HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	リンゴ果実の成熟機構に関する研究 （第１報）：果実の成熟と種子登熟との関係について
Author(s)	我妻, 正廸; 田村, 勉
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 9(1), 127-132
Issue Date	1973-12-15
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/11861
Type	bulletin (article)
File Information	9(1)_p127-132.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

リンゴ果実の成熟機構に関する研究 (第1報)

果実の成熟と種子登熟との関係について

我妻正廸・田村 勉
(北海道大学農学部果樹・蔬菜園芸学教室)

(昭和48年6月23日受理)

Studies on maturation process in apple fruit

I. The Relationship between Fruit Maturity and Seed Ripening in Jonathan

Masamichi AGATSUMA and Tsutomu TAMURA
(Department of Horticulture, Faculty of Agriculture
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

緒 言

リンゴ果実を貯蔵するにあたり，収穫時の熟度が果実の貯蔵性に直接影響することはよく知られているところである。

果実の熟度判定および収穫日の決定は，従来，暦日，開花後日数などはもとより，果径，果重，果皮の地色の変化，硬度，糖質および有機酸類の変化，揮発成分の増加など，果実の形質から判定されてきた。

また最近，果実の呼吸変化，酸素やホルモン類の変化，とくにエチレンの生成など，果実の生理的面からも熟度の判定がなされるようになった。

とくに，呼吸についてみると，果実の熟する時期に呼吸クライマクテリックがあることは，KIDD[5]らによって報告された。その後多くの研究者によってこの現象の解明がこころみられ，エチレン生成と呼吸クライマクテリックとが密接に関係し，果実の熟度が促進されることが明らかにされた。このことから，呼吸クライマクテリックを熟度判定の指標となしうることが，果実の生理的見地からもうらづけられた。

一方，SMOCK[16]らにより，貯蔵用果実の収穫適期は呼吸クライマクテリックミニマムあるいはライズ頭初が最適であるという報告がなされ，またその後において，田村ならびに中島[9,10]らによっても，北海道で生産された果実についてこのことが確かめられた。

他方，着生状態にある果実の呼吸クライマクテリックを推定するには，従来SMOCKの方法が用いられて来たが，最近，中島[9]はこの方法を別の観点から検討し，少ない調査回数でクライマクテリックミニマムの時期を予測する方法について報告した。

しかし，実際に貯蔵用の果実を収穫するにあたって，着生状態にある果実の呼吸クライマクテリックミニマムを，特別の機器を用いることなく，簡単に，しかも現地でより的確に予知することができれば，実用上きわめて有効であると考えられる。

本研究では‘紅玉’を用いて，その種子の着色が果実の呼吸クライマクテリックミニマム以前に開始することに着目し，着生状態にある果実の熟度(呼吸クライマクテリック)を推定，あるいは予知しようとしてなされたものである。この可能性については，以前から熊代[6]や永沢[8]によっていわれてきたが，研究報告はほとんどなされていない。したがって，果実の呼吸変化と種子の着色との関係を調べ，その実用性について検討し，さらにこの着色と果実発育あるいは成熟過程との時期的関連について究明した結果を報告するものである。

本研究をすすめるにあたり，種々御助言をいただいた本学農学部附属農場の今河茂助教授，また実験に際して御協力をいただいた当教室の原田隆助手に感謝の意を表する。

材料および方法

材料は，北海道大学農学部附属農場余市果樹園の35年

生の‘紅玉’2樹をえらび，1972年5月21日人工授粉を行ない，それらに結実した果実を用いた。

平均的果実のうち25個に無作為に標識をつけ，7月4日から10日おきに継続して果実の発育調査を行なった。調査日ごとに，その他の果実から40個ずつ採取し，それらの果実について，種子の発育調査ならびに着色経過について観察記録した。また，種子が着色を開始してから，果実および種子の呼吸量を測定した。

呼吸量の測定は通気法および検圧法の双方を並用し，1972年9月2日から10月22日まで，5日おきに11回にわたって果実を採取し，採取時ごとに，前者で3個，後者の方法では12個の果実について呼吸量を測定した。

通気法では中島[9]らと同様に比色法により，20°C恒温における，採取後24時間，48時間および96時間の呼吸量（CO_2排出量）を測定した。検圧法では，ワールブルグ検圧装置を用い，果実の赤道部の果肉組織から円盤状の切片（直径8 mm，厚さ1 mm）を作り，それらの切片について，25°C恒温のもとで，振とうを続けながらO_2吸収量およびCO_2排出量の測定を行なった。また，種子の呼吸測定もこの方法を用い，切片を作った同じ果実の種子について，切片の呼吸測定と同様な条件でO_2吸収量CO_2排出量を測定した。

種子の着色度調査は，呼吸測定に使用した種子のほかに，これと同じ時期に採取した果実を加え，20果に含まれる種子について観察を行なった。正常に発育した果実の種子では，ある時期になると，その着生点から頂端部に向って規則正しく着色が進行することから，その長径を10等分し，その着色部の占める部分を1から10までの指数で表わした。

果実の発育調査は，標識をつけた25個の果実を水置換法によりそれぞれの容積を測定し，それらの平均を求めた。

種子の発育調査は，果実の発育調査と同時に採取した果実の種子について，その生重および80°Cにおける乾物重を測定した。

結果および考察

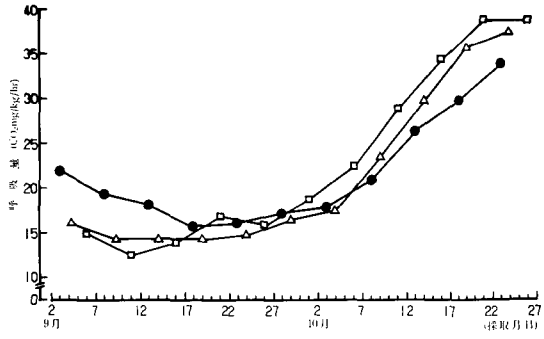
1. 着生中の果実における呼吸クライマクテリックの判定

時期別に採取した果実について，SMOCKの呼吸測定法に従い，採取後24時間目の呼吸量を測定し，呼吸クライマクテリックミニマム（以後RCmin.と記す）の判定をこころみた。しかし，同24時間目の呼吸量だけではRCmin.の判定に誤差を生じやすいという中島[9]らの報告があるので，同24時間にひき続いて同48時間目および96時間目の呼吸量を採取時期別に測定した。

その結果は，採取後24時間目の呼吸量についてみると，9月27日と10月2日の間でRCmin.があったと思われる。また同38時間目のそれは9月27日と10月2日の間，同96時間目のそれは9月12日と9月17日の間にあったと思われる（図-1）。

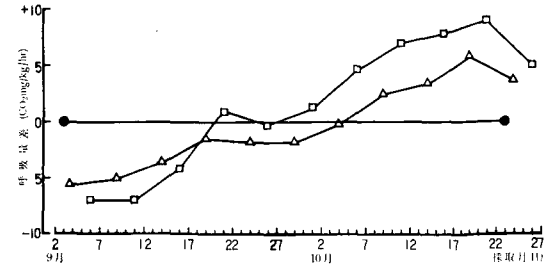
中島らによると，採取時期別に果実を採取してから24時間後の呼吸量を基準にし，この値と同48時間および96時間後の呼吸量との差を求め，その値の正か負かをRCmin.の判定の基準とし，負から正へ逆転する時期をもってRCmin.の時期としている。この方法によって呼吸量差を求めると，採取後96時間目の量と同24時間目の呼吸量差は9月17日採取の果実について負から正へ逆転がみられた。同様に採取後48時間と同24時間との差は10月2日採取の果実について負から正へ逆転した（図-2）。このことからRCmin.は9月27日と10月2日の間であると判定することが出来る。

このように，呼吸の量的関係からRCmin.を知ることが出来る一方，O_2吸収量およびCO_2排出量関係からも



図—1　各採取時における採取後の時間別呼吸量変化

●—●：24時間後　△—△：48時間後
□—□：96時間後



図—2　各採取時における採取後の時間別呼吸量差

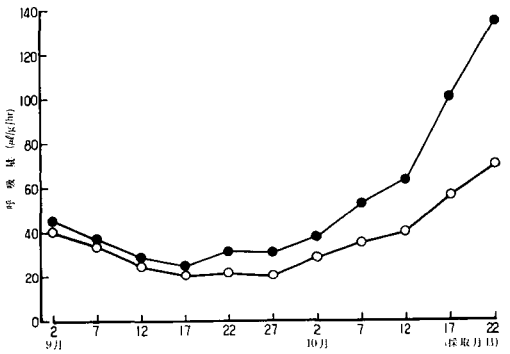
●—●：24時間後　△—△：48時間後
□—□：96時間後

これを確かめることができる。すなわち，ワールブルグ検圧装置により果肉切片について O_2 吸収量および CO_2 排出量関係について検討を加えた（図-3)。

CO_2 排出量は9月17日まで減少を続けたが，その後次第に増加して10月2日ごろからさらにその傾向が強まった。

O_2 吸収量については9月17日まで減少し，その後9月27日までその変化が小さいが，10月2日ごろから次第に増加しはじめた。

次に O_2 吸収および CO_2 排出関係についてみると，呼吸商 (CO_2/O_2) は9月17日までは約1.1であったが，その後次第に大きくなり，10月2日以後になるとさらに大きくなった。



図—3 果肉切片の呼吸量変化

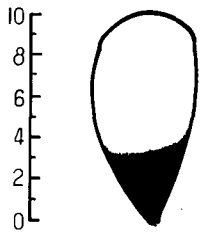
●—●： CO_2 排出量　○—○： O_2 吸収量

これと果実全体の呼吸について比較すると，呼吸量が減少傾向を示している9月17日までは，呼吸商は約1.1であるが，呼吸量が最低を示す9月17日から9月27日までは呼吸商はそれよりも大きくなり，RCmin. 以後10月2日ごろからさらにその傾向が大きくなった。

岡本[12,14]らも‘国光’‘旭’その他の品種について，これと同様な結果を報告しており，この方法によっても果実の呼吸クライマクテリックの時期の大要を知ることが出来る。すなわち，呼吸クライマクテリックの時期になると，O_2 吸収より CO_2 排出が盛んになることを判定の基準にするものであるが，品種によってはRCmin. 以前でも呼吸商が大きいものもあるので，RCmin. の判定を誤る可能性があるので，RCmin. 判定法としては適正であるとはいえない。

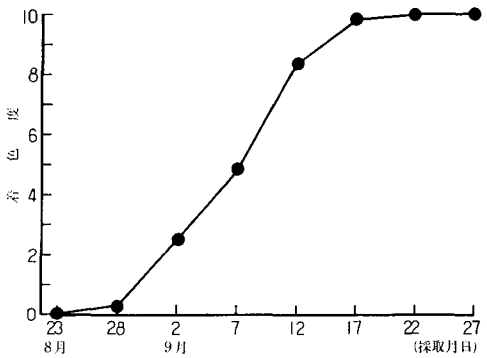
2. 種子の呼吸とその着色度

正常な果実において，ある程度肥大すると，はじめ種子全体が白色であるが，その着生部分から着色がはじまる。その後種子の頂端部に向って順序正しく着色が進行する。このことから，種子の長径を10等分して，その着色の進行（以下着色度と記す）を1から10までの指数で観察記録することが可能である（図-4)。



図—4 種子の着色度指標

この方法により，採取時期別に，果実20個について種子の着色度を調査した。その結果，8月28日頃から着色が始まり9月17日頃までの約25日間で，きわめてすみやかに着色を完了した（図-5)。



図—5 種子の着色

この結果と果実の呼吸の結果を比較すると，種子の着色が完了すると同時に果実の呼吸が最低値を示す時期に入るものと思われる。

また，過去3カ年間の結果では，種子の着色開始から完了までの間は約25日を要することが確かめられた。このことから，その着色開始時を知ることにより，その約25日後に果実の呼吸が最低値を示す時期であることの予測ができるものと思われる。また，果実の呼吸が最低を示す時に種子の着色が完了し，その約10日後にRCmin. があったと思われるので，その着色完了時点を知ることによりRCmin. の時を予測することが可能である。

しかし品種により差異があるものと思われるので，この点についてはさらに検討を要する。

上述のように，種子が順序正しく着色するのは，正常に発達した果実の種子についてのみいえることで，次のような場合にはかならずしも着色が順序正しく行なわれない。

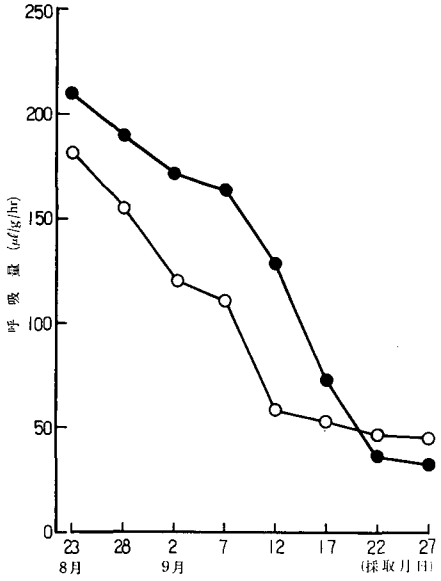
1. 熟度促進剤の撒布などにより人為的に果実の熟期をコントロールした場合。

2. 果芯部にシンカビなどの侵入を受けた場合。

3. 受精が不完全で，種子が正常に発達していない場合。

以上の場合は，種子の着色進行が異常であり，果実の熟度判定の指標とするのは困難である。

種子の呼吸変化は，その着色度と共に，急激に減少し，ついにはほとんど停止してしまう。とくに，果実がまだ未熟のうちは，種子の呼吸量並びに呼吸商ともに大きいが，果実の呼吸が最低値を示す時点で O_2 吸収および CO_2 排出関係が逆転し，呼吸商は1より小さくなった(図-6)。



図—6　種子の呼吸量変化

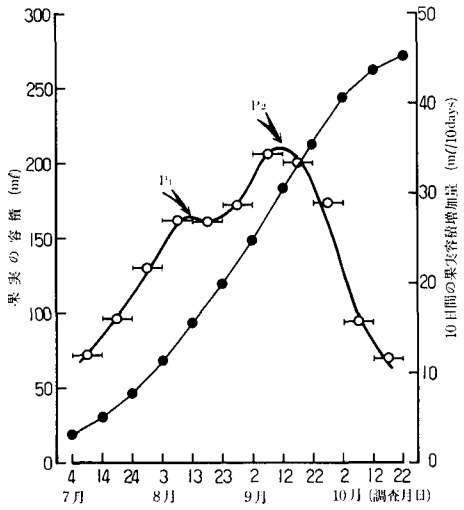
●—●:　CO_2 排出量　　○—○:　O_2 吸収量

この結果と種子の着色度の関係を比較すると，着色の完了する時点と O_2 吸収 CO_2 排出関係が逆転する時点とがほぼ一致し，また，果実の呼吸はその呼吸最低値を示す時期とで一致している。したがって，種子呼吸の結果からも，果実の熟度を判定することができるものと思われる。

果実の熟度と種子の呼吸との関係は，アボカドを用いて ZAUBERMAN[18] らは，その未熟のときに種子の呼吸量がきわめて大きいが，熟期に入ると小さくなるという報告をしている。しかし O_2 吸収量についてのデーターがないのでその呼吸商はわからない。

3. 果実の発育と熟期

果実の呼吸変化や種子の着色度は，果実の発育と密接に関係していると思われるので，果実発育のパターンを調べた。



図—7　果実の発育

(1)　P_1, P_2:　容積増加の最大時期

(2)　-●-:　容積増加

　　⊢○-⊣:　10日間当たりの容積増加量

果実は，7月以前においてまだきわめて小さく，7月中旬より次第に発育を早め，9月中旬頃まで続き，その後の発育は次第に減少した(図-7)。

このように，果実発育のパターンは一見してS字型曲線に見受けられるが，これを測定から測定までの10日間における果実容積増加量について見ると，発育のもっとも盛んに行なわれる2つの相が見受けられた。第一相(P_1)は8月中旬，第二相(P_2)は9月中旬であった。このことからリンゴ果実は，厳密には，二重S字型発育をするものと思われる。

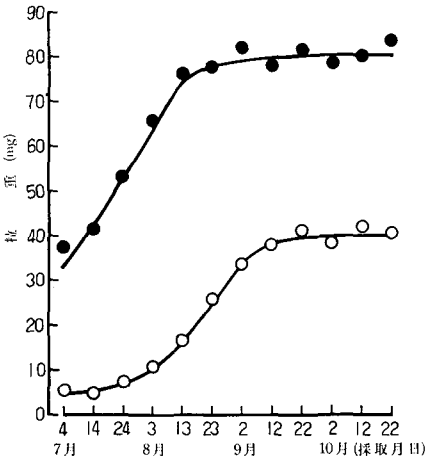
従来，このパターンについてはS字型発育であるとする報告が多い[1~3,15,17]。しかし，近年，奥瀬[13] らによって二重S字型発育をすると報告されたが，本試験においては，後者の結果と一致した。

果実発育のパターンと種子の着色度および果実の呼吸との関係を検討すると，第一相(P_1)直後から種子は着色を開始し，第二相(P_2)直後に完了するものと思われる。また，第二相(P_2)直後が果実の呼吸が最低値を示す時期がくることがわかった。

4. 種子の発達

種子の生重は8月中旬頃まで増加し，乾重は9月中旬まで増加した(図-8)。

このように種子の生重と乾重とでは発育相に時期的なずれがある[4]。このことについて，リンゴでは無胚乳種子であり，はじめ寒天状の未熟な胚乳が種子の大部分を



図—8 種子の発育

●—●: 生 重 ○—○: 乾 重

占めているが，その後，子葉が発達充実して種子が完成するので，この時期的な相違によるものと思われる。

胚乳と胚の発達過程に時期的なずれがあることについてはリンゴやブドウで，すでに LUCKWILL[7] や NITSCH[11] によって報告されている。

種子の発達のうち，乾重が最大になった9月17日頃，果実の呼吸は最低値を示す時期に入った。

以上述べて来たように，種子登熟と着色の完了する時期とがほぼ一致し，また，その時期から果実の呼吸が最低値を示す時期に入り，まもなく RCmin. であることがわかった。

したがって種子の発育と果実の発育とは密接な関係があり，このうちとくに種子の着色度による果実の熟度判定がもっとも簡単であり，実用上きわめて有効であると思われるが，さらに多くの品種について検討を加えてみる必要がある。

摘 要

呼吸クライマクテリックミニマムは，貯蔵用果実の収穫適期を決定するのに有効な指標である。

著者らは，より簡便な指標をさがすために，果実の発育，種子の発達，果実の呼吸などについて，とくに熟期におけるそれら相互の関係について検討した。

その結果は次のようである。

1. 紅玉の果実発育パターンは，二重S字型曲線で，果実が急に大きくなる二つの相がある。すなわち，第一相 (P_1) は8月13日頃で，第二相 (P_2) は9月12日頃であった。

2. P_1 の直後，種子の基部から着色がはじまり，頂端部へと進行した。P_2 の直後，種子の着色は完了し，同時に乾重は最大になった。

3. P_2 直後，すなわち9月17日頃に果実は呼吸の最低を示す時期に入り，ひき続き，9月27日頃が呼吸クライマクテリックミニマムであった。

以上のように，種子が着色する時期と果実の呼吸ならびに熟期との間には，極めて密接な関係があると思われる。

文 献

1) BAIN, J. M. and R. N. ROBERTSON 1951. The physiology of growth in apple fruits. I. Cell size, cell number, and fruit development. Aust. J. Sci. Res. B, **4**: 75-91.

2) DENNE, M. P. 1960. The growth of apple fruitlets, and the effect of early thinning on fruit development. Ann. Bot. **24**: 397-406.

3) FLOOD, A. E., A. C. HULME and L. S. C. WOOLTORTON 1960. The organicacid metabolism of Cox's Orange Pippin apple. I. Some effects of the addition of organic acids to the peel of the fruit. J. Exp. Bot. **11**: 316-334.

4) HARLEY, C. P. 1942. Seasonal growth and dry matter accumulation in Winesap apples. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **40**: 165-168.

5) KIDD, F. and C. WEST 1945. Respiratory activity and duration of life of apples gathered at different stage of development and subsequently maintain ed at a constant temperature. Plant Physiol. **20**: 467-504.

6) 熊代克巳 1961. 果樹栽培生理新書「リンゴ」, pp. 103.

7) LUCKWILL, L. C. 1953. Studies of fruit development in relation to planthormones. I. Hormone production by the developing apple seed in relation to fruit drop. J. Hort. Sci. **28**: 14-24.

8) 永沢勝雄 1970. 果樹園芸新訂書, pp. 282-283.

9) 中島武彦・田村 勉 1970. リンゴ果実の熟度に関する研究 1. 果実(旭)の呼吸クライマクテリックと熟度との関係. 園学雑 **39**: 77-83.

10) 中島武彦 1972. リンゴ果実の貯蔵性に及ぼす収穫時期の影響. 学位論文.

11) NITSCH, J. P., C. PRATT, C. NITSCH and N. J. SHAULIS 1960. Natural growth substance in Concord and Concord Seedless grape in relation to berry development. Am. J. Bot. **47**: 566-576.

12) 岡本辰夫・原田順厚・小山内たか 1970. 赤外線炭酸ガス分析計によるリンゴ果実の呼吸測定について. 弘大農報 **16**: 28-30.

13) 奥瀬一郎・青木二郎 1964. 袋かけの有無とリンゴ「紅玉」の果実の発育, 成分変化, 銹果並びに貯蔵障害果発生との関係. 弘大農報 **10**: 78-88.

14) 小山内たか・原田順厚・岡本辰夫 1967. エチレンのリンゴ果実生理におよぼす影響について. 弘大農報 **13**: 14-21.

15) PEARSON, J. A. and R. N. ROBERTSON 1953. The physiology of growth in apple fruits. IV. Seasonal variation in cell size, nitrogen metabolism, and respiration in developing Granny Smith fruits. Aust. J. Biol. Sci. **6**: 1-20.

16) SMOCK, R. M. 1948. A study of indices for McIntosh apples. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **52**: 176-182.

17) TUKEY, H. B. and J. O. YOUNG. 1942. Gross morphology and histology of developing fruit of the apple. Bot. Gaz. **104**: 3-25.

18) ZAUBERMAN, G. and SCHFFMANN-NADEL M. 1972. Respiration of whole fruit and seed of avocado at various stages of development. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **97** (3): 313-315.

Summary

It is well known that the respiratory climacteric minimum is a useful indicator for the determination of the optimum harvest date for apple fruit storage. However, the method is complicated.

Thus in an attempt to find a more convenient indicator for apple fruit maturity and respiratory climacterics, the authors have studied the growth of the fruit, the development of the seed, fruit respiration and the correlations among them.

The results are summarized as follows:

1. The pattern of fruit growth of Jonathan appeared as a double-sigmoid curve in volume, which showed two rapid growth phases, namely P_1, P_2 in other words 1st, 2nd growth phase. P_1 appeared on or about August 13 and P_2 around September 12 in 1972.

2. Immediately after the appearance of P_1, the basal end of the seed commenced to color and the coloration progressed to the apical end of the seed. Immediately after P_2, the seed completed its coloration, and at the same time the seeds attained their maximal dry weight.

3. Immediately following P_2, fruit respiration was at the stage of respiratory minimum on September 17 or thereabouts and subsequently the respiratory climacteric minimum was seen on September 27 or thereabouts.

Thus it may be said that the seed coloration is at least one visible sign of apple maturity.