琉球大学学術リポジトリ

沖縄県産熱帯果実の呼吸特性に関する研究(生物生産学科)

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): 熱帯果実, 呼吸量, 温度依存性, 温度係数 キーワード (En): tropical fruits, respiration, temperature dependency, temperature coefficient 作成者: 秋永, 孝義, 和田, 博幸, 國府田, 佳弘, Akinaga, Takayoshi, Wada, Hiroyuki, Kohda, Yoshihiro メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3762

沖縄県産熱帯果実の呼吸特性に関する研究*

秋永孝義**・和田博幸**・國府田佳弘**

Takayoshi AKINAGA, Hiroyuki WADA and Yoshihiro KOHDA : Studies on Respiration Characteristics of Some Tropical Fruits Grown on Okinawa

キーワード：熱帯果実，呼吸量，温度依存性，温度係数
Key words : tropical fruits, respiration, temperature dependency, temperature coefficient

Abstract

The respiration rate of fresh fruits and vegetables have the fundamental significance in transportation and storage, but there were few data available on respiration of Okinawan grown fruits in wide range of temperatures.

In this study, the relationships between respiration rate and temperature of Okinawan grown fruits were measured by carbon dioxide absorption method. Respiration is one of the biochemical reaction, and it is one of chemical reaction velocity. The relationships between respiration rate and temperature were fitted to Arrhenius's equation and Gore's equation (Modified Arrhenius's equation). The respiration heat known as vital heat in kJ per ton per day was obtained multiplying the respiration rate of milligrams of CO_2 per kilogram per hour by a factor of 9.62.

Respiration rate of pineapples, mangoes and papayas were measured. It was found that mangoes showed the highest respiration rate, pineapples showed the lowest respiration rate and respiration rate in these tropical fruits were fitted to Arrhenius's equation and Gore's equation and chilling injury estimated zone was assumed 9.4℃ for pineapples, 7.6℃ for mangoes and 11.0℃ for papayas.

緒　言

収穫後の農産物の貯蔵・流通過程の上で，品質劣化を防止することは最も重要な事項であるが，農産物は収穫後も生命体であり，生命保持のために呼吸を行い，エネルギーの供給を続けるために糖，酸等を消費し品質低下を招き，また貯蔵条件に影響する呼吸熱を放出する。そのため，収穫後の農産物の代謝生理を知る上で，呼吸速度は基本的かつ重要な因子である。また，呼吸速度は農産物が置かれている

---

*本報告の概要は農業機械学会（1992年4月）で発表した。

**琉球大学農学部生物生産学科

琉球大学農学部学術報告　**41**：161～167（1994）

環境により大きな影響を受けるのでそれを支配する条件を明らかにすることは，貯蔵・流通過程での鮮度保持を考える上で必要不可欠であり，コールドチェーンが切れた場合の青果物に対する影響やその対策法，急激に温度を下げた場合に起こるヒートショックなどの解明に役立つものと考えられる。しかし，農産物の呼吸量の測定結果は最近では村田[1]等の報告のように数多くあるが，沖縄県産の熱帯果実についての広い温度範囲にわたって測定した報告は秋永[2]等の他は数少ない。そこで，収穫後の貯蔵環境中の特に温度に注目し，温度変化が呼吸に与える影響を明らかにすることを目的として，沖縄県産のいくつかの熱帯果実の温度と呼吸量の関係を測定した。また，呼吸は生物が営む代表的な生化学反応であり，化学反応速度の一つであるため一般の化学反応と同様に Arrhenius 式[3]で，あるいは青果物の呼吸速度と温度の関係式として知られている Gore 式[4]で表されるので，呼吸量の温度依存式としてこれらの2つの式を用いて測定結果を解析した。

測定方法

1．測定方法

呼吸量の測定には，二酸化炭素排出量の滴定による測定法[5]を用いた。これは一定容積（270L×180W×200Hmm）のデシケータの底に2規定の水酸化カリウム溶液を25mℓ入れた蒸発皿を置き，試料を入れてから密封し，暗室の恒温恒湿装置内に静置し，排出した二酸化炭素を吸収させる。2時間後に取り出し，あらかじめ25％濃度の塩化バリウム溶液を10mℓ入れておいた250mℓのメスフラスコにただちに移し，蒸留水を加えて定容とし，よく振とうした後，24時間静置すると炭酸バリウムの白色沈殿物が沈降するからメスフラスコ内の上澄み液5mℓを取ってフェノールフタレインを指示薬として，0.2規定の塩酸で滴定する。同時に同容積で試料の入っていないデシケータ中に置いた水酸化カリウム溶液についても滴定を行い，両者の差を求める。反応は（1），（2）式のようになる。

$$CO_2 + 2\,KOH \rightarrow K_2CO_3 + H_2O \quad \cdots\cdots (1)$$

$$2\,HCl + 2\,KOH \rightarrow 2\,KCl + 2\,H_2O \quad \cdots\cdots (2)$$

吸収された炭酸ガスの量を呼吸量とし，0.2規定の塩酸1mℓは炭酸ガス4.4mgに相当するので，呼吸量は（1），（2）式の反応式を用いて計算した。

2．供試材料

測定に供した材料は，Table 1に示すパインアップル，マンゴ，パパイヤの3種である。パインアップルは名護市嵐山の圃場で完熟のものを，パパイヤは東村の圃場で7分熟で収穫後，実験当日に搬入した。マンゴは宜野座村内で完熟で収穫されたものを，沖縄県中央卸売市場（浦添市勢理客）から収穫日の翌日に購入した。

Table 1.　Materials for experiment

Material	Cultiver	Place	Day
pineapples	N67－10	Nago	Dec. 08 '92
mangoes	Irwin	Ginoza	July. 13 '92
papayas	Solosunrise	Higashi	Nov. 04 '92

測定に供した果実はそれぞれ3個体で，形状をTable 2に示す。測定は各農産物について3回反復して行った。

Table 2. Shapes of tropical fruits grown on Okinawa

material	shapes* length (cm)	width (cm)	weight (g)
pineapples	15.82±1.96	1.83±0.81	514.03±300.72
mangoes	11.14±0.33	7.36±0.34	350.10± 21.14
papayas	12.11±0.63	7.97±0.51	337.86± 51.77

*average ± standard deviation

3．呼吸速度の算出

呼吸量は0℃～25℃の間で5℃間隔で測定を行い，容器に試料を入れたものを試験区，試料を入れてない空の容器を対照区として呼吸速度R（試料単位重量が1時間当たりに排出するCO_2量）を（3）式により算出した。

$$R = 4.4 \times a \times \frac{1}{b} \times \frac{1}{t} \times f \times \frac{250}{5} \quad \cdots\cdots (3)$$

R：呼吸速度（CO_2mg／kg／hr）
a：（対照区の滴定値）－（試験区の滴定値）（mℓ）
b：試料の質量（kg）
t：測定時間（hr）
f：KOHのfactor

測定結果及び考察

1．呼吸量の温度依存式

測定結果を整理する農産物の呼吸量の温度依存式としては，Arrhenius式及びGore式を用いた。

Arrhenius式は（4）式で表され，化学反応速度としてよく用いられる。

$$R = Ra \cdot \exp(-\alpha / T) \quad \cdots\cdots (4)$$

R：呼吸速度（CO_2mg／kg／hr）
Ra：産物固有の係数
α：産物固有の温度係数
T：絶対温度（K）

また，Gore式は，青果物の呼吸量の温度依存式としてよく知られ，（5）式で表される。

$$R = R_0 \cdot \exp(\beta t) \quad \cdots\cdots (5)$$

R：呼吸速度（CO_2mg／kg／hr）
R_0：0℃におけるRの値
β：産物固有の温度係数
t：温度（℃）

今回測定した各熱帯果実の温度別の呼吸量をこれらの式に当てはめ，最小自乗法により各係数を決定した。

熱帯果実は一般に低温感受性植物で，呼吸速度の温度依存性はArrhenius式及びGore式の両式とも二本の直線で表すことができる。また，その二本の直線の交点は果実の代謝生理の呼吸作用に異常が生じる温度と推定される[6,7]。

Fig. 1, Fig. 2にパインアップル, Fig. 3, Fig. 4にマンゴ, Fig. 5, Fig. 6にパパイヤの呼吸速度の温度依存性をArrhenius式及びGore式を用いて解析した結果を示す。Gore式は, Arrhenius式の近似式として使われるが, これからも同じような結果が得られた。その結果より生理障害が生じたと推定される温度はパインアップルでは9.4℃, マンゴでは7.6℃, パパイヤでは11.0℃であった。

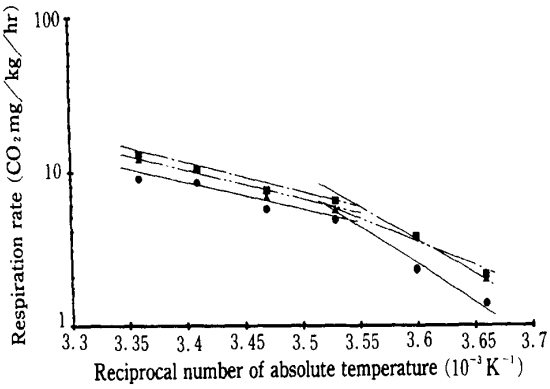

Fig. 1 Temperature dependency of respiration rate for pineapples (Eq. Arrhenius)

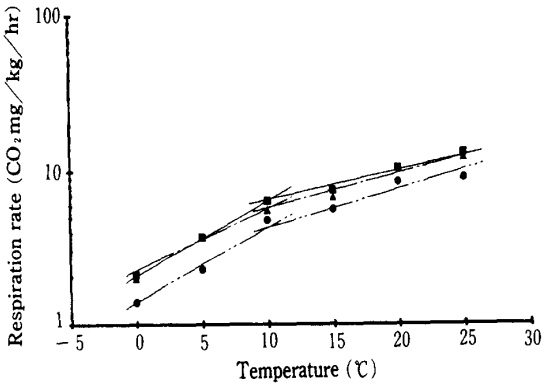

Fig. 2 Temperature dependency of respiration rate for pineapples (Eq. Gore)

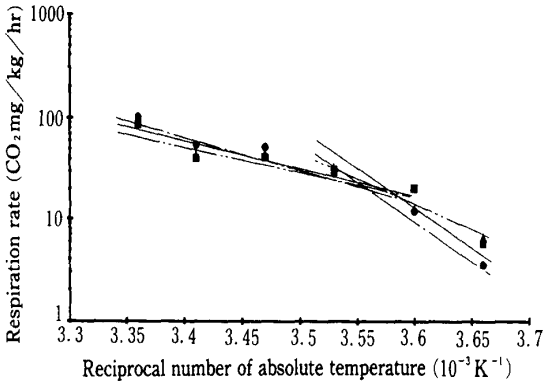

Fig. 3 Temperature dependency of respiration rate for mangoes (Eq. Arrhenius)

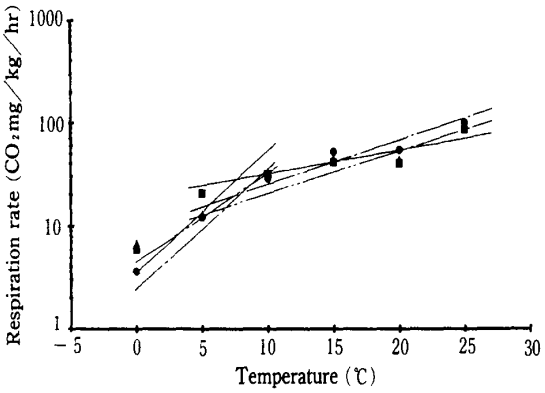

Fig. 4 Temperature dependency of respiration rate for mangoes (Eq. Gore)

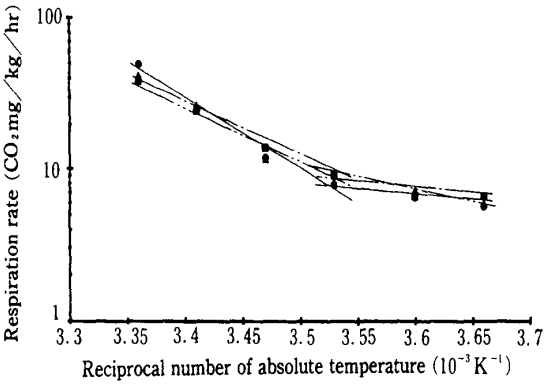

Fig. 5 Temperature dependency of respiration rate for papayas (Eq. Arrhenius)

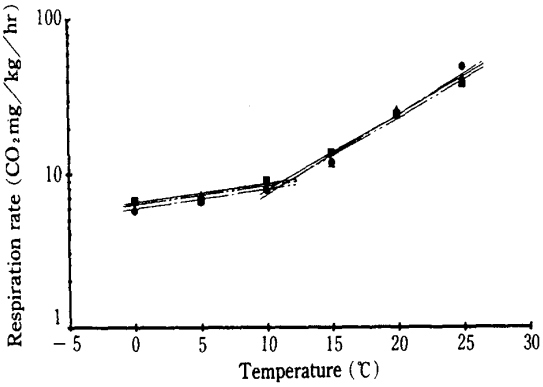

Fig. 6 Temperature dependency of respiration rate for papayas (Eq. Gore)

2．熱帯果実の産物固有の温度係数

Table 3に各熱帯果実の産物固有の温度係数及び標準偏差の計算結果を示す。完熟で果皮が薄く貯蔵性の弱いマンゴの呼吸量は著しく，完熟で果皮の厚いパインアップルの呼吸量は低く，7分熟で果皮が薄いパパイヤの呼吸量はその間であるという結果と同じく，Ra，α，Ro，βもそれぞれマンゴ，パパイヤ，パインアップルという順に高い値を示した。また，Table 3中のSD_1は（4），（5）式の呼吸速度の標準偏差（CO_2mg／kg／hr），SD_2は（4），（5）式の呼吸速度から計算した温度の標準偏差（℃）である。Gore式に比べてArrhenius式の方がSD_1，SD_2はともにやや低い値を示し，SD_1は試料毎の呼吸量の大小によりばらつきが見られるが，SD_2は1℃前後で両式の適合性の良さが認められた。

Table 3. Temperature coefficient of tropical fruits grown on Okinawa

material	$R=Ra \cdot \exp(-\alpha/T)$				$R=R_0 \cdot \exp(\beta t)$			
	Ra	α	SD_1	SD_2	R_0	β	SD_1	SD_2
pineapples	1.024×10^{10}	6097	0.335	0.723	2.117	0.074	0.364	0.824
mangoes	3.834×10^{14}	8620	3.957	1.133	7.614	0.104	4.146	0.908
papayas	9.527×10^{10}	6481	1.540	1.184	4.807	0.080	1.423	1.240

3．熱帯果実の呼吸熱

青果物は生きている限り呼吸作用を営み，常時呼吸熱を放出している。したがって青果物は一種の発熱体とみなすことができる。そのため，農産物の低温処理等を行う際，呼吸熱は冷蔵負荷として常に考慮しなければならない要素であるが，直接正確に測定することは困難である。一般によく知られている呼吸熱の値は呼吸量の測定値から推算していることが多い[8,9]。そこで，本研究でも，呼吸基質はブドウ糖のみで，好気呼吸により炭酸ガスと水に分解されると仮定し，ブドウ糖の酸化に関する次式を用いて，各農産物の呼吸熱を呼吸量から算出した。

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O\ (\ell) + 2803\text{kJ} \quad \cdots\cdots (6)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O\ (g) + 2539\text{kJ} \quad \cdots\cdots (7)$$

この化学反応で発生する熱量は（6），（7）式両辺における各物質の標準生成エンタルピーを計算することによって得られる[10]。（6）式は生成するH_2Oが液体，（7）式は気体の場合であるが，ここでは（7）式を用いて換算係数を求めると，CO_2 1gあたり，

$$2539/(6\times44) = 9.62\ (\text{kJ}) \quad \cdots\cdots (8)$$

となる。これより，呼吸熱Q_R(kJ／ton／day）は呼吸速度（CO_2mg／kg／hr）に（8）式で求めた換算係数9.62を乗じた（9）式で表される。

$$Q_R = 9.62\times R\times24\ (\text{kJ/ton/day}) \quad \cdots\cdots (9)$$

Table 4に計算した農産物の温度別の呼吸熱の値を示す。25℃の呼吸熱をを0℃の呼吸熱と比較するとパインアップルでは6.4倍，マンゴでは17.5倍，パパイヤでは7.0倍になる。これより，完熟で，果

Table 4. Respiration heat of tropical fruits grown on Okinawa

material	respiration heat (KJ／ton／day)					
	0 ℃	5 ℃	10℃	15℃	20℃	25℃
pineapples	417	738	1,299	1,543	2,273	2,672
mangoes	1,255	3,524	7,230	10,817	10,779	21,971
papayas	1,432	1,599	1,948	2,879	5,844	9,984

皮が薄く，貯蔵性が弱いものほど呼吸熱の割合が高くなっている。つまり，貯蔵性は呼吸熱と比例関係にあり，熟度に関係があるものと考えられる。

4．温度係数 Q_{10}

温度の変化と農産物の呼吸量の関係は，農産物の生理学的過程に温度が及ぼす影響を知るための指標である温度係数 Q_{10}（温度が10℃上昇することによって呼吸量が何倍になるかを表すもの）で表される。Q_{10}は通常2前後の値をとるが，低温域では大きく，高温域では小さくなるのが普通である。ここでは測定結果の呼吸量の比と，測定結果をあてはめたArrhenius式の温度係数 α から各農産物の呼吸速度の温度係数 Q_{10}を算出した。Table 5に計算した亜熱帯果実の温度係数 Q_{10}を示す。パインアップル，マンゴでは低温域で高く，パパイヤでは高温域で高くなった。これは熟度の違いによるものであると考えられ，完熟果ほど低温に置くことによって呼吸を抑制することができ，品質低下を遅らせることができると考えられる。半熟果や未熟果は最適貯蔵温度以下に置くことは追熟不良などの生理障害を生じる恐れがあるので好ましくないと考えられる。

Table 5.　Q_{10} of tropical fruits grown on Okinawa

material	Q_{10}			
	0～10℃	5～15℃	10～20℃	15～25℃
pineapples	3.15	2.15	1.76	1.72
mangoes	6.10	3.30	1.51	2.04
papayas	1.36	1.81	3.01	3.51

摘　要

沖縄県産熱帯果実の代謝生理を知るために3種類の果実について温度と呼吸量の関係を測定したところ，以下のことが明らかとなった。

1）呼吸量の温度依存式としてArrhenius式及びGore式を用いて解析した結果，測定値は両式によく一致した。

2）呼吸量は完熟で果皮が薄く貯蔵力の弱いマンゴ，7分熟で果皮が薄いパパイヤ，完熟で果皮の厚いパインアップルの順に高かった。

3）生理障害が生じたと推定される温度は完熟パインアップルは9.4℃，完熟マンゴは7.6℃，パパイヤは11.0℃であった。

4）Q_{10}値はパインアップル，マンゴでは低温域で高く，パパイヤでは高温域で高くなった。

以上より今回の測定で得られた結果は，収穫後から貯蔵にいたる果実の代謝生理を容易に知る手段として，他の果実にも適用でき，貯蔵装置の設計，貯蔵中の品質評価を行う上での一つの指標となるものと考えられる。

引用文献

1）村田敏，宮内樹代史，王延耀　1993　生鮮農産物の呼吸量の測定，農業機械学会誌，**55**（2），69－75

2）秋永孝義，國府田佳弘　1987　いくつかの沖縄県産農産物の呼吸特性，農業機械学会誌，**49**（6），591－597

3）Sutcliffe, J. F. 1981 （佐藤庚訳）植物と温度，東京，朝倉書店，25－26
4）緒方邦安 1977 青果保蔵汎論，東京，建帛社，52－53
5）中川昌一 1986 園芸学実験・実習，東京，養賢堂，127－129
6）Platenius, H 1942 Plant Physiol., **17**, 179－197
7）Haller, M.H. et al. 1931 Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **28**, 583－588
8）Lutz, J.m. et al. 1968 The Commercial storage of Fruits, Vegetables and florlist and nursery Stocks, U.S.D.A. Agr. Handbook 66, 8 － 9
9）加藤舜郎 1967 青果物のコールドチェーン（17），低温処理における基本的な知見，農業及び園芸，**43**（5），139－142
10）日本化学会編 1984 化学便覧（改訂第3版）基礎編Ⅱ，東京，丸善，305－315