

## 有用成分導入による水耕葉菜類の味質改善 および機能性の強化について

永岡 尚子・田淵 玲子・中原 光久\*・上野 大介  
染谷 孝・井上 興一

( 生物環境学, \*九州電力株式会社 生物資源研究センター )

平成19年11月7日 受理

Improvement of Taste and Nutrient Enrichment of Lettuce Grown in  
Hydroponically by Introducing Sweeteners, Ascorbic Acid and Flavors

Naoko NAGAOKA, Reiko TABUCHI, Teruhisa NAKAHARA, Daisuke UENO,  
Takashi SOMEYA and Koichi INOUE

(Environmental Bio-Sciences, Bioresources Research Center Kyushu Electric Power Co.)

Received November 7, 2007

### Summary

For the improvement of taste and nutrient enrichment of lettuce (*Lactuca sativa* L., cv.: No chip) grown hydroponically, a simultaneous introduction of three components, a sweetener containing rebaudioside-A (Reb-A) as a major component, L-ascorbic acid (AsA) and flavors (muskmelon essence or peppermint extract) into the plant through roots just before harvest was examined.

1. Vitamin C (AsA + dehydroascorbic acid) concentration in the plant treated with three components for 6 hr was about 3 times higher than that in control. In the three components treatment, Reb-A concentration in the plant treated with 0.2 % of the sweetener is 60 mg/100 g fresh matter or more which was about 2.5 times higher than that with 0.1 % of the sweetener.

2. Sensory evaluation showed that plant leaves treated with three components were significantly more sweet than that of control and bitterness was reduced while tastefulness was the same level as that of control.

3. In either treatment with muskmelon essence or peppermint extract, plant leaves had significantly better flavor than in control, showing these flavors could be introduced into the plant in hydroponics. Higher score of sensory evaluation was recorded on the lettuce treated with muskmelon essence than that with peppermint extract.

**Keywords:** hydroponics, improvement of taste, enrichment of vitamin C, flavors, sweeteners

### 緒 言

野菜は、ビタミン、ミネラルおよび植物繊維の大事な供給源であり、その効用から多くの世代に摂取されることが望ましい食品である。しかし、日本人の野菜摂取量は年々減少傾向にあ

る。特に、子供を中心とした若い世代において顕著で、一日の摂取目標とされる350 g以上まで、15～19歳では120 g、20～39歳では約100 gが不足していると言われている<sup>1)</sup>。野菜が敬遠される原因の一つとして、これらが持つ独特の味や香りが考えられる。

本研究室では、野菜に天然の甘味料であるステビア抽出物を導入し、野菜独特の苦味を緩和し、より食べやすく幅広い世代に好まれる野菜の生産を検討している<sup>2)</sup>。ステビア抽出物は南米原産のキク科植物 (*Stevia rebaudiana* Bertoni) の葉から抽出される、ステビオールを基本骨格とするステビオール配糖体の混合物で、天然の植物性甘味料である<sup>3)</sup>。このステビア抽出物については様々な毒物性試験が行われ、いずれも問題になるような結果は認められていない<sup>4-6)</sup>。現在、日本では甘味料として多くの食品に使用されている。

抽出物の主成分はステビオシド (ST) とレバウディオシド A (Reb-A) である。前者は、ショ糖の200～300倍の甘味を持ち、独特の苦味、えぐみを持つが、後者はSTに比べショ糖の300～450倍の高い甘味を持つこととショ糖に近い甘味質を有するので<sup>3)</sup>、この成分を多く導入することが望ましい。以前の実験で、収穫直前の水耕レタス類の根からステビア抽出成分が導入され、甘みが付与されたが、味質の良いReb-AよりえぐみのあるSTが多く導入された<sup>2)</sup>。葉菜類の味質をよりよくするためには、STが少なくReb-Aを高含量に含むステビア甘味料で処理を行うことがよいと考えられる。また、本研究室ではLアスコルビン酸も水耕葉菜類に導入可能であることが分かっている<sup>7-9)</sup>。

そこで、本報告では味質改善と同時に高機能性を持つ水耕葉菜類を生産する目的で、ステビア甘味料とLアスコルビン酸の同時導入を検討した。さらに、香りも食品の味質を決める重要な因子であるので、新しい試みとして香り成分の同時導入も検討した。

## 材料および方法

**供試作物：**リーフレタス (*Lactuca sativa* L., 品種：ノーチップ) の種子を湿らせた育苗用ウレタンに1粒ずつ播種し、大塚培養液 A 処方 1/2 単位組成の培養液を与え、約2週間育苗した。育苗後、苗を水耕装置 (共和株式会社, ホームハイポニカ320) の栽培パネル1枚あたり29株移植し、約3週間 (生体重約100 g/株) 栽培した。栽培は、九州電力株式会社, 生物資源研究センターの自動野菜工場で行った。栽培環境条件は、日照時間: 14時間, 温度: 23 (明期) / 20 (暗期), 相対湿度: 60 %, PPFD: 320～350  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  とした。

**ステビア甘味料：**Reb-A 高含有品 (日本製紙ケミカル株式会社) を使用した。この標品は、ステビオール配糖体純度が85 %でその主な成分としてReb-A 77 %, ST 4 %が含まれている。本文では、Reb-A 高含有品を Hi-Reb-A と略記する。

**Lアスコルビン酸：**市販の試薬 (特級, シグマアルドリッチジャパン株式会社) を用いた。本文では還元型のLアスコルビン酸を AsA, 酸化型のデヒドロアスコルビン酸を DHA と略記する。

**香り成分：**市販のマスクメロンフレーバー (株式会社ミコヤ香商) およびのペパーミントエキス (富士香料化工株式会社) を用いた。予備試験において、水耕レタスへの導入を検討した十数種のフレーバー製品のなかで、明らかに導入されたのはこの2つのフレーバー製品であった。なお、この製品の香りの成分組成については社内機密で公表されていない。

**処理方法：**AsA 3000 mg/L, Hi-Reb-A 0.1および0.2 %, マスクメロンエッセンス, ペパーミントエキス各0.5 %を組み合わせた溶液200 mLを200 mL容の三角フラスコに入れた。これらの溶液に、予め生体重を測定したリーフレタスの根を浸した。この三角フラスコを、温度15

、相対湿度60 %、PPFD 320  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  に設定した人工気象器に6時間静置した．対照として、蒸留水のみを三角フラスコに入れた区を設けた．各処理は、3反復で行った．

処理後人工気象器から取り出し、食味試験を行った後、AsA および DHA を測定した<sup>10)</sup>．また、同時にレタスに導入された ST および Reb-A の分析をおこなった<sup>11-12)</sup>．すなわち、地上部 20 g を細かく切り刻み、これを乳鉢で磨砕し、60 %メタノール200 mL を加えて2時間静置し、ステビア甘味成分を抽出した．その後、超音波を15分かけ、吸引る過した後、このろ液を、ダイヤイオン HP 20 (三菱化学株式会社)、イオン交換樹脂 IR120B NA (オルガノ株式会社)、イオン交換樹脂 IRA96SB (オルガノ株式会社)に通液した．エバポレーターで濃縮後、60 %メタノールで10 mL に定容し、ミリポアフィルター (0.2  $\mu\text{m}$ , 東洋濾紙株式会社) でろ過した．このろ液 5  $\mu\text{L}$  について HPLC (日本分光株式会社, カラム: Shodex Rspak DC-613, 移動相: 水/100 %アセトニトリル = 18/82 (v/v) 水/100 %アセトニトリル = 50/50 (v/v), 40分間の直線グラジエント, 流速 1 mL/min, 検出器: UV 210 nm) により分析した．

**食味試験：**パネリストは佐賀大学の学生20名 (男性10, 女性10) とした．甘み, 苦味, 旨味, 食べやすさ, 香りの強さ, および香りの適性の6項目について評価した．評価は評点法<sup>12-13)</sup>で行い, 甘味, 苦味および旨味について, ない (1), わからない (2), ある (3), 強い (4), 極めて強い (5), 食べやすさについて, 食べにくい (1), やや食べにくい (2), 普通 (3), やや食べやすい (4), 食べやすい (5), 香りの強さについて, 無臭 (1), 非常に弱い (2), 弱い (3), 強い (4), 非常に強い (5), 香りの適正について, 合っていない (1), やや合っていない (2), やや合っている (3), 合っている (4), 非常に合っている (5) の5段階評価とした．パネリストには, 何の処理を行ったかは伝えずに評価させた．

## 結果および考察

図1に6時間浸漬後の各処理区における吸水量および生体重変動率を示した．蒸留水のみで処理した対照区では, 1株当たり80 mL 以上の吸水量があったが, 甘み成分・アスコルビン酸および香り成分を同時処理した場合は, 吸水が明らかに抑制され, 40 mL 以下と対照区の半分以下であった．そのため, 処理後の生体重の低下率は対照区では1割以内に留まり, 外観上の萎凋はほとんど認められなかったが, 3成分の同時処理区では13~32 %の低下率を示し, 処

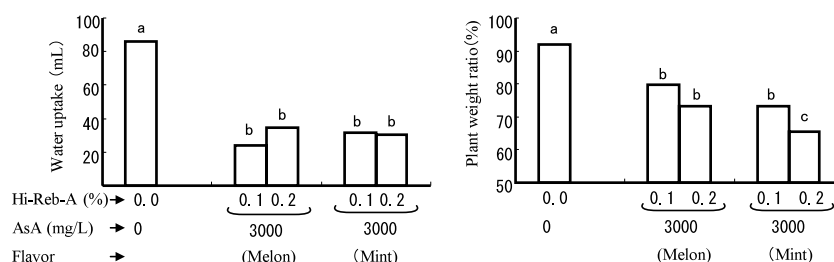


Fig. 1. Water uptake and Plant weight ratio\* after soaking the lettuce roots in the solution contained AsA, sweetener and flavors.

AsA: L-ascorbic acid, Hi-Reb-A: a sweetener containing rebudioside-A (Reb-A) as a major component, Melon: Muskmelon essence, Mint: Pepper mint extract.

Same letters in each Figure indicate no significant difference by Tukey's multiple range test, 5 % level.

\*Plant weight ratio: (Plant weight after treatment/plant weight before treatment) × 100

理区によっては外観的に明かな萎れが認められた．萎れは，商品価値を下げるので問題である．

予備試験で，Hi-Reb-A (0.2 % 処理) の単一処理では生体重の低下はほとんど認められなかった．また，香り成分 (0.5 % 処理) の単一処理では萎凋ははっきり認められないが 1 割内外の生体重低下を認めた．さらに，AsA の単一処理は処理温度および処理液の濃度が高いほど，また浸漬時間が長いほど萎凋が進むことが分かっている．このため，処理時間を 6 時間とし，蒸散を押さえるため処理温度を 15℃ と低く設定した．温度が低く処理時間が短いと従来行っている AsA の処理濃度 (2,000 mg/L<sup>9)</sup> では AsA が充分導入できないので 3,000 mg/L とした．しかし，萎凋は改善されなかったため，処理によって生体重を有意に下げる他の有用成分と AsA との同時導入では，今後 AsA の処理濃度を中心に処理時間や処理温度などを詳細に検討する必要があると考えられた．

図 2 に AsA 処理によって植物に導入された AsA および DHA 含量を示した．処理したのは，還元型の AsA であるが，植物体内に多くの酸化型の DHA が含まれ，その量は AsA と同程度か上回った．また，この DHA 量は，対照区の量に比べて極めて多い．これらのことから，レタスに存在するアスコルビン酸オキシダーゼが吸収された AsA の多くを DHA に酸化したと考えられる．DHA は人体内で AsA に還元されやすいため，ビタミン C の効力としては AsA と同等とみなされ<sup>14)</sup>，五訂食品成分表<sup>15)</sup>では AsA と DHA の合計をビタミン C として掲載している．したがって，ここでは AsA と DHA の含量をビタミン C の量として，記述する．AsA 導入処理区では，対照区に比べ 3 倍以上のビタミン C が含まれていた．ビタミン C としてどの程度導入するか，決まった量があるわけではないが，我々は内生ビタミン C を含めて，80 mg/100 g 新鮮重以上を目標としているので，その目的は達成された．しかし，このような香り成分との同時導入の場合は萎凋が激しく，これを軽減するためには AsA 処理濃度を下げる必要があり，これと連動してビタミン C 導入量の目標値を大幅に下げざるを得ないと考えられる．

図 3 にレタスに導入された ST および Reb-A 含量を示した．Hi-Reb-A の処理濃度が増加すると ST および Reb-A の導入量が増加するが，特に Reb-A の導入量が増加した．Hi-Reb-A 0.2 % 処理のレタスは，0.1 % 処理の場合に比べて 2.5 倍以上の Reb-A 含量を示した．また，香り成分の違いによる甘み成分導入量の影響については，ほとんど認められなかった．

Fig. 2. L-ascorbic acid (AsA) and dehydroascorbic acid (DHA) content in lettuces.

Hi-Reb-A: a sweetener containing rebaudioside-A (Reb-A) as a major component, Melon: Muskmelon essence, Mint: Pepper mint extract. Same letters indicate no significant difference by Tukey's multiple range test, 5 % level.

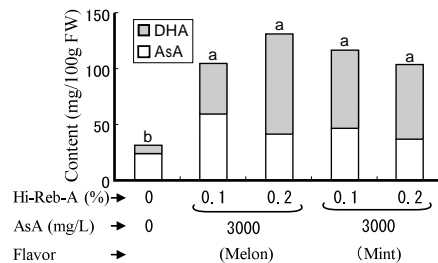


Fig. 3. Rebaudioside-A (Reb-A) and stevioside (ST) content in lettuces.

AsA: L-ascorbic acid, Hi-Reb-A: a sweetener containing Reb-A as a major component, Melon: Muskmelon essence, Mint: Pepper mint extract. Same letters indicate no significant difference by Tukey's multiple range test, 5 % level.

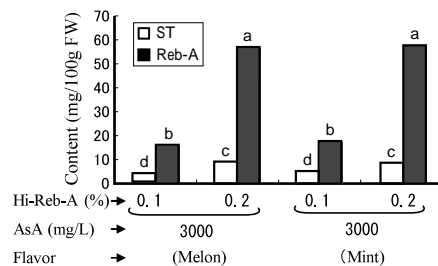


Table 1. Sensory evaluation of the taste of leaf lettuce introduced sweeteners, L-ascorbic acid and flavors.

Category	Treatment	Score	Category	Treatment	Score
Sweetness	Control	1.38 c	Tastefulness	Control	2.63 a
	AsA 3000 ppm	Hi-Reb-A 0.1 % 2.63 b		AsA 3000 ppm	Hi-Reb-A 0.1 % 2.78 a
		Hi-Reb-A 0.2 % 3.93 a			Hi-Reb-A 0.2 % 3.04 a
		Hi-Reb-A 0.1 % 2.49 b			Hi-Reb-A 0.1 % 2.63 a
		Hi-Reb-A 0.2 % 3.33 ab			Hi-Reb-A 0.2 % 2.48 a
Bitterness	Control	2.70 a	Strength of flavor	Control	1.80 b
	AsA 3000 ppm	Hi-Reb-A 0.1 % 1.90 b		AsA 3000 ppm	Hi-Reb-A 0.1 % 3.15 a
		Hi-Reb-A 0.2 % 1.48 b			Hi-Reb-A 0.2 % 3.50 a
		Hi-Reb-A 0.1 % 1.69 b			Hi-Reb-A 0.1 % 3.89 a
		Hi-Reb-A 0.2 % 1.48 b			Hi-Reb-A 0.2 % 3.48 a
Umami	Control	1.59 a	Fitness of flavor	Control	2.22 b
	AsA 3000 ppm	Hi-Reb-A 0.1 % 2.18 a		AsA 3000 ppm	Hi-Reb-A 0.1 % 3.40 a
		Hi-Reb-A 0.2 % 2.55 a			Hi-Reb-A 0.2 % 3.10 a
		Hi-Reb-A 0.1 % 2.13 a			Hi-Reb-A 0.1 % 2.12 b
		Hi-Reb-A 0.2 % 2.19 a			Hi-Reb-A 0.2 % 2.00 b

AsA: L-ascorbic acid, Hi-Reb-A: a sweetener containing rebaudioside-A (Reb-A) as a major component, Melon: Muskmelon essence, Mint: Pepper mint extract.

Data shown are the means of evaluation scores by twenty panelists.

Results of the sensory evaluation were expressed as follows: Sweetness, bitterness, umami (taste of glutamic acid) or strength of flavor: none (1), slight (2), moderate (3), strong (4), very strong (5), Tastefulness or fitness of flavor: bad (1), not so good (2), moderate (3), good (4), very good (5)

Same letters within columns in each category indicate no significant difference by Tukey's multiple range test, 5 % level.

表 1 に食味試験の結果を示した。Hi-Reb-A を処理した区において、対照区に比べ、明らかに甘味があり、この甘味は Hi-Reb-A 0.1 % 処理より、0.2 % 処理が強いとの評価を得た。図 3 に示すようにレタスの Reb-A 含量は、Hi-Reb-A 0.1 % 処理より 0.2 % 処理で明らかに多く、食味検査による評価も、これを裏付ける結果となった。統計的には認められなかったが、甘味が強いほど苦みが少ない傾向にあった。香りは、マスクメロンエッセンスやペパーミントエキスを処理した区で、対照区より明らかに強かった。また、レタスに合う香りとしてペパーミントエキスよりマスクメロンエッセンスが良いとの評価であった。

以上の結果から、水耕リーフレタスにアスコルビン酸、ステビア甘味成分および香り成分の同時導入が可能であることが分かった。甘味成分導入によりリーフレタス本来の苦みは緩和されたが、旨味と食べやすさの有意な評価はパネラーから得られなかった。このことは 20 名のパネラーが全員大学生であるので野菜の味に既成観念があり、野菜と甘味あるいは香りとの関係について違和感があったことが考えられる。子供や老人などをパネラーとすれば旨味や食べやすさの評価が異なる可能性があり今後検討する予定である。香りについては、マスクメロンエッセンス処理のレタスの香りがペパーミントエキス処理およびレタス本来の香りより優れているとの評価を得た。

## 謝 辞

レバウディオシド A 高含有品については、日本製紙ケミカル株式会社より提供頂いた。また、本研究の一部は科学研究補助金（基盤研究 B）課題番号 17380025）によって行った。ここに記して謝意を表する。

## 要 約

水耕野菜類の味質改善と機能性の強化の目的で、天然甘味成分であるレバウディオシド A (Reb-A) 高含有品 (Hi-Reb-A), L アスコルビン酸 (AsA) および香り成分 (マスクメロンエッセンスおよびペパーミントエキス) の 3 成分を収穫直前のレタス類 (品種: ノーチップ) の根から同時に導入を行った.

1. 無処理区に比べ 3 成分同時処理のレタスには, 3 倍以上のビタミン C (AsA + 酸化型アスコルビン酸) が含まれていた. また, 3 成分同時処理の中で, Hi-Reb-A 0.2 % 処理のレタスには, 0.1 % 処理に比べ 2.5 倍以上 (100 g 新鮮重あたり 60 mg 以上) の Reb-A が含まれていた.
2. Hi-Reb-A 処理によって, レタスの甘味について高い評価が得られ, レタス本来の苦みも緩和されたが, 食べやすさの評価は対照区と同等であった.
3. マスクメロンエッセンスおよびペパーミントエキス両処理ともレタスの香り強さの評価が高く, これら香り成分の導入が確認された. また, マスクメロンエッセンス処理のレタスの香りがレタス本来の香りよりも高い評価を得た.

## 参 考 文 献

- 1) 長谷川美典 (2002). カット野菜実務ハンドブック. サイエンスフォーラム 東京. p. 13.
- 2) 井上興一・村瀬治比古・小倉東一・中原光久・染谷 孝 (2004) ステビア配糖体溶液の根部浸漬による水耕レタスの味質改善. 植工誌 **16**. 16-19.
- 3) Genus J.M.C. (2003). Stevioside [molecules of Interest]. Phytochemistry **64**. 913-921.
- 4) 森 規子・坂上正子・竹内雅也・新保幸太郎・田辺恒義 (1981). ステビオサイドのラットによる妊娠前および妊娠初期混餌投与試験. 食衛誌 **22**. 409-414.
- 5) Koyama E., Sakai N., Ohori Y., Kitazawa K., Izawa O., Kakegawa K., Fujino A. and Ui M. (2003) Absorption and metabolism of glycoside sweeteners of stevia mixture and their aglycone, steviol, in rats and humans. Food Chem. Toxicol. **41**. 875-883.
- 6) 明石春雄・横山幸夫 (1975) ステビア乾葉抽出物の安全性について 各種毒性試験結果の報告. 食品工業 **18**. 34-43.
- 7) 井上興一・横田弘司・牧田勝紘 (1995). 水耕法による外生アスコルビン酸ナトリウムのサラダナへの導入. 園学雑誌 **63**. 779-785.
- 8) Inoue K, Y. Omori, S. Kondo, and H. Yokota (1997). Effects of pH level of L-ascorbic acid solution and soaking at various growth stages on the leaf exogenous ascorbic acid content of lettuce and Japanese bunching onion. Environ. Control Biol. **35**. 253-259.
- 9) Inoue K, N. Oyama, S. Kondo, Y. Hayata and H. Yokota (1998) Production of ascorbic acid enriched vegetables: Absorption of L-ascorbic acid solution and the effect of storage temperature on the foliar exogenous ascorbic acid content. J. Hortic. Sci. Biotech. **73**. 681-686.
- 10) 財団法人日本分析センター編 (2001) 五訂日本食品標準成分表分析マニュアルの解説. 中央法規出版 東京 p. 195-199.
- 11) Tomas Vanek, Ales Nepovim, Pavel Valicek: Determination of Stevioside in Plant Material and Fruit Teas. J. Food Compos. Anal. **14**. 383-388.
- 12) 小沢秀樹・広門雅子・嶋村保洋・中島和雄・木村圭介・安田和男 (2000) 高速液体クロマトグラフィーによる食品中のステビア甘味成分の分析法. 東京衛研年報 **51**. 75-79.
- 13) 古川秀子 (2001) おいしさを測る [食品官能検査の実際]. 幸書房 東京. p. 29-80.
- 14) 日本ビタミン学会編 (1980) ビタミン学 II. 東京科学同人 東京. p. 581-582.
- 15) 香川芳子 (2003) 五訂食品成分表. 女子栄養大学出版部 東京. p. 64-103.