収穫後の湿度条件がキュウリ、ナスおよびピーマン果実の エチレン生成に及ぼす影響

薛 彦斌*・久保康隆*・稲葉昭次*・中村怜之輔*

Effects of Humidity on Ethylene Biosynthesis of Cucumber,
Eggplant and Green Pepper Fruits

XUE Yanbin*, KUBO Yasutaka*, INABA Akitsugu* and NAKAMURA Reinosuke*

*Faculty of Agriculture, Okayama University,

Tsushima-naka 1-1-1, Okayama 700

The effect of water deficit on ethylene biosynthesis of cucumber, eggplant and green pepper fruits was studied at 25°C and different humidities (20, 53, 80, 97%RH). Although none or little ethylene production was observed at high humidity, rapid water deficit at low humidity caused ethylene production following a decrease in three kinds of fruits. Elevated ethylene production of the fruits was also induced by rapid fluctuating humidity, and continued of a high level after transferring to high humidity. 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) content, ACC synthase activity and ACC oxidase activity in peel and pulp of the fruits increased rapidly accompanied by rapid water deficit in the fruit at low humidity. These results seem to indicate that rapid water deficit at low humidity is unfavorable in the view of keeping the quality of fruits and vegetables, because of accelerating their ethylene biosynthesis.

(Received May 26, 1995)

エチレンは青果物の様々な生理現象に関与し、その発生の強弱、遅速は収穫後の貯蔵性や日持ちに大きくかわってくる¹⁾。エチレン生成の抑制手段としての環境要因制御に関する研究は、低温、低酸素および高炭酸ガスについては多いが^{2), 3)}、湿度との関係についての知見は極めて乏しい⁴⁾。一方、収穫後の青果物は水分供給を絶たれた状態にあり、たえず水分損失ストレスに遭遇する可能性が大きい状況下におかれている。流通過程で、包装しない場合には、昼夜・天候の差によってかなり大きい出荷容器内湿度変動が起こることが予想され、包装された場合でも袋内外の湿度差や温度変動に応じて多かれ少なかれ萎れは避けられない状況におかれている。

一般に青果物の生理活性抑制手段として効果的に広く活用されている低温も、低温との組み合わせの他の環境要因の影響を含めて総合的に考察する必要がある。特に、相対湿度は温度変化と連動して変化するため、湿度と生理活性との関係を十分知った上で、流通環境の中での湿度の役割についても整理しておくことが必要であろう。

このような背景のなかで、筆者らは収穫後の湿度条件が青果物生理に及ぼす影響について調査し、バナナやトマトでは低湿条件下で呼吸活性やエチレン生成が促進されること、さらに、健全な状態ではエチレン生成がほとんどみられないキュウリでも、低湿条件でエチレン生成が誘導されることを明らかにしてきた^{5), 6)}。

タンパク質含量の測定はBRADFORD¹²⁾の方法によって行った。0.1ml酵素液に5mlCBB(Coomassie brilliant blue, GC-250)試薬を加え、2分間以上1時間以内に595nmでの吸光度を測定して、タンパク質含量としたう え、酵素活性をタンパク質当たりで表示した。

上記の1)項目は7反復, 他の各項目はそれぞれ3反復とした。

実験結果

1. 湿度と重量減およびエチレン生成との関係

果実当初含水量を比較すると, キュウリが95.9%で最も高く, 次いでナス93.6%であり, ピーマンは90.9%で

最も低かった。このような3種果実の種々の湿度条件下での重量減とエチレン生成をFig. 1に示した。97%区では, キュウリの重量減は少なかったが, ピーマンとナスではやや大きくなって, 72時間で一般に商品限界値とされている5%を超えた。エチレン生成はキュウリでは96時間後にわずかに認められたが, ナスとピーマンでは終始認められなかった。他の湿度区の状況を見ると,

Fig. 1 Changes in weight loss and ethylene production of cucumber, eggplant and green pepper fruits at different humidities.

□ Weight loss   △ Ethylene production

3 種果実とも保持湿度が低いほど重量減は大きくなり、それに伴ってエチレン生成の時点が早くなり、また生成量も増加した。RH53%区と20%区では重量減に伴うエチレン生成が3 種果実とも明らかに認められ、特に20%区では初期に急激なエチレン生成が起ってピークに達した後減少する傾向が明らかに認められた。

重量減の程度、エチレン生成の様相は種類によって異なった。本調査の範囲では3 種果実の重量減はRH97%

区で2.5~7.7%, 80%区で5.8~15.7%, 53%区で15.2~25.8%, 20%区で20.5~37.4%であったが、同じ湿度条件下でも、重量減の程度は果実当初含水量が高いほど損失可能な重量が大きくなる傾向が認められ、特に低湿度下でその傾向が強くみられた。エチレン生成量からみると、ナスで最も高く、次いでキュウリであり、ピーマンは最も低かった。低湿度区でみられたピークに達する時点も遅速がみられ、20%区でキュウリとナスでは6

Fig. 2. The effect of fluctuating humidity on ethylene production of cucumber, eggplant and green peper fruits.

□ 97% RH   ● 80%, 53% and 20% RH

時間後、ピーマンでは9時間後であった。いずれの果実とも急速な水分損失条件下では直ちに急激なエチレン生成が起り、6～9時間でピークに達した後急速に減少する変化様相が一つの特徴として認められた。

2. 急速変湿条件とエチレン生成との関係

3種果実とも水分損失に伴って明らかにエチレン生成が認められ、特に水分損失が急激になるほどエチレン生成が著しい傾向がみられたので、種々の湿度変動条件下でのエチレン生成を再度調査し、その結果をFig. 2に示した。RH97%の一定湿度区では、キュウリおよびナスで5日後にわずかにエチレン生成が認められたが、ピーマンでは終始認められなかった。RH97%→80%区では3種類とも変湿後3～4日で微量であるがエチレン生成が認められたが、これは2日後に97%に戻した場合でも同様であった。RH97%→53%区では変湿9～12時間でもいずれもエチレン生成がみられ始め、最大値で0.17～0.26 $\text{nl g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ に達したが、2日後に97%に戻した区でも同様であった。RH97%→20%区では変湿後直ちにエチレン生成が認められ、急激に増加した後、キュウリとナスでは6時間で、ピーマンでは9時間でピークに達した後減少した。この場合も2日後に97%に戻しても同様の傾向であった。生成量は種類によって異なり、ナスでは最大値2.93 $\text{nl g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ であったが、キュウリとピーマンはそれぞれ0.70と0.38 $\text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ であった。

3種果実とも、急速変湿に伴うエチレン生成の全体的傾向として、湿度変動幅が小さい場合は、エチレン生成はほとんど認められないか、生成しても微量であり、青果物の種類に応じてエチレン生成の面から湿度変動許容度があるように思われた。また変湿に伴うエチレン生成は変湿幅が大きくなるほど早くなり、生成量も変湿幅の増大に伴って増加した。変湿によっていったんエチレン生成が誘導された後、再び高湿度に戻してもエチレン生成はそのまま継続することが認められた。

3. エチレン生成系の変化

RH20%区で萎れに伴うエチレン生成が明確に認められたので、この処理区で果皮と果肉のACC含量、ACC合成酵素活性およびACC酸化酵素活性の変化を調査した結果をFig. 3に示した。ACC含量はキュウリとピーマンでは果皮および果肉とも処理開始後直ちに増加してほぼ6～9時間で最大値に達した後減少したが、この変化はエチレン生成の変化とほぼ同様であった。特に、ナスでは急激な変化がみられ、また変化様相もエチレン生成より速くなって、3時間で最大値に達した。量的には3種果実とも果皮で高い傾向が示された。ACC合成酵素活性の変化様相は3種果実ともACC含量とほぼ同様

の傾向が認められた。

それに対して、ACC酸化酵素活性の変化様相をみると、キュウリでは果皮および果肉とも6時間で最大値に達し、果肉より果皮での増大の程度が大きかったが、ナスでは果皮と果肉でほとんど差が認められず、ピークに達するまでの時間もやや遅くなった。ピーマンでは果皮より果肉での活性増大がやや大きくなる傾向があった。

考 察

キュウリ、ナスおよびピーマンはいわゆるノン・クライマクテリック型果実であるとされている^{3),13),14)}。一般に、この型に属する果実の成熟にはエチレンは直接的に関与していないと考えられており、また健全な状態では成熟時に生理的な意味をもつほどのエチレン生成はみられないとされている。しかし、種々の外部ストレスに応答して、エチレン生成が誘導されることはよく知られていることであり、この誘導エチレンと種々の生理活性との関係や青果物の種類による感受性の差などが流通・貯蔵上の重要な問題となってくる^{1),3)}。稲葉ら³⁾は20℃以上の温度下で、キュウリ、ナスおよびピーマンのいずれも外的エチレンによる呼吸活性促進型の青果物に属することを報告している。したがって、たとえノン・クライマクテリック型果実でもなんらかの理由でエチレン生成が起ることは鮮度保持上きわめて問題が大きい。

本調査で、3種果菜類でRH97%および80%区ではエチレン生成はほとんど認められないか、または生成しても量的にはごくわずかであるが、53%区ではエチレン生成が多くなり、20%区になると顕著に誘導されることが明らかになった。このことは、青果物の内部水分状態、つまり水分損失とそれに伴う萎れがエチレン生成と大きくかわりがあることを示している。おそらく、水分損失が一種のストレスとなってエチレン生成が誘導されるものと考えられる。このようなことから、青果物の鮮度低下の総合的防止策としてのエチレン生成抑制要因として、温度や空気組成とともに、湿度要因は無視できないことがうかがわれた。

一般に、青果物の流通過程中で多かれ少なかれ湿度変動にさらされることは避けることはできないことであり、特に無包装状態ではその影響は大きい。たとえなんらかの形でプラスチック包装状態であっても、包装の遅延や形態によっては青果物はかなり大きい湿度変動にさらされる。さらに、湿度は温度変動と連動して変化するため、温度管理が不完全な場合には湿度変化も大きくなることが考えられる。このような想定から、本研究では種々の人為的変湿シミュレーションを行い、変湿条件と

Fig. 3. Changes in water stress-induced ACC content, ACC synthase and ACC oxidase activities in the peel and pulp tissue of cucumber, eggplant and green pepper fruits at 20% RH.

□ 97%RH Peel   ■ 97%RH Pulp
○ 20%RH Peel   ● 20%RH Pulp

エチレン生成様相との関係について調査した。その結果、RH97%一定条件下ではキュウリ、ナスおよびピーマンのいずれもエチレン生成はほとんど認められなかったが、97%→80%変湿区ではエチレン生成誘導がわずかに認められた。変湿幅を拡大させてゆくと、それに伴って3種果実ともエチレン生成が多くなる傾向が認められ、特に97%→20%区でのエチレン生成は明らかであった。

このことから、本研究で供試した3種果実では湿度変動があっても、変湿幅が小さいとエチレン生成誘導に対する影響は小さいが、変動幅が大きくなるとエチレン生成量が多くなり、また発生も急激になることが明らかになった。このような点を今後さらに呼吸活性とともにより多くの青果物で調査し、変湿耐性または湿度変動許容度について検討する必要があると思われる。いずれにし

ても、青果物の流通過程でエチレン生成が増加する条件は、品質保持上で極力回避すべきことであり、その観点からみると急激変湿、特に乾燥方向への急激変湿は好ましいことではないと考えられる。

本調査で、3種果菜類のエチレン生成の様相は量的には種類によって異なるが、共通点として低湿条件下ではエチレン生成が一時的に急激に促進された後低下する傾向が示された。低湿によるエチレン生成増大という結果は、YANGとHOFFMAN¹⁵⁾ およびAPELBAUMとYANG¹⁶⁾ の水分損失ストレスは種々の植物のエチレン生成誘導要因の一つであるとする指摘を支持するものである。類似の結果は他の植物器官でも認められ、棉の葉と葉柄^{17), 18)}、未熟の棉莢¹⁹⁾、コムギの葉^{16), 20)~23)}、ソラマメの葉²⁴⁾、レタス、甜菜、カボチャ、キャベツ、タバコ、球茎カン

ラン、インゲンマメおよびピーマンの葉²⁵⁾、パレシアオレンジの葉²⁶⁾および収穫後のクライマクテリック型果実の一部^{27), 28)}で同様な現象があることが知られているが、ノン・クライマクテリック型果実についての調査は見当たらない。

低湿条件の3種果菜類のエチレン生成促進作用としてもう一つ興味あることは、果皮と果肉で水分損失に対する反応が異なることである。ピーマンのACC酸化酵素活性を除いて、果肉より果皮での反応が強い傾向がほぼ共通的に認められた。この原因は本研究の範囲では明確ではないが、水分損失は果皮から起こること、あるいは果皮でエチレンの生合成能が高いことに起因しているのかも知れない。一般に、水分損失ストレスを受けた植物組織ではエチレン生成の増大とその直前の前駆物質であるACC含量が並行して増大することが明らかにされている¹⁶⁾が、今回の調査でキュウリとピーマンではエチレン生成様相はACCおよびその合成および酸化酵素活性の変化と時間的に高い同調性が示された。

しかし、エチレン生成能が相対的に高いナス果実では、ACC含量とACC合成酵素活性の変化はエチレン生成に先立って最大値に達したが、ACC酸化酵素活性がやや遅れて変化し、また果皮と果肉間の差はほとんど認められなかった。これらのことを総合して判断すると、キュウリとナス果実では水分損失ストレスによって誘導されたエチレンは主に果皮に由来するが、ピーマンでは果皮と果肉の差があまり存在しないように思われた。いずれにしても、今回の調査の範囲では、3種果実で水分損失ストレスにより誘導されたエチレン生成系の二つの律速酵素活性はいずれも顕著に増加したことから、水分損失ストレスがエチレン生成系のどの部位に主として作用するのかを特定することはできない。この点、今後さらに調査する必要があると思われる。

要 約

エチレンによる青果物鮮度低下の総合防止策の基礎資料として、湿度条件(20, 53, 80および97% RH, 25℃)とキュウリ‘シャープワン’、ナス‘筑洋’およびピーマン‘京波’果実のエチレン生成様相との関係について調査した。

1. 高湿度では各果実ともエチレン生成はほとんど認められなかったが、保持湿度が低いほど重量減少は大きくなり、それに伴ってエチレン生成量が増加し、また生成時点も早くなった。特に、急速な水分損失が起こるとエチレン生成も急激であり、6～9時間でピークに達した後減少する傾向が認められた。

2. 3種果実とも急速変湿条件(97→80→97% RH, 97→53→97% RH, 97→20→97% RH)では変湿幅が大きくなるほどエチレン生成量が多くなり、また生成開始も早くなった。低湿によっていったんエチレン生成が誘導された後、再び高湿度に戻してもエチレン生成はそのまま継続した。

3. 急速な水分損失に伴って、ACC含量、ACC合成酵素及びACC酸化酵素活性が急激に高くなったが、特に果皮でその傾向が強く認められた。

以上の結果から、低湿度条件は水分損失を通じてエチレン生成の誘導要因となり、鮮度保持の観点から好ましくないことがうかがわれた。

文 献

- 1) ABELES, F. B., MORGAN P. W. and SALTVEIT, Jr. M. E. : Ethylene in plant biology. Academic Press, New York. p 182 (1973)
- 2) YANG, S. F. : *Hort Science* 20, 41 (1985)
- 3) 稲葉昭次・久保康隆・中村怜之輔 : 園学雑 58, 713 (1989)
- 4) GRIERSON, W. and WARDOWSKI, W. F. : *Hort Science*, 13, 570 (1978)
- 5) 薛彦斌・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔 : 園学雑, 64, 657 (1995)
- 6) 薛彦斌・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔 : 日食科工誌, 43, 164 (1996)
- 7) 斎藤 隆 : 蔬菜園芸学 果菜編(農山漁村文化協会, 東京), p 267, (1982)
- 8) 日本食品工業学会・食品分析法編集委員会編 食品分析法(光琳, 東京), p 4, (1982)
- 9) LIZADA, M. C. C. and YANG, S. F. : *Anal. Biochem.*, 100, 140 (1979)
- 10) BOLLER, T., HERNER, R. C. and KENDE, : *Planta* 145, 293 (1979)
- 11) FERNANDEZ - MACULET, J. C. and YANG, S. F. : *Plant Physiol.*, 99, 751 (1992)
- 12) BRADFORD, M. M. : *Anal. Biochem.*, 72, 248 (1976)
- 13) WILLS, R. B. H., LEE, T. H., GRAHAM, D., MCGLOSSON W. B. and HALL, E. G. : *Postharvest : An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. New South Wales University Press, Kensington, Australia. p. 24, (1982)
- 14) PRETEL, M. T., SERRANO, M., AMOROS, A., RIQUELME, F. and ROMOJARO, F. : *Postharvest Biol. Tec-*

- hrol.* 5, 295 (1995)
- 15) YANG, S. F. and HOFFMAN, N. E. : *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 35, 155 (1984)
- 16) APELBAUM, A. and YANG, S. F. : *Plant Physiol.*, 68, 594 (1981)
- 17) JORDAN, W. R., MORGAN, P. W. and DAVENPORT, T. L. : *Plant Physiol.*, 50, 756 (1972)
- 18) MCMICHAEL, B. L., JORDAN, W. R. POWELL, R. D. : *Plant Physiol.*, 49, 658 (1972)
- 19) GUINN, G. : *Plant Physiol.*, 57, 403(1976)
- 20) McMEON, T. A., HOFFMAN, N. E. and YANG, S. F. : *Planta*, 155, 437 (1982)
- 21) WRIGHT, S. T. C. : *Planta*, 148, 381(1980)
- 22) WRIGHT, S. T. C. : *Planta*, 153, 172(1981)
- 23) HOFFMAN, N. E., YIU, Y. and YANG, S. F. : *Planta*, 157, 518 (1983)
- 24) EL-BELTAGY, A. S. and HALL, M. A. : *New Phytol.*, 73, 47 (1974)
- 25) AHARONI, N. : *Plant Physiol.*, 61, 658(1978)
- 26) BEN-YEHOSHUA, S. and ALONI, B. : *Plant Physiol.*, 53, 863 (1974)
- 27) ADATO, I. and GAZIT, S. : *Plant Physiol.*, 53, 45 (1974)
- 28) GEORGE, J. B. and MARRIOTT, J. : *Scientia Hort.*, 21, 37 (1983)

(平成 7 年 5 月 26 日受理)