックピークに達して呼吸速度が急増し、その後は漸減する(伊東ら, 1997)。本試験に供試した果実は、全果鮮紅色、部分鮮紅色収穫のいずれの場合でも収穫後2～4日の呼吸速度が90 mg-CO₂/kg/hr程度で安定し、クライマテリックピーク後の収穫であることが確認された(表7)。伊東ら(1997)はクライマテリックピーク以降の生理的熟度が一定の範囲内に収まると推測しているが、本試験の結果においても、収穫時期による果汁成分の顕著な差異は見出されず、鮮紅色発色始め以降に収穫した果実では、品質上の大きな差異は生じないことが、あらためて示唆された。

表7 供試果実の呼吸速度推移

	(単位:mg-CO ₂ /kg/hr)		
	収穫後日数		
	2日	3日	4日
全果鮮紅色収穫	88.6	83.3	85.3
部分鮮紅色収穫	95.2	84.5	89.1

船舶・航空複合輸送試験

宮古島から那覇までを25℃の船舶輸送(出港待ち期間中は20℃)、那覇から宮古島までを常温の航空輸送とした輸送試験を実施した(表4b)。

1) 輸送期間中の温度推移

輸送期間中の環境温度およびマンゴーの品温推移を図3に示す。輸送に用いるリーファーコンテナを宮古島(平良港)に設置して20℃で運転し、毎日マンゴーを搬入した。出荷(コンテナ搬入)時のマンゴー品温は28～29℃で、25℃まで低下するのに約6時間、23℃では約12時間、21℃までの低下には約20時間を要した。最低到達温度は+3日区で20.5℃、+2日区は21.2℃であったが、+1日区では冷却時間が19時間程度と短かったためか22.0℃にとどまった。

船積み後に船舶輸送終了(コンテナ開放)時の結露回避を目的としてコンテナ設定温度を25℃に変更したところ、コンテナ内温度は約12時間後に25℃に達し、マンゴーの品温は約16時間後に25.2～25.4℃、那覇(安謝港)到着時には25.5～25.7℃に上昇していた。消費地到着時の調査でマンゴー果実や出荷箱に結露の痕跡は認められなかったことから、25℃から常温への移行時に顕著な結露発生は回避できていることが示唆された。

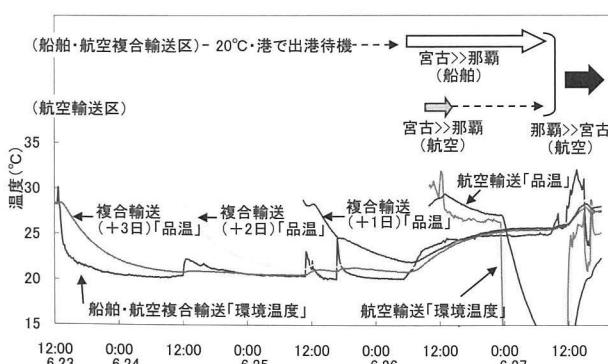


図3 輸送試験における環境温度及びマンゴー品温推移
輸送試験は2010年6月23日～27日に実施した。

今回の試験では20ftリーファーコンテナに18箱のマンゴーを積載したのみで(計算上は3000箱積載可能)容積率は0.6%程度に過ぎないため、満載状態での温度推移を検証する必要がある。

那覇での移送(安謝港から那覇空港まで、25℃設定のトラック利用)では環境温度は30.5℃まで上昇したが、短時間であるためか品温への影響は観察されなかった。那覇から宮古までの航空輸送時では、空港での荷物積載時と推定される時間帯に環境温度で最大32.1℃、品温は28.8℃までの上昇が見られた。慣行区として実施した宮古から那覇の航空輸送においても同様に、環境温度で最大31.9℃、品温は29.5℃までの上昇が見られた。マンゴー果実の呼吸速度は25℃では約111 mg-CO₂/kg/hrであるが、30℃では約1.5倍の164 mg-CO₂/kg/hrまで上昇するため(広瀬・前田, 2004a)、追熟の進行を抑制し良好な鮮度を保持するためには、航空輸送期間における温度制御が今後の課題である。

本試験では航空輸送区における那覇中継時の保管温度が5℃(冷蔵)であったが、現行の出荷形態では、宮古から航空便で届いたマンゴーを消費地向け航空便に積載するまでの待機時間は常室内で保管されている。前述の問題も含め、輸送中継時の温度管理が今後の大きな課題であると思われる。

2) 果実外観

収穫時および消費地到着時の果実外観を比較した結果を表8に示す。果実重量の減少率は輸送所要日数の増加と共に増加し、収穫時期が早い「部分鮮紅色」区で高くなるようであった。いずれも室内試験より高い値を示したが、コンテナ内湿度(室内試験では平均相対湿度が88%であったが、輸送試験では68%)に起因すると思われる。

表8 船舶・航空複合輸送がマンゴー外観品質に及ぼす影響(輸送試験)

		船舶・航空複合輸送区						航空 輸送区
		+3日区		+2日区		+1日区		
		全果 鮮紅色	部分 鮮紅色	全果 鮮紅色	部分 鮮紅色	全果 鮮紅色	部分 鮮紅色	
重量(g)	収穫時	405	401	432	445	403	465	407
	輸送後	393	388	421	433	392	452	398
重量減少率(%)		3.1	3.4	2.6	2.8	2.6	2.8	2.1
熟度 ¹⁾	収穫時	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	輸送後	5.0	4.4	4.8	4.2	4.3	3.1	3.9
炭疽病発病度 ²⁾		6	8	17	6	6	9	3
果皮色								
L*値	収穫時	45.1	41.2	46.2	43.3	45.0	43.6	45.7
	輸送後	44.0	42.3	44.8	43.6	42.4	46.2	45.3
a*値	収穫時	26.7	21.6	27.2	21.8	33.3	22.7	26.2
	輸送後	29.8	29.8	28.0	28.7	30.2	30.2	29.1
b*値	収穫時	17.7	11.2	19.2	14.1	15.9	13.9	17.4
	輸送後	28.0	25.5	27.8	27.0	25.1	31.1	28.4

¹⁾ 熟度はブルーの消失とワックスの発生を指標に5段階で評価した。

(1: 果面全体にブルーあり, 3: ブルーのみおよびワックス発生, 5: 果面全体にワックス発生)

²⁾ 発病度は病斑の個数と直径を4段階に評価し、発病度に換算した。

(0: 無し, 1: 2mmが2個以下, 2: 2mmが6個以下又は5mmが1個, 3: それ以上)

全果鮮紅色で収穫した果実の熟度は船舶・航空複合輸送の+2, +3日区で食べ頃に達したが、部分鮮紅色で収穫した果実は熟度4.2～4.4で航空輸送と同程度、+1日区では熟度3(ブルーが消失するがワックスの発生は見られない)と市場出荷にも適する熟度が得られることが示された。前述のように、出港待機期間における温度設定低下や、航空輸送時の温度制御によって更なる追熟抑制が可能であると考えられ、今後の出荷先や販売形態も含めて、検討課題であると考えられた。

炭疽病の発生については室内試験と同様に船舶・航空複合輸送で発病度が高くなった。船舶輸送では輸送設定

温度が一般の低温輸送に比べて高く、全体の輸送期間も航空輸送に対して長くなるため、根本的な炭疽病対策が必須であると考えられた。

果皮色は追熟に伴う b^* 値（黄色）の増加が認められたが、試験区間や収穫時熟度で大きな差異は認められなかった。

3) 果汁品質

収穫時および消費地到着時の果汁品質を比較した結果を表9に示す。糖度は室内試験とは異なり、船舶・航空複合輸送の全果鮮紅色収穫/+3日区で微減が見られたものの、いずれも輸送後に上昇する傾向が見られた。糖組成では室内試験と同様、ショ糖が50～60%、ブドウ糖が5%以下、果糖が35～45%で、ショ糖含有量が増加傾向にあり、船舶・航空複合輸送の全果鮮紅色収穫/+3日区でもショ糖含有量の増加が見られるなど、伊東ら（1997）や吉武（1995）が指摘した追熟に伴うショ糖の増加と合致した。また、クエン酸の低下も伊東ら（1997）の指摘と合致することから、船舶・航空複合輸送の条件がマンゴーの正常な追熟に影響を及ぼさないことが示された。

表9 船舶・航空複合輸送がマンゴー果汁品質に及ぼす影響（輸送試験）

		船舶・航空複合輸送区						航空 輸送区
		+3日区		+2日区		+1日区		
		全果 鮮紅色	部分 鮮紅色	全果 鮮紅色	部分 鮮紅色	全果 鮮紅色	部分 鮮紅色	
糖度	収穫時	12.1	12.0	12.1	10.9	11.8	10.8	12.1
	輸送後	11.8	12.1	12.5	12.1	13.7	13.0	12.6
酸度	収穫時	0.24	0.27	0.18	0.22	0.21	0.23	0.21
	輸送後	0.09	0.10	0.12	0.10	0.12	0.13	0.14
ショ糖	収穫時	2.83	2.97	2.89	2.57	3.44	3.69	4.30
	輸送後	3.44	4.73	4.12	4.47	5.29	4.82	4.38
ブドウ糖	収穫時	0.20	0.15	0.07	0.13	0.07	0.10	0.10
	輸送後	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03
果糖	収穫時	2.41	2.17	2.12	2.20	2.06	2.52	2.41
	輸送後	2.30	2.75	2.44	2.43	2.35	2.21	2.76
クエン酸	収穫時	0.19	0.17	0.12	0.15	0.14	0.19	0.17
	輸送後	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.08

4) 食味評価

消費地到着時の果実を用いて、外観及び果肉について食味評価を実施した結果、外観および香りについては試験区間で有意な差異は検出されなかった（図4）。食味では部分鮮紅色収穫/+3日区と全果鮮紅色収穫/+2日および+1日区に有意差が検出されたほか、いずれの試験区でも全果鮮紅色区より部分鮮紅色区がやや低いようであった。吉武（1995）は果実の一部に鮮紅色が開始

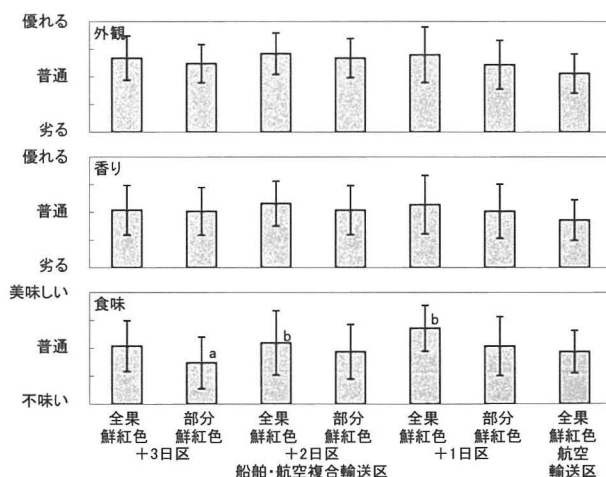


図4 輸送条件がマンゴーの果実品質に及ぼす影響（輸送試験）*Steel-Dwassの方法により異符号間に有意差あり（ $p<0.05$ ）

めた段階で収穫した果実を25℃で追熟させると、果実全体に鮮紅色が出た段階で収穫した果実と同等の品質が得られることを示している。また、果汁成分には大きな差異は見られない（表9）ことなどから、食味の差は評価時の熟度が全果鮮紅色区で5.0～4.3に対して部分鮮紅色区では4.4～3.1と低い（表8）ことに起因するものと考えられた。

以上の結果より、宮古から那覇までを定温船舶輸送、続く那覇から消費地までを航空輸送とする船舶・航空複合輸送において、最も輸送所用期間を要する（6日間）場合でも、果実の一部に鮮紅色が出始めた段階で収穫した果実を用いることで、従来の果実全体に鮮紅色が出た段階で収穫した果実を航空輸送した場合（輸送所用期間は3日間）と同等の熟度で消費地に到着可能であることが示された。また、果実の一部に鮮紅色が出始めた段階で収穫した果実、果実全体に鮮紅色が出た段階で収穫した果実と、追熟後の品質に顕著な差異が無いことが示された。

本試験では実施できなかった慣行の常温航空輸送との品質比較、コンテナ積載方法および効率の検討が、今後の課題である。また、現行では石垣経由の週3便である船舶便の那覇直行や毎日運行など運行スケジュール調整、出港待ち時間や船舶輸送中の温度設定最適化、航空輸送時の温度管理等により、更なる熟度管理（鮮度保持）の高度化が可能であると考えられる。

船舶・航空複合輸送技術は航空輸送能力が十分でない他の離島地域にも適用可能と考えられるが、生産地における低温施設の有無や船舶便の形態（低温輸送の可否や便数、航路など）等によって輸送最適条件が異なる可能性があり、それぞれの環境に対応した条件設定を行う必要があると思われる。

謝 辞

本研究はマンゴー輸送対策事業（2010年度、沖縄県農林水産部流通政策課）において実施した。供試果実の調達および収穫時期の選別など、本試験の実施に多大なるご協力を頂きました宮古農林水産振興センター農業改良普及課農業技術班の砂川榮良氏と中村悟之氏に感謝いたします。また、果汁成分の分析にご協力頂きました沖縄総合農産加工株式会社の新垣江利子氏と宮城一葉氏に感謝いたします。

引用文献

- 広瀬直人・前田剛希（2004a）、高温域におけるマンゴーの呼吸特性、沖縄県農業試験場単年度試験研究成績
- 広瀬直人・前田剛希（2004b）、マンゴーの温度非管理下における流通実態調査、沖縄県農業試験場単年度試験研究成績
- 広瀬直人・前田剛希（2008）、沖縄県産農産物の低温輸送および鮮度保持技術の開発（第三報）パイナップルの船舶・航空複合輸送、沖縄農研研究報告, 1: 11-14.
- 藤原孝之・磯崎真英・小西信幸・坂倉元（2000）、電気伝導度法によるトマトおよびイチゴ果汁の遊離有機酸濃度の測定、食科工誌, 47(3): 227-232.

- 井手洋一・田代暢哉 (2004), ナシ炭疽病の効率的な防除体系の確立を目的とした各種殺菌剤の耐雨性, 残効性および病原菌接種後の散布による発病抑止性の評価, 日植病報, 70, 1 ~ 6
- 伊東卓爾・佐々木勝昭・吉田保治 (1997), ハウス栽培マンゴー 'Irwin' 果実の発育および追熟中における呼吸量, 糖質および有機酸含量の変化, 園学雑, 66(3・4): 629 ~ 635.
- Kuo, K. C. (1999), Germination and appressorium formation in *Colletotrichum gloeosporioides*, Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(B), 23: 126 ~ 132.
- 沖縄県農林水産部 (2009), 沖縄県の園芸・流通, p89.
- 沖縄県農林水産部 (2010), 沖縄の農林水産業, p23.
- 沖縄県宮古農林水産振興センター農業改良普及課 (2009), 平成 21 年マンゴー船舶輸送試験検討会議資料 (2009 年 8 月 14 日)
- 田場聡・高江洲和子・大城篤・諸見里善一・澤岬哲也 (2004), *Colletotrichum acutatum* Simmonds ex Simmonds によるマンゴー炭疽病 (病原追加), 熱帯農業, 48: 57 ~ 61.
- 高木達也 (2007), 多重比較法入門, 生物工学, 85: 227-232.
- 上田茂登子・佐々木勝昭・宇都宮直樹・稲葉和功・嶋林幸英 (2001), ハウス栽培アーウィン種マンゴー果実の諸性質に及ぼす貯蔵温度と期間の影響, 食科工, 48(5): 349 ~ 355.
- Vazquez-Salinas, C. and Lakshminarayana, S. (1985), Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage temperature, J. Food Sci., 50: 1646 ~ 1648.
- 吉武均 (1995), 硬果段階で収穫したマンゴー 'アーウィン' の追熟, フレッシュフードシステム, 24: 61 ~ 64.

要 約

宮古島産マンゴの船舶と航空機による複合輸送試験を行った。収穫後のマンゴを港に持ち込み、船に積載するまでは 20℃、宮古島から那覇までの船舶輸送中は 25℃で保管した。那覇から消費地までの輸送を想定して、那覇から宮古島までの航空輸送は常温保管とした。船舶・航空複合輸送では消費地に到着するまで最長 6 日間を要したが、果実の一部に鮮紅色が出始めた段階で収穫した果実を用いることで、従来の果実全体に鮮紅色が出た段階で収穫した果実を航空輸送した場合（輸送所用期間は 3 日間）と同等の熟度で消費地に到着可能であることが示された。また、果実の一部に鮮紅色が出始めた段階で収穫した果実は、果実全体に鮮紅色が出た段階で収穫した果実と追熟後の果汁品質に顕著な差異は無く、消費地到着時の熟度を低く保つことが可能であると考えられた。

キーワード：熟度, 果皮色