ニンジン組織における苦味物質生成および糖含量に及ぼす 機械的損傷ならびにエチレンの影響†

吉村公一*¹⁾・阿部一博*・茶珍和雄*

Effect of Ethylene Treatment on the Production of a Bitter Compound and
Sugar Contents in Different Parts of Mechanically Wounded Carrot
(Studies on Physiological and Chemical Changes of Partially Processed Carrot-Part VII)

YOSHIMURA Koichi*, ABE Kazuhiro* and CHACHIN Kazuo*

*College of Agriculture, Osaka Prefecture University, Gakuen, Sakai, Osaka 593 Japan

The occurrence of bitterness and changes in the production of bitter compound contents were measured to determine the effect of ethylene (100ppm, C₂H₄) treatment on different tissues (phloem or xylem) of mechanically wounded carrots (MWC) stored at 20°C.

Neither C₂H₄-treated nor untreated carrots showed any apparent decay at the wounded part in MWC during 6 days of storage. Brown pitting injury appeared on the surface at the bottom of the wounded part and a brown cavity appeared in the phloem at the side of the wounded part in the treated MWC, but untreated MWC did not develop these injuries. Bitterness was not induced by C₂H₄ in intact carrots and was not noted in un-treated intact carrot and MWC during 6 days of storage. Bitterness of the wounded part was significant and the bitterness of the phloem was moderate in MWC treated by C₂H₄.

The content of isocoumarin, one of the bitter compounds, increased significantly at the wounded part and slightly in the phloem, while in the xylem no increase was noted in MWC treated by C₂H₄. The accumulation of isocoumarin was not induced in either treated or untreated intact carrots, and MWC was not treated by C₂H₄.

Increases in phenols and reducing sugar contents and decrease in total sugar content were induced by C₂H₄ at the wounded part in MWC during 6 days of storage.

We concluded that the occurrence of bitterness and the accumulation of the bitter compound in the carrot were induced by C₂H₄ and wounding.

(Received Dec. 4, 1995)

近年カット野菜・果実の消費量が増加しているが^{1)~3)}、
これらは切断などの物理的損傷を受けているため無切断
のものより生理・化学的变化が激しく^{3)~6)}、流通過程に

おける品質低下も生じやすい。

カット野菜の中でもニンジンは使用頻度が我が国では
高く³⁾、世界的にもカットニンジンの品質保持に関する

† カットニンジンの生理・化学的变化に関する研究 (第7報)

* 大阪府立大学農学部 (〒593 堺市学園町1-1)

1) 現在㈱ヤクルト本社開発部

研究は多い^{7)~15)}。筆者らもカットニンジン^{16)~23)}の生理・化学的特性に関する研究を行い^{16)~23)}、切断方向が異なると貯蔵性に差が生じたり^{17),19),20),22),23)}、保持環境ガス中にエチレンが存在すると短時間の保持で苦味が顕著に発現すること^{18),21),22)}を明らかにした。

無切断のニンジンの貯蔵環境ガス中のエチレンと苦味発現の関連性についての研究は多いが^{24)~30)}、筆者らが無切断のニンジン¹⁸⁾をエチレン処理しても苦味はこれらの実験結果より程度が低かった¹⁸⁾。一方筆者らの研究ではカットニンジンの苦味発現は無切断のニンジンにおける発現より非常に顕著であることを明らかにしており^{18),21)}、これらのことからニンジンの苦味発現は機械的損傷の有無と関係の深いことが示唆された。

本研究では、ニンジンに一定の機械的損傷を与えたときの部位別の苦味関連物質含量変化を調べ、苦味発現に対するエチレンと損傷の関連性を明らかにした。

実験材料および方法

1. 実験材料

実験に使用したニンジン (*Daucus carota* L. var. *sativa* DC, 栽培品種名は不詳) は大阪府下の卸売市場で購入した。ニンジンは大きさを揃え、外的な傷や変形のあるものを除いた後に供試材料とした。

2. 実験方法

1) 機械的損傷

ニンジンの上部から根端部までを家庭用調理ナイフで表皮から内部へ深さ約5mmのV字形に除去すること (Fig. 1-左) により機械的損傷を与えた。以下では機

Fig. 1 Mechanical wounding (left) and parts for sampling (right)

械的損傷を与えたニンジン¹⁸⁾を損傷区とし、与えなかったニンジン¹⁸⁾を無傷区とする。

2) 保存方法

それぞれのニンジン約2.5kgをプラスチック容器 (約7.5l) に入れ、20℃の暗所で保持し、保持期間中に適宜外観の変化の観察や成分分析を行った。

プラスチック容器には約100ppmのエチレン (以下 C_2H_4) を含む加湿した空気を連続通気 (2 l/min.) し、対照区には加湿した空気のみを連続通気 (2 l/min.) した。通気した空気中の C_2H_4 濃度は、注射器で環境ガスを一定量採取してガスクロマトグラフィー (活性アルミナカラム: 60~80メッシュ, 2 m×3 mm, 60℃, 検出器: FID) で測定することにより適宜調べ、通気空気中の C_2H_4 濃度が100ppmになるように調節した。

各実験区は2反復とした。

3) 測定方法

成分測定部位: 成分の測定を行ったニンジンの部位を Fig. 1-右に示した。以下では各部位を、皮層と師部を含む損傷部位: A部、皮層と師部を含む損傷箇所から90度離れた部位: B部、皮層と師部を含む損傷箇所から180度離れた部位: C部、木部の損傷箇所側: D部、木部の損傷箇所の反対側: E部、とする。

成分定量方法: 苦味発現と関連性の深いイソクマリンはニンジンの各部位からヘキサンで抽出し、Sondheimerらの方法²⁹⁾で定量した。各部位から80%熱エタノールで抽出した総フェノール物質含量はフォリン・デニス法³¹⁾、オルトジフェノール含量はARNOWらの方法³²⁾、糖含量はソモギー・ネルソンの方法³³⁾で定量した。

外観観察ならびに苦味の官能検査: 保持中の外観の変化は適宜3~5名で観察して判定した。苦味の発現程度はニンジン各部位から成分分析のために調製した細片を生食して適宜3~5名で判定した。

結果および考察

1. 保持に伴う外観変化と苦味発現

本実験の6日間において、空気もしくは C_2H_4 を含む空気を通気した容器内の無傷区ならびに損傷区とも微生物に起因する顕著な腐敗は観察されなかった。

カットニンジンの保持環境ガス中に C_2H_4 が存在すると、切断面の維管束に近い師部に褐色のピットングや組織内部に内壁が褐色の空洞が現れることを筆者らは報告した^{18),21)}が、本研究においても C_2H_4 -損傷区のニンジンではV字形の底部の表面に同様のピットングが観察され、ニンジンを切断すると組織内部にも空洞が観察され、その周辺の組織は褐変していた (Fig. 2)。しかし、 C_2H_4 -無傷区ならびに空気-損傷区と無傷区のニンジンでは実験期間中にピットングや空洞は全く観察されなかった。

C_2H_4 -損傷区のニンジンにおいてV字形の底部にピットングや空洞の発生が多かったのは、この部位が維

Fig. 2 Brown cavity induced by ethylene treatment (right) in phloem at the side of mechanically wounded parts of carrots stored at 20°C for 6 days

A: No C_2H_4 treatment, B: C_2H_4 treatment (100ppm)

管束に近い師部組織であったためと思われる。

苦味の発現が最も顕著であったのは C_2H_4 -損傷区のA部で、保持2日に感じられ始め、6日での苦味は顕著であった。 C_2H_4 -損傷区のB部やC部ならびに C_2H_4 -無傷区の師部でも保持6日には苦味がわずかに感じられた。 C_2H_4 -損傷区のD部やE部ならびに C_2H_4 -無傷区の木部では保持6日においても苦味は感じられなかつ

た。一方、空気-損傷区と無傷区ではいずれの部位においても実験期間中には全く苦味の発現はみられなかった(図表によるデーターの表示は省略)。

本研究においては C_2H_4 -損傷区では保持2日から苦味が感じられたものの C_2H_4 -無傷区のニンジンでは6日にわずかに感じられたことや筆者らの既報¹⁸⁾では C_2H_4 -無傷区のニンジンの苦味は保持5日でもほとん

Fig. 3 Changes of isocoumarin contents in carrots stored at 20°C

Z: days in holding

X: I-intact carrot, II-mechanically wounded carrot

Y: same as in Fig. 1

W: $OD_{265} - (OD_{240} + OD_{290})/2$

と感じられなかったが、カットニンジンではわずか1日の C_2H_4 処理で苦味の発現が顕著であったことから、 C_2H_4 処理により誘導されるニンジンの苦味発現には個体における機械的損傷が深く関係することが明らかとなった。

筆者らがアメリカ合衆国に滞在中にスーパーマーケットなどで購入したニンジンで、微生物による腐敗部分はないが苦味があるため食べることが出来ないものがあったことを認めている³⁴⁾。ニンジンの苦味発現は種々のストレスによって誘導され、糸状菌類に感染したニンジンにおいても苦味の発現が誘導される³⁵⁾が、機械的損傷を受けたニンジンが流通過程で C_2H_4 に遭遇したときにも苦味の発現が誘導される可能性も考えられる。合衆国ではニンジンの多くは機械収穫され、洗浄や選別も機械で行われるので機械的損傷を受ける可能性が我が国より高いので、消費段階において苦味を有するニンジンが販売されていたものと考えられる。

2. 保持に伴う部位別イソクマリン含量の変化

イソクマリンはカットニンジンの苦味発現とともに急激に含量が増加することが明らかとなっており苦味と深い関連性がみられるので^{18),21)}、保持に伴うイソクマリン含量の変化を調べ、Fig. 3に示した。

イソクマリン含量の増加が最も顕著であったのは C_2H_4 -損傷区のA部であり、保持2日に明らかな増加がみられ、6日には2日の約3倍の含量を示した。A部に次いで増加が多かったのは C_2H_4 -損傷区のB部とC部で、両部位とも保持2日から増加し、6日までほぼ同様に増加を続けたが6日の両部位の含量は C_2H_4 -損傷区のA部の保持2日の含量より少なかった。 C_2H_4 -無傷区の師部においても増加したが、保持6日の含量は C_2H_4 -損傷区のA部の2日の含量より少なかった。 C_2H_4 -損傷区のD部とE部ならびに C_2H_4 -無傷区の本部のイソクマリン含量の増加はわずかであった (Fig. 3一下段)。

Fig. 4 Changes in phenol contents in carrots stored at 20°C
 Z: days in holding X: I - intact carrot, II - mechanically wounded carrot
 Y: same as in Fig. 1
 W: mg/100g f. wt.
 ▨: o-diphenol, □: others

一方、空気-損傷区ならびに無傷区のイソクマリン含量 (Fig. 3-上段) は、機械的損傷の有無ならびに測定部位にかかわらず保持に伴う増加はみられなかった。

イソクマリン含量の増加は苦味発現の程度と一致し、苦味の発現が明らかであった C_2H_4 -損傷区の傷害部 (A部) でのイソクマリン含量の増加が最も顕著であり、 C_2H_4 処理により誘導されるニンジンのイソクマリンの蓄積には機械的損傷が深く関係することが明らかとなった。しかし、ニンジンに損傷を与えても保持環境ガ中に C_2H_4 が存在しない場合 (Fig. 3-上段) には、イソクマリンが蓄積しなかったり苦味が形成されなかったことから、機械的損傷ならびに C_2H_4 の両要因が同時に存在した時にニンジンのイソクマリンの蓄積ならびに苦味

発現が促進されることが明らかとなった。

C_2H_4 -損傷区のB部ならびにC部においてイソクマリン含量の増加がみられたが増加の程度はほぼ同じであった (Fig. 3-下段)。ニンジン個体内においてB部はC部より傷害部 (A部) から離れているが、イソクマリン含量の増加がほぼ同じであったことから、個体内の一部で誘導された苦味形成が個体内で進展する場合は傷害部位との距離は関係が少ないものと思われた。また、C部はD部やE部より傷害部 (A部) よりニンジン個体内で離れた部位であるにもかかわらず、イソクマリンの蓄積はC部で多かったことから、苦味形成はニンジン個体内の部位間の距離よりも組織の違いの影響を受けやすいものと思われる。

Fig. 5 Changes of sugar content in carrots stored at 20 °C
 Z: days in holding X: I - intact carrot, II - mechanically wounded carrot
 Y: same as in Fig. 1
 W: g/100g f. wt.
 ▨: reducing sugar, □: others

3. 保持に伴う部位別フェノール物質含量の変化

フェノール物質もニンジンの苦味物質として知られており²⁸⁾, C_2H_4 処理されたカットニンジンの苦味発現に伴い増加することが報告^{18),21)}されているので, 保持に伴う総フェノール物質含量 ($\square + \boxtimes$) ならびにオルトジフェノール含量 ($\boxtimes$) をFig. 4に示した。

フェノール物質の増加は C_2H_4 -損傷区のA部で最も顕著であり, その増加はオルトジフェノールとその他のフェノールの増加によるものであった。 C_2H_4 -無傷区の師部と木部ならびに C_2H_4 -損傷区のB, C, D, E部のいずれにおいても顕著な増加はみられなかった (Fig. 4-下段)。

空気を通気したニンジンでは損傷の有無にかかわらず, いずれの部位や組織においてもフェノール物質の明らかな含量変化はみられなかった (Fig. 4-上段)。

カットニンジンに C_2H_4 処理したときにはフェノール物質含量が増加し苦味発現にはフェノール物質が関係することが明らかとなっている^{18),21)}が, 本研究ではフェノール物質はイソクマリンの増加がみられたA部, B部, C部の中では C_2H_4 -傷害部 (A部) において顕著に増加したが後の2者ではほとんど増加しなかった。

4. 保持に伴う部位別糖含量の変化

糖含量は多くの果実や一部の野菜の品質評価の基準として測定される³⁶⁾が, 筆者らのカットニンジンに関する一連の研究において糖含量の変化もカットニンジンの苦味発現と関連性がみられること²²⁾を明らかにしているので, 本研究においても保持中の全糖 ($\square + \boxtimes$) ならびに還元糖 ($\boxtimes$) の含量変化を調べ, 結果をFig. 5に示した。

全糖含量は C_2H_4 -損傷区のA部, D部, E部ならびに空気-損傷区のD部とE部で減少する傾向がみられたが, 他の区では一定の傾向がみられなかった。

D部ならびにE部は両方とも損傷区の木部組織であり, C_2H_4 の有無に関係なく全糖含量の減少を示したことになる。 C_2H_4 -損傷区のA部は傷害部であり, ここでは保持に伴い還元糖の増加と非還元糖の減少がみられ, その結果全糖含量が減少する傾向がみられた。カットニンジンは C_2H_4 処理により全糖含量が減少し還元糖が増加することを筆者らは報告²²⁾しているが, C_2H_4 -損傷区のA部は切断ストレスと C_2H_4 の影響を受けているので, 全糖含量の減少ならびに還元糖含量の増加を示したものと思われる。

要 約

本研究では, ニンジンの保持に伴う苦味形成やその関連物質の生成に及ぼす組織に対する機械的損傷ならびに

保持環境ガス中のエチレン (C_2H_4) の影響を調べた。

機械的損傷を受けたニンジンの苦味形成は C_2H_4 処理によって同一個体内の傷害部で最も顕著に現れ, 次いで障害を与えなかった師部に現れたが, 木部での苦味形成は少なく, C_2H_4 処理を行わなかった場合はいずれの部位でも苦味形成は認められなかった。また損傷を受けなかったニンジンでは苦味は形成されなかった。

苦味関連物質であるイソクマリン含量は機械的損傷を受けて C_2H_4 処理されたニンジンの傷害部で顕著に増加したが, 健全部の師部や木部での増加は少なかった。損傷を受けなかったニンジンに C_2H_4 処理を行ってもイソクマリン含量の増加は誘導されず, 損傷を受けたが C_2H_4 処理を行わなかったニンジンや損傷を受けず C_2H_4 処理されなかったニンジンではイソクマリンの蓄積はみられなかった。

損傷を受けたニンジンに C_2H_4 処理すると, 傷害部でのフェノール物質の蓄積ならびに全糖含量と非還元糖含量の減少および還元糖の増加が誘導された。他の実験区でのこれらの含量変化は少なかった。

ニンジンの流通過程における苦味形成は, 保持環境ガス中の C_2H_4 ならびに個体の機械的損傷によって促進されることが明らかとなった。

文 献

- 1) 阿部一博: 園芸新知識, 4月号, p39 (1993).
- 2) 阿部一博: 日食低温誌, 21, 印刷中 (1995).
- 3) 阿部一博: ジャパンフードサイエンス, 33, 38 (1994).
- 4) WATADA, A. E., ABE, K. and YAMAUCHI, N.: *Food Technol.*, 44, 116 (1990).
- 5) 阿部一博: カット野菜の現状と将来展望, 田村一平編 (流通システム研究センター, 東京), p106 (1991).
- 6) 阿部一博: 食品流通技術, 22, 1964 (1993).
- 7) BOLIN, H. R. and HUXSOLL, C. C.: *J. Food Sci.*, 56, 416 (1991).
- 8) EYTAN, O., WEINERT, I. A. G. and MCGILL, A. E. J.: *Lebensm-Wiss u-Tecno.*, 25, 445 (1992).
- 9) CHERVIN, C. and BOISSEAU, P.: *J. Food Sci.*, 59, 359 (1994).
- 10) HOWARD, L. R., GRIFFIN, L. E., and LEE, Y.: *J. Food Sci.*, 59, 356 (1994).
- 11) IZUMI, H. and WATADA, A. E.: *J. Food Sci.*, 59, 106 (1994).

- 12) LIEW, C. L. and PRANGE, R. K.: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **119**, 563 (1994).
- 13) TATSUMI, Y., WATADA, A. E. and WERGIN W. P.: *J. Food Sci.*, **56**, 1357 (1991).
- 14) TATSUMI, Y., WATADA, A. E. and LING, P. P.: *J. Food Sci.*, **58**, 1390 (1993).
- 15) AVENA-BUSTILLOS, R. J., CISNEROS-ZEVALLOS, L. A., KROCHTA, J. M. and SALTVEIT, M. E.: *Postharvest Biol. Technol.*, **4**, 319 (1994).
- 16) 阿部一博・WATADA, A. E.: 園学雑, **60** (別1), 590 (1991).
- 17) 阿部一博・吉村公一・岩田 隆: 日食工誌, **40**, 101 (1993).
- 18) 阿部一博・吉村公一: 日食工誌, **40**, 506 (1993).
- 19) ABE, K. and CHACHIN, K.: *J. Japan. Soc. Cold Preserva. Food.*, **21**, 87 (1995).
- 20) YOSHIMURA, K., ABE, K., TAKAHASHI, T., and CHACHIN, K.: *J. Japan. Soc. Cold Preserva. Food.* (In press).
- 21) 阿部一博・吉村公一・茶珍和雄: 園学雑 (投稿中).
- 22) ABE, K., YOSHIMURA, K., TAKAHASHI, T. and CHACHIN, K.: *J. Japan. Soc. Cold Preserva. Food.* (In press).
- 23) 阿部一博・柳井正暁・茶珍和雄: 園学雑, **64** (別1), 572 (1995).
- 24) SONDHEIMER, E.: *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 5036 (1957).
- 25) CHALUTZ, E., DEVAY, J. E. and MAXIE, E. C.: *Plant Physiol.*, **44**, 235 (1969).
- 26) JAWORSKI, J. G., KUC, J. and WILLIAMS, E. B.: *Phytopathology*, **63**, 408 (1973).
- 27) SARKAR, S. K. and PHAN, C. T.: *J. Food Protec.*, **42**, 526 (1979).
- 28) PHAN, C. T.: *Acta Horticult.*, **38**, 309 (1974).
- 29) SONDHEIMER, E., PHILLIPS, W. F. and ATKIN, J. D.: *Food Res.*, **20**, 659 (1955).
- 30) CARLTON, B. C., PETERSON, C. E. and TOLBERT, N. E.: *Plant Physiol.*, **36**, 550 (1961).
- 31) FOLIN, O. and CIOCALTEU, V.: *J. Biol. Chem.*, **73**, 627 (1927).
- 32) ARNOW, E.: *J. Biol. Chem.*, **118**, 531 (1937).
- 33) SOMOGYI, M.: *J. Biol. Chem.*, **195**, 19 (1952).
- 34) 阿部一博: 未発表.
- 35) HERNDON, B. A., KUC, J. and WILLIAMS, E. B.: *Phytopathol.*, **56**, 187 (1966).
- 36) 緒方邦安: 園芸食品の加工と利用 (養賢堂, 東京), p10 (1968).

(平成7年12月4日受理)