振動が果実の呼吸生理に及ぼす影響

II. トマト果実の追熟に対する振動の影響

中村怜之輔・伊東卓爾・稲葉昭次

(岡山大学農学部)

The Effect of Vibration on the Respiration of Fruit

II. Effects of Vibration on the Respiration Rate and the Quality of Tomato Fruit during Ripening after Vibration

Reinosuke NAKAMURA, Takuji ITO and Akitsugu INABA

Faculty of Agriculture, Okayama University, Okayama

Summary

Employing the tomato fruit vibrated at 1G and 3G for 1hr and 5hrs respectively, changes in respiration rate, color development, firmness, soluble solids and titratable acid contents, constituents of sugars and organic acids, and organoleptic evaluation during ripening after vibration were studied from 1973 to 1975. An additional observation on the respiration rate of tomato fruit vibrated at different stages of ripeness was carried out in order to study the relationship between the fruit maturity and the physiological response to vibration.

An increased respiration rate after vibration, which showed more intensive elevation at 1G than that at 3G, continued for about 60hrs after the vibration was terminated for every vibrating condition. In fruit vibrated at the turning stage of ripeness, the respiration rate was followed by an another sudden increase which seemed to be the climacteric rise of respiration. The climacteric maximum in the fruit vibrated at 3G was achieved at a slightly earlier time than at 1G, in spite of retarding the color development of the fruit surface and locular gelatinous tissue.

Citric acid, malic acid and titratable acid contents of tomato fruit vibrated at 3G increased temporarily during vibration. These high levels of acid contents decreased rapidly during ripening after vibration, and attained to the lower level at the full ripe stage of ripeness. Glucose and fructose contents showed little correspondence with the intensity of vibration.

The poor organoleptic evaluation characterized by light taste and mealy texture was observed on the fruit vibrated at 3G vibration of turning stage. Moreover, changes in respiration rate, color development and acid contents during ripening after vibration were more striking in fruit vibrated at the turning stage of ripeness.

From these facts obtained above, the physiological effect of vibration on tomato fruit was discussed. It was clear that some physiological disorder might have occurred in tomato fruit vibrated at an intensive vibrating acceleration exceeding the limited level of vibration, and that the physiological effect of vibration was sensitive in the fruit at the turning stage of ripeness. The careful consideration must be taken about the fruit maturity and the vibrating condition in the course of transportation of tomato fruit.

緒言

前報(16)で、振動中および振動中止直後のトマト果実の吸呼変動について報告し、トマト果実は振動に対して

生理的に敏感に反応することを明らかにした。さらに、短時間の振動の影響は、その後の追熟中にも及ぶことがうかがわれた。そこでこの点を明らかにするために、振動後追熟中の呼吸変動、熟度の進展状態、内容成分の変化および完熟後の食味などの点について調査した結果、

1976年6月10日 受理

振動の影響は追熟中を通じて認められたのでここに報告する。

実験と結果

I. 追熟中の呼吸変動および着色状態

材料と方法

材料：1973年10月～12月に、岡山市近郊産のハウス抑制栽培トマト‘みのり’を用い、turning stage および pink stage の果実に一定の振動処理を行なったのち追熟させた。実験期間中を通じて同一ハウスから turning stage の果実を採取し、一夜室内に放置後振動処理を行なった。pink stage の果実は、turning stage の果実を室内で追熟させたものを用いた。果実は中庸の大きさ（約 150g）のものを用い、多数の中からほぼ同一の生理的条件のものを選んだ。

振動処理：前報(16)で示した水平振動機に1個ずつ傷がつかないように注意して果実を固定し、一定の振動を加えた。振動の強さは1G および 3G とし、振動時間はそれぞれについて1時間および5時間とした。振動条件

は振幅は 80 mm、振動数は 1G 区で 145cpm、3G 区で 240cpm であり、これらはすべて前報と同様であった。なお、1 処理区の供試個体数は 25 個としたが、実験期間中に事故や異常のために数個除外した区があった。

呼吸強度の測定：通気式比色法によって排出炭酸ガス量を測定した。3 個（約 500g）ずつ一組として、同一個体で振動中止直後から完熟にいたる間の呼吸変動を追跡した。呼吸室の通気量は 100 ml/min であり、その他の取扱いはすべて前報に従った。

熟度判定：前報(16)の基準に従って果面の着色状態から 5 段階に分け、それぞれ次のスコアで示した。

turning stage : 1, pink stage : 2, red stage : 3, full ripe stage : 4, over ripe stage : 5. また実験終了時に果実内部の着色状態を観察した。

食味テスト：完熟時に約 10 人で採点法によって食味テストを行ない、甘酸味、風味、肉質、総合食味についてそれぞれ次の基準に従って採点した。very good : 5, good : 4, medium : 3, poor : 2, very poor : 1.

以上の各項目について同内容の調査を 3 回反覆して行

Fig. 1. Changes in the respiration rate of tomato fruit during ripening after vibration (Nov. 6-23, 1973).
(○—○ 1G-1hr, ●—● 1G-5hrs, △—△ 3G-1hr, ▲—▲ 3G-5hrs, ×····× Cont.)

Fig. 2. Changes in ripeness score of tomato fruit during ripening after vibration (Nov. 6-23, 1973). Ripeness score: 1: turning stage, 2: pink stage, 3: red stage, 4: full ripe stage, 5: over ripe stage. Each stage was determined by surface color development.

(O—O 1G-1hr, ●—● 1G-5hrs, △—△ 3G-1hr, ▲—▲ 3G-5hrs, ×……× Cont.)

* Significant at 5% level.

ない (1回目 10月1日～6日, 2回目 11月6日～23日, 3回目 12月4日～15日), ほぼ同様の結果を得たが, ここでは主として2回目のシリーズの結果について示した. 室温は実験期間中を通じて $20 \pm 1^\circ\text{C}$ に調節したが, 11月下旬以後は $\pm 2^\circ\text{C}$ 程度の変動がみられる場合があった.

結果

呼吸変動 振動中止後完熟に到る間の呼吸強度の変動を, 振動前を100とした指数で示すと Fig. 1のとおりである. 振動前の排出炭酸ガス量は, turning stageの果実では $20 \sim 30 \text{ mg/kg} \cdot \text{hr}$, pink stageの果実では約 $40 \text{ mg/kg} \cdot \text{hr}$ であった. turning stageで処理した果実では, 振動中止時およびその後全体的にみて呼吸強度の増加程度は1G 5時間区でもっとも大きく, 3G処理区ではむしろ小さくなった. どの処理区とも振動中止後数時間は呼吸上昇が継続し, その後一度やや減少するがふたたび増加して最高値に達したのち, 徐々に復元する傾向がみられた. この減少は50～60時間後まで続き, 完全に復元しないままふたたび急激な上昇が始まった. ここでみられる呼吸上昇は無処理区でも認められ, 着色からみた熟度の進展状態と考え合せてクライマクテリック・ライズであると判断された (7, 8, 12, 17, 19, 22, 23). その後3G処理区では約80時間後に, また無処理

区および1G処理区では約90時間後にクライマクテリック・マキシマムを示したのち急減した. このような追熟中の呼吸変動から, 振動による呼吸増加は振動中止後少なくとも50時間は継続すること, クライマクテリック・マキシマムが3G処理区で約10時間早くなることが認められた.

pink stageで処理した果実では, 振動中止直後の呼吸変動の傾向は turning stageで処理した果実の場合とほぼ同様であったが, 全体的に処理区間の差や変動の程度は小さいように思われた. また, 振動処理時にすでにクライマクテリック・ライズが始まっていて, その後の呼吸変動は振動による上昇とクライマクテリック・ライズによる上昇とが重なり合っているように思われ, 振動の影響は小さいように考えられた. マキシマムの時期も処理区間の差は認められなかった.

熟度の進展状態 果面の着色程度からみた熟度の進展状態を Fig. 2に示した. turning stageで振動処理した果実では, 1G処理区は無処理区と同様に順調に着色が進行したが, 3G処理区では1日後から2日後にかけて着色の進行が一時停滞した. その後はほぼ順調に着色し, 完熟時には処理区間の差はほとんど認められなくなったが, 振動による呼吸増加が継続している間は着

色がやや遅れ、振動の影響を受けているように見受けられた。一方、pink stage で処理した果実では、一時室温がやや低下したことに起因して1日後から2日後にかけて全体的に着色の進行が停滞し、その後は1G 処理区でやや着色が遅れる傾向がみられたが、全期間を通じてみると処理区間に有意の差は認められなかった。

また、turning stage 処理の果実では、着色がやや不均一になる個体が3G 処理区で多くなるように見受けられた。完熟後に果実を切断して内部の着色状態を観察したところ、ゼラチン部がやや暗緑色の果実が1G 5時間処理区や3G 処理区などの強振動区で多くみられ、成熟

がやや異常になつているように思われた。pink stage の果実では、外部内部ともに着色状態には処理区間の差は認められなかった。このような着色の不均一な状態をまとめて示すと Table 1 のとおりである。

食 味 完熟時に行なった食味テストの結果を Table 2 に示した。turning stage 処理の果実では、1G 処理区では無処理区と同様に味が濃厚で肉質も良好であったが、3G 処理区では味が淡白で肉質も軟弱化あるいは粉質化して、全体的に食味がかなり劣った。pink stage 処理の果実でも3G 処理区で肉質が劣る傾向がみられたが、全体としては食味の低下はあまり明確ではなかった。

Table 1. The lack of uniformity in color development of tomato fruit at the full ripe stage as influenced by various vibrating conditions* (1973).

Stages vibrated	Vibrating conditions	Uneven slightly in surface color		Dark green in locular tissue	
		Exp. 1**	Exp. 2***	Exp. 2***	Exp. 3****
Turning stage	1 G-1 hr	25%	24%	25%	39%
	1 G-5 hrs	30	24	74	57
	3 G-1 hr	40	20	83	43
	3 G-5 hrs	45	40	83	22
	Cont.	15	27	38	31
Pink stage	1 G-1 hr	—	35	30	—
	1 G-5 hrs	—	36	37	—
	3 G-1 hr	—	37	47	—
	3 G-5 hrs	—	35	35	—
	Cont.	—	34	25	—

* : Ratio to about 25 fruits for every plot.

** : Oct. 1~6, 1973.

*** : Nov. 6~15 (turning stage), Nov. 16~23 (pink stage), 1973.

**** : Dec. 4~15, 1973.

Table 2. Scores* in organoleptic evaluation** of tomato fruit at the full ripe stage vibrated at various conditions(1973).

Stages vibrated	Vibrating conditions	Sweetness	Flavor	Texture	General evaluation
Turning stage (Nov. 6~15)	1 G-1 hr	4.2	4.5	4.3	4.5
	1 G-5 hrs	3.7	3.7	3.3	3.8
	3 G-1 hr	2.5	2.7	2.2	2.7
	3 G-5 hrs	2.3	2.5	2.2	2.2
	Cont.	3.7	3.8	3.8	3.8
	LSD 5%	0.77	0.87	0.82	0.97
Pink stage (Nov. 16~23)	1 G-1 hr	3.8	4.0	3.8	4.0
	1 G-5 hrs	3.5	3.8	3.5	3.5
	3 G-1 hr	3.2	3.7	3.5	3.3
	3 G-5 hrs	3.2	3.0	2.5	3.2
	Cont.	3.5	4.0	4.2	4.0
	LSD 5%	NS	NS	0.97	NS

* : 5 : very good, 4 : good, 3 : medium, 2 : poor, 1 : very poor.

** : Panel consisted of about 10 members.

II. 振動に対する反応の熟度による相異

材料と方法

材料：1974年5月～6月に、岡山市近郊産のハウス半促成栽培トマト「はごろも」を用い、mature green stage, turning stage, pink stage, red stage および full ripe stage の5段階の熟度(16)の果実について、振動時の熟度と振動による呼吸変動や完熟後の果実品質との関係を調査した。同一ハウスから mature green stage または turning stage の果実を採取し、一夜室内に放置後振動処理を行なった。pink stage 以上の果実は、turning stage の果実を室内でそれぞれ所定の熟度まで追熟させたのちに供試した。

振動処理：実験Iと同様にして、1G および3G で3時間振動した。

呼吸強度の測定：振動中止直後から48時間後までの排出炭酸ガス量の変化を、通気式比色法で測定した。3個ずつ一組として、1処理区につき3回反覆した。

食味テスト：各処理区とも完熟時に約10人で総合食味を採点法によってテストした。採点の基準は実験Iと同様である。

実験期間中を通じて室温は $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ に保つように努力した。また、全体的に果実の取扱いは実験Iと同様であった。

結 果

呼吸変動 振動中止後48時間の呼吸変動を、振動前を100とした指数で示すと Fig.3 のとおりである。1G 処理区では、振動中止時およびその後の全体的な変動の

Fig. 3. Changes in the respiration rate of tomato fruit vibrated at different stages of ripeness.
(May~Jun., 1974. Cultivar: Hagoromo)
(Vibrated at mature green stage x.....x, turning stage O—O, pink stage ●—●, red stage Δ—Δ, full ripe stage ▲---▲.)

状態からみて、turning stage の果実でもっとも呼吸強度の増加の程度が大きかった。以後、pink stage, red stage, full ripe stage と熟度が進むほど増加の程度が小さくなり、振動の影響が小さくなるように見受けられた。

3G 処理区では、turning stage や pink stage の果実の呼吸増加の程度がむしろ小さくなり、熟度間の差が明確には認められなくなった。

食 味 完熟時の食味テストの結果を総合食味のス

Table 3. Scores* in organoleptic evaluation** of taste of tomato fruit at the full ripe stage vibrated at different stages of ripeness (1974).

Stages vibrated	Vibrating conditions			LSD 5%
	1G-3hrs	3G-3hrs	Cont.	
Mature green stage	3.0	3.8	3.8	NS
Turning stage	4.2	2.5	4.5	1.22
Pink stage	4.3	3.0	4.7	1.51
Red stage	4.4	4.2	4.5	NS
Full ripe stage	4.2	4.0	4.1	NS

*: 5: very good, 4: good, 3: medium, 2: poor, 1: very poor.

** : Panel consisted of about 10 members.

コアで示すと、Table 3 のとおりである。turning stage で振動した果実では、3G 処理区で味が淡白になり、肉質がやや粉質化していて、全体的に食味の低下がみられた。pink stage で振動した果実でも同様の傾向がみられたが、turning stage の果実は明確ではなかった。他の熟度で振動した場合は、いずれも処理区間の差は認められなかった。

III. 追熟中の果肉硬度、糖および遊離有機酸組成の変化

材料と方法

材料：1975年5月～6月に、岡山市近郊産のハウス半促成栽培トマト‘はごろも’を用い、turning stage および pink stage の果実で一定の振動処理を行なったのち、追熟中の果肉硬度、糖および遊離有機酸組成の変化について調査した。振動処理後は約 25°C の室内で追熟させ、処理直後および成熟段階ごとに5個体ずつをとって各項目の調査を行なった。

振動処理：実験 I と同様に振動の強さを 1G および 3G とし、それぞれについて振動時間を1時間および3時間として振動処理を行なった。いずれも中庸の果実(約 150g)をそろえ、1処理区30個体ずつを供試した。

果肉硬度の測定：果実の赤道部4個所と果頂部からそ

れぞれ約 1cm 立方の果肉切片をとり、カード・メーター（飯尾電機 M-301 AR 型）で貫入抵抗を測定した。

可溶性固形物含量：硬度測定後同一果実を 1 個ずつ別々に果肉部とゼラチン部に分け、二重ガーゼで搾汁したのちハンドレフракトメーター示度で表示した。この搾汁液はポリエチレン容器に入れて -20°C で凍結させ、適宜とり出して以下の分析試料とした。

滴定酸度：上記搾汁液をろ過したのち、0.1N カセイソーダ溶液で滴定してクエン酸含量として表示した。

糖および遊離有機酸の分別定量：搾汁液をろ過し、ろ液中の糖および遊離有機酸を trimethylsilyl (TMS) 誘導体にしたのち、ガスクロマトグラフィー (GLC) で分別定量した。実際の分析方法は、Sweeley ら (21), Philip ら (18), Johnson ら (13), Heatherbell (10, 11) などの方法を参考にして種々検討し、次のように行なった。

（糖および遊離有機酸フラクションの分離調製）

トマト搾汁液を原液のまま供試し、そのろ液 2ml を用いてイオン交換樹脂 CG-120 (H^+) と CG-4B (OH^-) で糖フラクションと酸フラクションに分離したのち、内部標準物質として糖については pentaerythritol, 酸については sorbitol の一定量を加えて定容にする。次に各フラクションからそれぞれ 0.5ml を 5ml 容のバイアル管にとり、デシケーター中で水を減圧除去し、さらにその後五酸化リンを入れたデシケーター中で減圧下で 24 時間以上放置して水を完全に除去する。この場合、

水がわずかでも残っているとクエン酸の TMS 化が不完全になる。

（糖の TMS 化と GLC の条件）

上記の乾燥糖フラクションに、pyridine : hexamethyl-disilazane : trimethylchlorosilane = 10 : 2 : 1 の混液の上澄液 0.15ml を加え、密封して 50°C で 2 時間時々激しく振とうしながら反応させる。その後室温に冷却し、一定量 (2 μl) を GLC に注入する。

GLC の条件は、充てん剤：3% SE-52 (chromosorb W) 60~80 メッシュ、カラム：3mm $\times$ 2m ガラスカラム、カラム温度：125~250 $^{\circ}\text{C}$, 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 検出器温度：280 $^{\circ}\text{C}$, キャリアーガス： N_2 55ml/min, GLC：島津製作所 GC-6AM, 検出器：FID。

（有機酸の TMS 化と GLC の条件）

乾燥遊離有機酸フラクションに N, N-dimethylformamide 0.1ml と N, O-bis-(trimethylsilyl)-trifluoroacetamide 0.05ml を加え、密封して 50°C で 30 分間時々激しく振とうしながら反応させる。その後室温に冷却して一定量 (2 μl) を GLC に注入する。

GLC の条件は、充てん剤：10% SE-30 (chromosorb W) 60~80 メッシュ、カラム：3mm $\times$ 2m ガラスカラム、カラム温度：130~250 $^{\circ}\text{C}$, 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 検出器温度：280 $^{\circ}\text{C}$, キャリアーガス： N_2 50ml/min。

（検量線）

あらかじめ既知濃度の標品を同様に TMS 化して

Fig. 4. Changes in the firmness of tomato pericarp tissue during ripening after vibration (May~Jun., 1975).
(○—○ 1G-1 hr, ●—● 1G-5 hrs, △—△ 3G-1 hr, ▲—▲ 3G-5 hrs, ×……× Cont.)

Fig. 5. Changes in soluble solids of tomato fruit during ripening after vibration (May~Jun., 1975).

* Indicated in handrefractometer readings.

(○—○ 1G-1 hr, ●—● 1G-5 hrs, △—△ 3G-1 hr, ▲—▲ 3G-5 hrs, ×……× Cont.)

得た検量線から含量を算出する。ここで用いた方法によると、GLC に注入する内部標準物質を $2\mu\text{g}$ とした場合、各糖および有機酸は 25 倍量まで検量線は完全に直線であった。

結果

果肉硬度 果実側面の果肉貫入抵抗の変化を Fig. 4 に示した。turning stage および pink stage の果実とも、振動処理終了直後にはやや軟化する傾向がみられたが、熟度の進展に伴って処理区間の差は認められなくなった。完熟期では、この測定法では処理による差はほとんど認めることができなかった。果頂部では、処理による差は認められなかった。

可溶性固形物含量および滴定酸度 果肉部とゼラチン部それぞれの振動処理後追熟中の可溶性固形物含量の変化を Fig. 5 に、また滴定酸度の変化を Fig. 6 に示した。可溶性固形物含量は、全体的に熟度の進展に伴ってやや減少の傾向であったが、とくに turning stage の 3G 5 時間処理区の果実では完熟時にゼラチン

部で減少の傾向がみられた。一方、pink stage で処理した果実では、処理区間の差はほとんど認められなかった。

滴定酸度についてみると、turning stage で処理した果実では、3G 処理区で振動直後に一時的に増加の傾向が認められ、とくに果肉部よりもゼラチン部で明確であった。一度増加した酸度はその後熟度の進展に伴って急速に減少し、完熟時には処理区間の差はほとんど認められなかった。一方、pink stage で処理した果実では、ゼラチン部で振動処理によって酸度は減少の傾向がみられたが、完熟時には処理区間の差はみられなくなった。果肉部では終始ほとんど変化が認められなかった。

糖組成 成熟期のトマト果実に含まれる糖成分は、ガスクロマトグラム上のピークの保持時間から、主としてほぼ等量のグルコースとフラクトースで構成され、量的にはフラクトースがやや多く含まれることが確認された。シュクロースは、検出されたが極めて微量であった。振動処理後追熟中のこれらの各成分の変動をみると、全

Fig. 6. Changes in titratable acids of tomato fruit during ripening after vibration (May~Jun., 1975).

* Indicated as citric acid.

(○—○ 1G-1 hr, ●—● 1G-5 hrs, △—△ 3G-1 hr, ▲—▲ 3G-5 hrs, ×……× Cont.)

Fig. 7. Gas-liquid chromatograph separation of trimethylsilyl derivatives of organic acids prepared from tomato fruit and acid standards.

Instrument: Shimadzu Model GC-6 AM. Detector: Flame ionization.

Column: 3 mm×2 mm glass column packed with 10% SE-30 on 60~80 mesh chromosorb W, programmed from 130°C to 250°C at 5°C/min.

Carrier gas: N₂ 50 ml/min in flow rate.

Peaks: 1: oxalate, 2: succinate, 3: fumarate, 4: malate, 5: oxalacetate, 6: tartarate, 7: citrate, 8: sorbitol (internal standard), 9: phosphate, 10: unknown, 11: unknown.

体的には turning stage で処理した果実では果肉部ではやや減少、ゼラチン部ではやや増加の傾向が認められた。しかし、個体間の差が大きく、変動の程度も小さくて、振動処理の影響を認めることはできなかった。pink stage で処理した果実でも個体差が大きく、振動の影響を認めることができなかった。

遊離有機酸組成 トマト果実に含まれる遊離有機酸および標品のガスクロマトグラムを示すと Fig.7 のとおりである。両者の各ピークの保持時間の比較から、成熟期のトマト果実に含まれる主要遊離有機酸はクエン酸とリンゴ酸であることが確認された。他に、保持時間約6分の位置に明確なピークが認められたが、これは種々検討の結果リンゴ酸であることが判明した(11)。

次に、果肉部およびゼラチン部の主要遊離有機酸含量の振動後追熟中の変化をみると、クエン酸については Fig.8 に、リンゴ酸については Fig.9 に示したとおりである。クエン酸およびリンゴ酸のいずれも、全体的には熟度の進展に伴って減少する傾向であった。しかし、turning stage で振動処理した果実では、振動中に一時

的に増加が認められ、この変化は果肉部よりもゼラチン部で明確であった。一度増加したこれらの酸は、その後熟度の進展に伴って急速に減少して処理区間の差が小さくなった。完熟時には、果肉部では処理による差は認められなかったが、ゼラチン部では3G 5時間処理区でむしろ含量が低くなった。一方、pink stage で処理した果実では、振動処理終了時にやや酸含量の減少がみられたが、熟度の進展に伴って処理区間の差が小さくなり、完熟時には明確な処理の影響を認めることはできなかった。

食味 完熟後食味テストを行なった結果、実験Iと同様の傾向であった。turning stage で処理した果実の3G 処理区で、全体的に味が淡泊となり、肉質が粉質化して食味はかなり劣った。pink stage で処理した果実では、3G 処理区でやや肉質の軟化が認められたが、味は無処理区とほとんど差が認められなかった。

考 察

トマト果実にある一定の振動を加えると、ただちに呼

Fig. 8. Changes in citric acid of tomato fruit during ripening after vibration (May~Jun., 1975). (○—○ 1G-1 hr, ●—● 1G-5 hrs, △—△ 3G-1 hr, ▲—▲ 3G-5 hrs, ×……× Cont.)

Fig. 9. Changes in malic acid of tomato fruit during ripening after vibration (May~Jun., 1975).
 (○—○ 1G-1 hr, ●—● 1G-5 hrs, △—△ 3G-1 hr, ▲—▲ 3G-5 hrs, ×……×
 Cont.)

吸強度の増加がみられ、振動中止後も数時間は増加し続けたのち一度やや低下し、ふたたび増加して以後漸減の傾向が認められた。このときの呼吸上昇は、1G 処理区よりも3G 処理区でかえって小さくなった。このような振動直後の呼吸変動の様相は前報(16)と同様である。turning stage で振動した果実は、振動後約 60 時間後から明確なクライマクテリック・ライズを示したが、クライマクテリック・マキシマムは3G 処理区で無処理区に比較して約 10 時間早くあらわれた。一方、1G 処理区では無処理区と差は認められなかった。このことから、振動が強いとその影響は振動中止直後ばかりでなく、その後追熟期間中を通じてあらわれてくることうかがわれた。pink stage で振動した果実では、振動による呼吸上昇とクライマクテリック・ライズが重なっているためか、マキシマムの時期は処理区間で差は認められなかった。

3G 処理区でクライマクテリック・マキシマムが早くなるということは、それだけ成熟が促進されたものと考えられる。しかし、一方着色程度からみると振動による呼吸増加が続いている振動後約 60 時間は成熟が抑制さ

れる傾向がみられ、また完熟時にもゼラチン部がやや暗緑色の果実が多くなった。このような外観的な成熟と生理的な成熟の不一致は、一定線量の放射線照射の場合にも認められていることであるが(14, 15)、類似の現象であるかどうかは現段階では明確ではない。しかし、振動中止後もなお数時間は呼吸上昇が継続すること、振動刺激が一定限度までは刺激が強いほど呼吸増加が激しいが、それ以上の刺激に対してはむしろ呼吸増加が抑制されることなどを考え合せると、振動後呼吸増加が続いている期間中は一種の修復作用が働いていることが推察される。このような点については、今後さらに検討を続けたい。

完熟トマト果実の糖の主要構成成分はグルコースとフラクトースであり、これは従来の研究報告と一致する(1, 6)。しかし、各成分の振動処理による変化は、一定の傾向を認めることができなかった。遊離有機酸の主要成分はクエン酸とリンゴ酸であり、他の報告と一致する(1, 2, 3, 4, 5, 20)。これらの振動後追熟中の変化をみると、turning stage で振動処理を行なった果実では短時間の振動処理中に一時的に増加する傾向が認められた。その後の追熟中、熟度の進展に伴って急速に減少し、3G 処

理区では完熟時にはむしろ含量は低くなった。このような変化は果肉部よりもゼラチン部で明確であり、3G 処理区のゼラチン部の着色様相がやや異常であったことと考え合せて、トマト果実では種々の刺激に対する反応はゼラチン部に明確にあらわれてくることが推察される(4,9)。一方、pink stage の果実ではこのような振動直後の有機酸の増加は認められなかった。turning stage の果実でみられた強振動による有機酸の一時的な増加とその後の急速な減少から、一定以上の強振動によって代謝が影響を受けるとともにその後の成熟はやや異常になっていることがうかがわれる。とくに3G 処理区で明確であったことは、この処理区では呼吸増加が全体的にはかえって抑制されるとともに、クライマクテリック・マキシマムが少し早くなったことと関係づけられることも知れない。このような振動による代謝変動については、あらためて詳細に検討しなければならない。

振動による食味の低下は、実験時期によって多少の差はあっても明らかに認められた。とくに turning stage で処理した果実の3G 処理区で明確であった。特徴的な点は、味が淡白になること、肉質がやや粉質化することであった。前者については、この処理区で可溶性固形物含量や有機酸含量の減少がみられたことと一致する。しかし後者の点については、貫入抵抗からみた果肉硬度では十分表現することができなかった。肉質の測定方法についてはさらに検討の必要がある。

前報で、トマト果実は振動刺激に対して生理的に一定の許容域を持ち、その範囲内であれば振動刺激が大きいほど反応としての呼吸増加も大きくなるが、刺激がその範囲を越えると呼吸増加はかえって抑制されるのではないかと推論した(16)。本報告に示された実験Ⅰ～Ⅲの結果は、いずれも種々の点からこの推論を支持するものといえる。さらに、本報告の結果から熟度によって許容域が異なり、turning stage の果実では許容域が狭くて敏感であり、熟度が進むほど許容域が広かつ鈍感になるものと推察される。その結果 turning stage の果実はより小さい振動刺激で代謝が影響を受け、追熟がやや異常になって食味の低下が引き起されるものと考えられる。turning stage の果実は生理的にみて代謝の転換点にあることから、外界の種々の刺激に対してそれだけ不安定になることは充分うなずけることであろう。

以上のことを総合して考えると、トマト果実に振動刺激が加わった場合、その刺激が許容域内であれば呼吸増加だけでとどまるが、許容域を越えると生理的に変調をきたし、食味の低下を起す。そして turning stage の果実がもっとも敏感であり、それだけ振動の影響を受け

やすいものと考えられる。一方、現在わが国のトマト果実の出荷は turning stage で行なわれている場合が多い。硬くて扱いやすいという物理的な面や、棚持期間が長くなるといったような主として流通過程での利点に由来しているものと思われるが、生理的にみた場合にはかならずしも適切とはいえない。輸送中の品質低下を最少限にとどめるために、出荷時期はせめて pink stage に持ってくるべきものと思われるが、このような点について今後検討の必要があらう。

摘 要

1973 年から 1975 年にかけて、トマト果実を 1G および 3G でそれぞれ 1 時間および 5 時間振動し、その後追熟中の呼吸強度、着色状態、果肉硬度、可溶性固形物含量、滴定酸度、糖および遊離有機酸組成などの変化および完熟後の食味について調査した。さらに、振動時の果実熟度が振動後の呼吸強度に及ぼす影響についても調査した。

振動によって明らかな呼吸上昇が認められたが、増加の程度は 1G 処理区で大きく、3G 処理区ではむしろ小さくなった。いずれも、振動直後の呼吸増加は約 60 時間後まで継続した。その後 turning stage で処理した果実では明確なクライマクテリック・ライズがみられたが、マキシマムは 3G 処理区でやや早くあらわれてきた。一方、3G 処理区では果実表面の着色は一時的に遅れ、また内部ゼラチン部の着色がある程度異常になる傾向が示された。

追熟中のグルコースおよびフラクトースの変化と振動処理との間には一定の傾向を認めることはできなかったが、クエン酸およびリンゴ酸についてはいずれも turning stage の 3G 処理区で振動処理中に一時的な増加が認められた。しかし、その後熟度の進展に伴って急速に減少し、完熟時には 1G 処理区や無処理区よりむしろ含量は低くなった。また可溶性固形物含量も 3G 処理区でやや低くなる傾向であった。

完熟後の食味は 3G 処理区でかなり低下した。味が淡白になり、肉質が粉質化する傾向が認められたが、その劣化の程度は pink stage の果実より turning stage の果実で大きかった。その他、呼吸増加、着色異常、有機酸の一時的な増加とその後の減少などについても、全体的に turning stage の果実を振動した場合に影響が明確にあらわれてきた。

以上のような結果からトマト果実に対する振動の影響について論議し、トマト果実は振動刺激に対して生理的に一定の許容域を持ち、その範囲であれば振動刺激が大

きいほど呼吸増加は大きくなるが、刺激がさらに大きくなって許容域を越えると生理的に変調をきたし、追熟がやや異常になって食味の低下がひき起されるものと推察した。さらに、turning stage の果実がもっとも敏感に反応し、振動による悪影響を受けやすいことから、トマトの出荷熟度は生理的にはせめて pink stage 程度にすることが好ましいものと考えられる。

謝 辞 本研究を進めるうえで、専攻生紫芝敦子君の助力を得た。記して感謝の意を表する。

引用文献

1. BUESCHER, R. W. 1975. Organic acid and sugar levels in tomato pericarp as influenced by storage at low temperature. HortScience 10 (2) : 158-159.
2. DALAL, K. B., D. K. SALUNKHE, A. A. BOE and L. E. OLSON. 1965. Certain physiological and biochemical changes in the developing tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Food Sci. 30 : 504-508.
3. ———, ——— and L. E. OLSON. 1966. Certain physiological and biochemical changes in greenhouse-grown tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Food Sci. 31 : 461-467.
4. DAVIES, J. N. 1966. Changes in the non-volatile organic acids of tomato fruit during ripening. J. Sci. Food Agr. 17 : 396-400.
5. ———, and G. A. MAW. 1972. Metabolism of citric and malic acids during ripening of tomato fruit. J. Sci. Food Agr. 23 : 969-976.
6. ———, and R. J. KEMPTON. 1975. Changes in the individual sugars of tomato fruit during ripening. J. Sci. Food Agr. 26 : 1103-1110.
7. EMMERT, F. H. and F. W. SOUTHWICK. 1954. The effect of maturity, apple emanations, waxing and growth regulators on the respiration and red color development of tomato fruits. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 63 : 393-401.
8. GUSTAFSON, F. G. 1929. Growth studies on fruits. Respiration of tomato fruits. Plant Physiol. 4(3) : 349-356.
9. HALL, C. B. 1968. Changes in titratable acidity of tomato fruits subjected to low temperatures. HortScience 3(1) : 37-38.
10. HEATHERBELL, D. A. 1974. Rapid concurrent analysis of fruit sugars and acids by gas-liquid chromatography. J. Sci. Food Agr. 25 : 1095-1107.
11. ———. 1975. Identification and quantitative analysis of sugars and non-volatile organic acids in Chinese gooseberry fruit (*Actinidia chinensis* Planch.). J. Sci. Food Agr. 26 : 815-820.
12. 岩田 隆・大亦郁子・緒方邦安. 1969. 果実の収穫後における成熟現象と呼吸型の関係 (第2報). 収穫果実の呼吸型とその分類. 園学雑 38(3) : 279-286.
13. JOHNSON, L. A. and D. E. CARROLL. 1973. Organic acid and sugar contents of Scuppernong grapes during ripening. J. Food Sci. 38 : 21-24.
14. 加藤勝一・茶珍和雄・緒方邦安. 1967. 放射線照射による果実の熟度調整効果に関する研究 (第2報). トマト果実の追熟およびその生理作用に及ぼす影響. 園学雑 36(4) : 454-461.
15. ———. 1970. 放射線照射による果実の熟度調整効果に関する研究 (第5報). トマト果実の追熟およびその生理作用に及ぼす影響 (その2). 食工誌 17(3) : 97-103.
16. 中村恰之輔・伊東卓爾. 1976. 振動が果実の呼吸生理に及ぼす影響 I. 振動中および振動直後のトマト果実の呼吸強度の変化. 園学雑 45(3) : 313-319.
17. 大久保増太郎. 1968. 青果物の鮮度保持に関する研究 (第5報). トマト果実の呼吸に及ぼす環境条件とくにガス組成の影響. 園学雑 37(3) : 256-260.
18. PHILIP, T. and F. E. NELSON. 1973. A procedure for quantitative estimation of malic and tartaric acids of grape juice. J. Food Sci. 38 : 18-20.
19. PRATT, H. K. and M. WORKMAN. 1962. Studies on the physiology of tomato fruits. III. The effect of ethylene on respiration and ripening behavior of fruits stored at 20°C after harvest. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 81 : 467-478.
20. 崎山亮三. 1966. トマト果実内酸含量の発育中の変化. 園学雑 35(1) : 36-42.
21. SWEETLEY, C. C., R. BENTLEY, M. MAKITA and W. W. WELLS. 1963. Gas-liquid chromatography of trimethylsilyl derivatives of sugars and related substances. J. Amer. Chem. Soc. 85 : 2497-2507.
22. 高橋敏明・中山昌明. 1963. トマト果実の着色に関する研究 (第9報). 果実の呼吸と着色との関係. 園学雑 32(1) : 61-64.
23. 高田峰雄. 1967. カキおよびトマト果実の生育ならびに成熟に伴う呼吸量の変化. 園学雑 36(3) : 357-362.