植物性食品のニコチアナミン含量と アンジオテンシン I 変換酵素阻害活性

伊澤華子^{1*}, 青柳康夫²

¹ 東北生活文化大学家政学部

² 女子栄養大学栄養学部

Nicotianamine Contents among Vegetables
and their Inhibitory Activity of
Angiotensin-I Converting Enzyme

Hanako Izawa^{1*} and Yasuo Aoyagi²

¹ Tohoku Seikatsu Bunka University, 1-18-2
Nizinooka, Izumi, Sendai, Miyagi 981-8585

² Graduate School of Kagawa Nutrition University,
3-9-21 Chiyoda, Sakado, Saitama 350-0288

We examined the inhibition of angiotensin-I converting enzyme (ACE) and nicotianamine levels in 80 kinds of vegetables. Of the species examined, ACE inhibition was observed in the majority of samples, but not in the Poaceae, which had relatively low concentrations of nicotianamine. Nicotianamine contents per 100 g dry tissue were the highest in *Aralia elata*. Comparisons of nicotianamine contents among the families analyzed revealed that members of the Araliaceae contained significantly more nicotianamine than members of the Liliaceae ($p < 0.001$) and Poaceae ($p < 0.05$). Interestingly, although the strength of ACE inhibition in the vegetables assayed was relatively large, marked ACE inhibition was observed in *Asparagus officinalis*, despite not containing any nicotianamine.

(Received Feb. 6, 2012; Accepted Apr. 6, 2012)

Keywords : Vegetables, Nicotianamine, Angiotensin-I Converting Enzyme, High-blood pressure, hypotensive

キーワード : 植物性食品, アンジオテンシン I 変換酵素, ニコチアナミン, 高血圧, 血圧降下

高血圧治療ガイドライン 2009 年版¹⁾ に野菜や果物の積極的摂取があげられているように, 植物性食品の摂取は血圧上昇を抑制することが認められるほか, 生活習慣病の予防という観点からも重要とされている。植物性食品は, 低エネルギー, 低飽和脂肪酸量, 高食物繊維などの理由により, 肥満や動脈硬化を予防し, 血圧の上昇抑制も期待できるというものである。これについては, 食物繊維の必要量摂取はインスリンの過剰分泌を抑制し, これにより血圧の

上昇を抑制するという報告や, カリウムを豊富に含むので食塩感受性高血圧では, カリウムの作用によって血圧が低下するという報告がされている²⁾。また, γ -アミノ酪酸を多く含むことや, ACE 阻害効果による血圧上昇の抑制など, 種々の報告がなされている。

このうち ACE 阻害に関しては, 鈴木ら³⁾ の先駆的な研究により, 豆類, 野菜類, 果実類などの効果が報告されている。また, 木元らのグループ⁴⁾⁻⁶⁾ はモロヘイヤ, クレソン, アシタバ, ハヤトウリなどの野菜類の ACE 阻害と, モロヘイヤ⁵⁾ やハヤトウリ⁷⁾ から阻害活性成分ニコチアナミンの単離同定を報告している。著者らも, いくつかのキノコに ACE 阻害物質としてニコチアナミンを見だし報告した⁸⁾。また, 豆類についてもニコチアナミンが比較的豊富に存在しており, その量と ACE 阻害に相関があることを報告した⁹⁾。これらの結果は, 野菜類に報告されている ACE 阻害は, その多くがニコチアナミンによるものであると推測させるものであった。

しかしながら, 多種類にわたる植物性食品の ACE 阻害活性とニコチアナミン量を, 広範囲に測定した報告は未だないようである。

そこで本研究では, 多くの植物性食品について網羅的に ACE 阻害をスクリーニングし, 同時にニコチアナミン量を測定することで, 今まで断片的に明らかにされてきた植物性食品の血圧抑制についての根拠を明らかにすることが可能であろうと考え, 実験を行うこととした。その結果, 若干の知見が得られたので報告する。

1. 実験方法

(1) 試料と試薬

試料は, アブラナ科 12 品目, キク科 10 品目, ナス科 12 品目, ユリ科 13 品目など含む 18 科, 合計 80 品目をを用いた。その概要を表 1 に示した。これらは, 女子栄養大学上広谷農園, 築地場外市場, あるいはスーパーマーケットにて採取または購入した。生試料は入手後食部を包丁で細かく刻み, 速やかに実験に供した。また一部試料は凍結乾燥し, ミキサーで粉碎して粉末とした。粉末試料は密閉して冷蔵庫に保存し, 適宜実験に使用した。

ACE 阻害活性の測定に用いた基質は, ペプチド研究所の Hippuryl Histidyl Leucine (以下 H-H-L と略) を使用し, ACE (EC [3.4.15.1]) は, Sigma 社製ウサギ肺由来 ACE を使用した。

(2) ACE 阻害測定方法

ACE 阻害活性は, Cushman&Cheung らの方法¹⁰⁾ を改良した方法を用いて測定した。すなわち, H-H-L を 7 mM となるように 0.2 M ホウ酸緩衝液 (pH 8.3) に溶解したものを基質とし, 基質 500 μ L, 2 M NaCl 400 μ L, 水 40 μ L を混和後, 試料 30 μ L を加え反応混合液とした。

反応はこの混合液に 150 mU/mL の ACE を含む 0.2 M ホウ酸緩衝液 (pH 8.3), 30 μ L を加えて 37°C で 30 分行っ

¹ 〒981-8585 宮城県仙台市泉区虹の丘 1-18-2

² 〒350-0288 埼玉県坂戸市千代田 3-9-21

* 連絡先 (Corresponding author), h-izawa@mishima.ac.jp

表 1 植物性食品の ACE 阻害とニコチアナミン量

	科	属	品名	ACE 阻害	NA 量 (mg/dry 100 g)
1	アブラナ	アブラナ	カブ	79.6	18.6
2			キャベツ	70.0	22.6
3			コマツナ	73.3	13.1
4			ナバナ	78.6	43.7
5			ハクサイ	76.7	33.4
6			ブロッコリー	94.6	32.6
7			ブロッコリーシンメ	88.8	10.0
8			ミズナ	92.8	36.6
9		オランダガラシ	クレソン	71.4	20.6
10		ダイコン	ダイコン (夏)	91.6	17.1
11			ダイコン (冬)	93.0	59.6
12		ワサビ	ハワサビ	81.2	36.4
13	イネ	イネ	ゲンマイ	0.8	0.0
14		オオムギ	オオムギ	0.6	6.7
15		コムギ	コムギゼンリユウフン	0.1	0.0
16		トウモロコシ	コーンフラワー(細挽き)	0.2	0.0
17			スイートコーン	4.1	7.3
18		ライムギ	ライムギ(中挽き)	1.7	7.8
19		ヒエ	ヒエ	0.1	0.9
20	ウコギ	ウコギ	コシアブラ	69.6	62.0
21		タラノキ	タラノメ	87.9	74.8
22			ウド	74.9	34.3
23	ウリ	カボチャ	カボチャ	62.0	15.7
24			ズッキーニ	78.5	64.0
25		キュウリ	キュウリ	91.0	30.0
26		トウガン	トウガン(ミニ)	93.6	41.3
27		ニガウリ	ゴーヤ	92.0	22.0
28	キク	アキノノゲシ	レタス・チシャ	91.9	26.9
29			レタス・グリーンリーフ	86.1	21.6
30		キク	シュンギク	73.0	67.4
31		キクニガナ	チコリー	95.0	30.0
32		コウモリソウ	ミブスマソウ	86.9	40.1
33		ゴボウ	ゴボウ	88.4	27.6
34			シンゴボウ	85.6	24.9
35		フキ	フキ(茎)	88.3	6.8
36			フキ(葉)	81.4	7.0
37			フキノトウ	65.7	16.0
38	セリ	セリ	セリ	86.9	7.5
39		ハマボウフウ	ボウフウ	38.9	6.2
40		ミツバ	ミツバ	85.5	8.8
41		ニンジン	ニンジン	6.6	7.8
42		シシウド	アシタバ	82.8	31.4
43	タデ	イタドリ	イタドリ	82.2	42.0
44		タデ	タデ(ヤナギタデ)	47.8	0.8
45		レウム	ルバーブ	48.3	15.9

表 1 続き

	科	属	品名	ACE 阻害	NA 量 (mg/dry 100 g)
46	ナス	トウガラシ	カラーピーマン (赤)	70.6	10.3
47			ピーマン	86.1	12.5
48		トマト	トマト	77.0	24.0
49			ナス	92.0	20.8
50			ナス	90.3	22.1
51			マルナス	93.6	64.7
52			ミズナス	89.7	46.8
53			メークイン	54.6	15.3
54			ダンシャク	60.0	9.8
55			ベニアカリ	67.8	11.6
56			ホッカイコガネ	67.3	14.3
57			ワセシロ	90.0	12.4
58	ユリ	アスパラガス	アスパラガス	87.7	0.0
59		ギボウシ	ウルイ	56.7	0.1
60		シオデ	シオデ	54.2	15.9
61			タチシオデ	43.9	16.3
62		ネギ	アサツキ	81.6	50.6
63			コネギ	92.4	22.1
64			タマネギ	89.6	10.6
65			ナガネギ	71.8	8.9
66			ニラ	93.3	29.3
67			リーキ	53.4	27.0
68			ギョウジャニンニク	77.0	22.3
69			ノビル	63.4	9.3
70		ワスレグサ	ヤブカンゾウ	50.9	13.7
71	アカザ	ハウレンソウ	ハウレンソウ (夏)	10.4	16.8
72			ハウレンソウ (冬)	12.9	36.3
73	アケビ	アケビ	ミツバアケビ	95.2	18.7
74	イラクサ	ウワバミソウ	ウワバミソウ	65.6	23.9
75	オシダ	クサソテツ	コゴミ	16.7	2.8
76	キンボウゲ	イチリンソウ	ニリンソウ	68.9	0.0
77	スイレン	ジュンサイ	ジュンサイ	82.0	26.2
78	トクサ	トクサ	ツクシ	5.4	4.7
79	ヒユ	ヒユ	アマランサス	0.7	3.6
80	ヒルガオ	サツマイモ	サツマイモ	57.4	3.5

た. ブランクは酵素溶液の代わりに水を加えた. 1 M HCl (500 μ L) で反応を終了させ, 酢酸エチル (3 mL) を加えて生成する馬尿酸を抽出した. 酢酸エチル層を採取し, 減圧乾固後, 残渣を純水で溶解し, 228 nm の吸光度を測定した. 阻害活性は下記に示した計算式により試料溶液を加えたときの ACE の活性低下率を阻害活性とし算出した.

計算式: 阻害活性 (%) = $100 - \{(\text{Sample-Blank}) / (\text{Control-Blank})\} \times 100$

(3) 植物性食品の ACE 阻害活性

抽出液量が試料無水物重量の 20 倍になるよう, 試料中の水分量を控除した熱水を, 精秤した試料に加えた. 混和後, 沸騰湯浴中で 20 分間加熱還流した. これを水中で冷却後, 8000 rpm で 15 分遠心分離を行い, 得られた上清を ACE 阻害活性測定に用いた.

(4) ニコチアミンの定量

i) 試料の調製

生試料は可食部を包丁で細かく刻み (約 20 g), 乾燥試料は粉末 (約 2 g) にし, 熱水 50 mL を加え, 沸騰湯浴中で 30

分間、加熱還流を行った。冷却後、生試料はホモジナイズし、粉末試料の場合はそのまま、8000rpm で遠心分離を行った。上清を抽出液とし、抽出残渣は、2 回冷水を加えて洗浄し、洗浄液も抽出液に加えた。抽出液は 1M の NaOH で pH8 に調製後、試料溶液とした。

Dowex1×4 樹脂（酢酸型）を詰めたカラム（2×13cm）に純水を十分に流して平衡化し、試料溶液を付加した。0.2 M ピリジン 100 mL で洗浄後 0.5 M の酢酸溶液 200 mL を用いて溶出した。溶出液を減圧乾固後、0.05 M ラウリル硫酸ナトリウム溶液 5 mL に溶解し、メンブランフィルター（0.20 μm）でろ過後、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）分析に供した。

ii) HPLC 測定条件

ODS 系のカラムを用い、対イオンとしてラウリル硫酸ナトリウムを用いるイオン対クロマトグラフィーにより分離し、*o*-フタルアルデヒド-2-メルカプトエタノールによりポストカラム発色し、蛍光検出した。定量は標準品のピーク面積との比較によって行った。

HPLC の分離条件は以下の通りである。

装置：SHIMADZU LC-10Avp シリーズ

カラム：TSK-GEL ODS-80Ts 4.6 mm×25.0 cm (TOSOH)

移動相：0.05M ラウリル硫酸ナトリウム：アセトニトリル（65：35 V/V, pH2.4）

流速：0.75 mL/min

カラム温度：40℃

ラベル化試薬：0.02% *o*-フタルアルデヒドと 0.05%2-メルカプトエタノールを含む 0.2M ホウ酸緩衝液 pH 9.9, 1.0 mL/min

反応温度：50℃

検出：励起波長 365 nm, 蛍光波長 455 nm

集計：CLASS-VP V6.12

2. 実験結果

(1) ACE 阻害活性

植物性食品抽出液の 30 μL を反応液に添加したときの ACE 阻害をスクリーニングした結果を表 1 に示した。これは植物性食品乾燥粉末 1.5 mg から得られる抽出物の全てを反応混合液に加えたときの阻害活性を示すものである。ミツバアケビ（95%）、チコリー（95%）、ブロッコリー（95%）など、イネ科の植物を除く多くの試料で 60% 以上の強い ACE 阻害が示された。60% 以上の阻害を示したものは全試料の 70% を占めた。

(2) ニコチアナミンの定量

表 1 に乾物基準換算 100 g 当たりのニコチアナミン量を示した。ほとんどの試料でニコチアナミンが検出されたが、特にタラノメ（74.8 mg）、シュンギク（67.4 mg）、マルナス（64.7 mg）、ズッキーニ（64.0 mg）などは顕著であった。しかし、イネ科の植物の多くはニコチアナミンの含有量がわずかであった。

分類学上の科に分け、ニコチアナミン含有量の比較を行ったところ、ウコギ科（ $n=3$ 57.0±20.73 mg）はアブラナ科（ $n=12$ 28.7±14.36 mg $p<0.05$ ）、キク科（ $n=10$ 26.8±17.58 mg $p<0.05$ ）、セリ科（ $n=4$ 13.5±12.00 mg $p<0.05$ ）、ユリ科（ $n=14$ 16.7±13.21 mg $p<0.001$ ）、イネ科（ $n=7$ 1.07±0.54 mg $p<0.05$ ）に対して有意にニコチアナミン量が多いことが示された。同様に、ウリ科（ $n=5$ 34.6±19.04 mg）とアブラナ科は、ユリ科に対して有意にニコチアナミン量が多いこと（ $p<0.05$ ）が示された。これらの結果から、イネ科の植物と、ネギに代表されるユリ科の植物はニコチアナミン量が少ないことが示唆された。また、ナス科ではメークインやダンシャクなどの根菜類であるジャガイモ類の平均が 12.7 mg に対し、果菜類であるナスなどの平均は 28.7 mg であった。しかしながら、これらは食用としている部位による違いとも考えられ、今後検討の余地がある。ユリ科のアスパラガス、ウリ科の様に強い ACE 阻害を示すにもかかわらず、ニコチアナミンをほとんど含有していないものも存在した。

3. 考察

現在、特定保健用食品として血圧が高めの人へ向けて販売されているものには、ACE 阻害能を持つ各種ペプチド類⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ や神経系に作用して血圧降下をもたらすとされる γ -アミノ酪酸⁽¹³⁾ などがある。しかし、これらペプチド類に関しては、種々の食品タンパク質を起源としてはいるが、それらを適当なプロテアーゼで加水分解処理して生成させたものも多く、その起源となる食品を摂取しても ACE 阻害や血圧低下の作用を期待できるものではない。本研究は植物性食品、特に野菜類の十分な摂取が高血圧の予防に有効なのではないかと考え、それらの ACE 阻害効果を広範囲に検索するとともに、いくつかの植物性食品で ACE 阻害物質として同定されているニコチアナミンの分布を明らかにする目的で計画した。このため、特別な処理を行わず、食品そのものの ACE 阻害能の有無を検索するため、熱水抽出を行い、その抽出液を直接試験する方法によりスクリーニングを行った。

その結果、反応混合液（1 mL）中に試料乾物 1.5 mg 相当の抽出液を添加した系において、供試した試料の多くが強い ACE 阻害を示した。特に、アブラナ科、ウリ科、キク科のものには強い活性を示すものが多く見られた。その一方で、イネ科では ACE 阻害はほとんど見られなかった。このことは分類学上の科と ACE 阻害には何らかの関係があることを示唆している。これらの結果について、他の研究と比較を行ったところ、木元ら⁽⁴⁾ はホウレンソウ、ニンジン、の ACE 阻害は弱いという報告をしているが、今回の実験結果でも同様の結果がみられ、木元らの報告を支持するものであった。また、鈴木ら⁽³⁾ の、冷水抽出物による ACE 阻害の報告では、野菜類ではアスパラガスが強いことを示している。今回の結果でも、アスパラガスについては同様

に70%以上の強いACE阻害が認められた。イモ類に属するジャガイモのダンシャクについて、横ら¹⁴⁾の研究と比較すると、測定の前処理法は異なっているが、ACE阻害は本研究の方が若干高い数値となった。横らの研究では、前処理で原料をボイル後、裏ごし機で圧潰していることから、ボイル時に湯にニコチアナミンが溶出していることが考えられた。

ニコチアナミンは高等植物体では必須の物質と考えられており、遷移金属イオンとキレートして生体内の移動を司り、またこれら金属イオンの安定性に関係するとされている。一方ニコチアナミンは、強いACE阻害を示す物質であることが明らかとなっている。つまり、ニコチアナミンを多く含む植物性食品は強いACE阻害を示すことが考えられる。本研究の結果は、ニコチアナミンを5mg/100g乾物以上含むほとんどのものが60%以上と強いACE阻害を示した。

植物性食品の場合、食品によって旬が存在し、季節間による成分差が考えられる。そこで、ダイコンとホウレンソウについては夏と冬に試料を購入し測定を行った。ダイコンのニコチアナミン量は冬59.6mg、夏17.1mgと42.5mgもの大きな差が見られた。また、ホウレンソウも冬36.3mg、夏16.8mgであり、ともに旬である冬の方が、ニコチアナミン量は多いことが示された。

タラノメ、シュンギクのニコチアナミン量は、先に報告したマメ科の絹さや(生)の77.0mg⁹⁾に次いでニコチアナミン量が多く、良い給源であることが示された。

分類学上の科によるニコチアナミン量の有意差検定を行ったところ、ウコギ科が他の科に比較し高いことが示された。また、この結果を先に報告した冷凍品を除いたマメ科のニコチアナミン量との比較を行ったところ、ウコギ科はマメ科($n=34$ 35.2±12.92)に対しても有意にニコチアナミン量が多い($p<0.05$)ことが示された。しかし、これは食用部位や収穫時期、品種なども一定でない単純な比較であり、植物分類上の種間によるニコチアナミン含量の差異については、今後の検討課題である。

先に我々は、きのこのシメジモドキより単離したニコチアナミンの同じ系におけるACE阻害のIC₅₀値を0.11μmol/Lと報告した⁸⁾。また、このIC₅₀測定において、ニコチアナミンは0.22μmol/Lではほぼ最大阻害率を示した。すなわち、本研究において約4.4mg/100g乾物以上のニコチアナミンを含有する試料の抽出液は、計算上100%近いACE阻害を有すると考えられた。

この推論に一致し、本実験の約4.4mg/100g乾物以上のニコチアナミンを含有する試料の抽出液は、ほとんどが60~70%以上のACE阻害率を示し、ニコチアナミンはこの阻害の原因物質であることが推察された。もちろん、ニコチアナミン以外のACE阻害成分の存在を否定するものではないが、ニコチアナミン単独でも本研究で示された多

くの植物性食品のACE阻害を説明できるものと考えられた。

しかしながらホウレンソウ、ニンジン、ライムギ、スイートコーン、オオムギのように5mg/100g乾物以上のニコチアナミンを含有するにもかかわらず、ACE阻害率が非常に低い試料も見受けられた。この原因は明らかでないが、今回採った抽出法では、ニコチアナミンが完全には抽出液に移行していない可能性や、当該試料の他の成分にACEの賦活作用が存在する可能性、あるいは阻害作用測定に不可解な妨害作用が存在する可能性などが考えられる。また、これほどには鮮明ではないものの、他のニコチアナミンを多量に含む試料においても阻害率にかなりのバラツキが見られ、必ずしも100%近い阻害率を示さない物が多数存在した。これらも、測定法に起因する現象であると考えられるが、いずれにしても、ホウレンソウなどについては、今後その原因を明らかにしたいと考えている。

これらに対し、アスパラガス、ニリンソウ、ウルイ、ヤナギタデのようにニコチアナミンをほとんど含有しないにもかかわらず強い阻害作用を示すものが見受けられた。このことは、これらがニコチアナミン以外の阻害成分を含有することを示唆している。このうち、ヤナギタデのようなタデ科の植物にはそば粉より発見されたACE阻害を示す2'-ヒドロキシニコチアナミンが存在すると考えられ、これが原因物質と推定される。しかしながら、他の試料については阻害物質が明らかでなく、興味深い。今後これらについても検討する計画である。

植物性食品の血圧に対する影響に関しては、多くの研究が行われている。法村ら¹⁵⁾は本研究で用いたものとは異なるアブラナ科野菜にACE阻害やγ-アミノ酪酸が存在することを報告している。また、渡辺らの研究¹⁶⁾ではカキドオシ抽出物中KのNa排泄作用や食物繊維の働きなど、ニコチアナミンの関与以外の血圧上昇抑制作用を報告している。またWadaら¹⁷⁾は、ニコチアナミン量が低いイネ科の米に対して、その機能性を期待して、ニコチアナミンを高濃度含有する種を開発し、主食となる穀類から効率よいニコチアナミンの摂取を目指している。

血圧と生活習慣については、欧米で野菜、果物、低脂肪乳製品などを中心としたDASH食¹⁸⁾¹⁹⁾と呼ばれる食事摂取の臨床試験が行われ、有意な降圧効果が示されたことから注目が高まっている。

食品中のACE阻害能は、医薬品であるACE阻害薬と比較するとかなり弱いものである。しかし、様々なACE阻害成分を含む食品を摂取することにより、食事によって血圧のコントロールがなされれば、生活習慣病予防の観点からも非常に望ましいと思われる。

平成19年の国民健康・栄養調査報告によると植物性食品の中で野菜類の摂取量について、基準とされる350gを満たしている世代はいない²⁰⁾。本研究では野菜類のACE

阻害に関してニコチアナミンが何らかの関係を示すことを明らかにしたが、今後、植物性食品についての多方面からの研究が進むことにより、植物性食品を食べることの意義が解明されるよう、研究を行っていきたい。

4. 要 約

植物性食品 80 種類について、ACE 阻害とニコチアナミン量の測定を同時に行い、植物性食品の血圧抑制について検討した。

ACE 阻害は、イネ科の植物を除く多くの試料で 60% 以上の強い ACE 阻害が示された。ニコチアナミン量は、タラノメで 74.8mg/乾物 100g と最も多く、イネ科を除く多くの試料でニコチアナミンが検出された。科間の比較ではウコギ科はイネ科とユリ科の植物と比較してニコチアナミン量が有意に多いことが示された。

アスパラガス、ウルイのように強い ACE 阻害を示すが、ニコチアナミンを含有していないものも存在していた。しかし、多くの植物性食品の ACE 阻害の強さにニコチアナミン量が少なからず影響していることが示された。

本研究に際し、一部試料を提供して頂いた女子栄養大学上広谷農園と研究を手伝ってくださった女子栄養大学食品科学研究所の卒業研究生の皆様に感謝いたします。

文 献

- 日本高血圧学会高血圧治療ガイドライン作成委員会, 生活習慣の修正, 「高血圧治療ガイドライン 2009」, (ライフサイエンス出版, 東京), pp. 31-36 (2009).
- 戸田和正, 循環器疾患, 「栄養食事療法必携」, 第 3 版, 中村丁次編, (医歯薬出版株式会社, 東京), pp. 86-102 (2005).
- 鈴木建夫, 石川宣子, 目黒 熙, 食品中のアンジオテンシン I 変換酵素阻害能について, 農化, **57**, 1143-1146 (1983).
- 木元幸一, 清水恵美子, 黒田裕子, 食品中の ACE 阻害物質に関する研究, 東京家政大学研究紀要, **38**, 59-63 (1998).
- 林あつみ, 中山知子, 村上和雄, 青柳康夫, 木元幸一, つくば高血圧マウスに及ぼすニコチアナミンの影響, 栄食誌, **58**, 315-321 (2005).
- Kimoto, K., Kuroda, Y., Saito, Y., Yamamoto, J., Murakami, T. and Aoyagi, Y., Purification and Identification of Angiotensin I-Converting Enzyme Inhibitor from *Morokheiya* (*Corchorus olitorius*). *Food Sci. Technol. Int. Tokyo*, **4**, 223-226 (1998).
- 林あつみ, 中山知子, 青柳康夫, 木元幸一, ハヤトリからニコチアナミン単離精製とその定量法の確立, 日本食品科学工学会誌, **52**, 154-159 (2005).
- 伊澤華子, 青柳康夫, キノコのアンジオテンシン I 変換酵素 (ACE) 阻害活性, 日本食品科学工学会誌, **53**, 459-465 (2006).
- 伊澤華子, 吉田 望, 白貝紀江, 青柳康夫, 豆類のニコチアナミン含量とアンジオテンシン I 変換酵素阻害活性, 日本食品科学工学会誌, **55**, 253-257 (2008).
- Cheung, H.S. and Cushman, D.W., Inhibition of homogeneous angiotensin-converting enzyme of rabbit lung by synthetic venom peptides of *Botheop jararaca*. *Biochim. Biophys. Acta.*, **293**, 451-463 (1973).
- 中村康則, カルピス酸乳「アミール S」の開発, ジャパンフードサンエンス, **37**, 37-41 (1998).
- 松井利郎, 川崎晃一, 食品タンパク質由来機能性ペプチドによる血圧降下作用—イワシペプチド (Val-Tyr) による降圧食品の開発を中心として—, 栄食誌, **53**, 77-85 (2000).
- 梶本修身, 平田 洋, 中川聡史, 梶本佳孝, 早川和仁, 木村雅行, GABA 含有はっ酵乳製品の正常高値血圧者に対する降圧効果, 日本食品科学工学会誌, **51**, 79-86 (2004).
- 横 賢治, 中野敦博, 山木一史, 岩下敦子, 馬鈴薯の酵素処理による食品素材の開発, 北海道立食品加工研究センター報告, **6**, 47-49 (2005).
- 法村奈保子, 小林元太, 小松 豊, 前田 稔, 牧 哲義, 園元謙二, アブラナ科野菜の乳酸発酵による γ -アミノ酪酸含量とアンジオテンシン I 変換酵素阻害能の増強効果, 福岡県農業総合試験場研究報告, **28**, 11-16 (2009).
- 渡辺敏郎, 川田あゆみ, 井上美保, 石原伸治, 辻啓介, 本態性高血圧自然発症ラットにおけるカキドオシ抽出物の血圧上昇抑制作用, 日本食品科学工学会誌, **54**, 415-418 (2007).
- Wada, Y., Kobayashi, T., Takahashi, M., Mori, S. and Nishizawa, N., Metabolic Engineering of *Saccharomyces cerevisiae* Producing Nicotianamine, Potential for Industrial Biosynthesis of a Novel Antihypertensive Substrate. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **70**, 1408-1415 (2006).
- Frank, M.S., Laura, P.S., Ailliam, M.V., Lawrence, J.A., George, A.B., David, H., Eva, O., Paul, R.C., Edgar, R.M., Denise, G.S., Njeri, K. and Pao-Hwa, L., Effects on Blood Pressure of Reduced Dietary Sodium and to Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) Diet. *N. Engl. J. Med.*, **344**, 3-10 (2001).
- Lawrence, J.A., Thomas, J.M., Eva, O., Ailliam, M.V., Laura, P.S., Frank, M.S., George, A.B., Thomas, M.V., Jeffrey, A.C., Marlene, M.W., Pao-Hwa, L. and Njeri, K., a Clinical Trial of the effects of Dietary Patterns on Blood Pressure. *N. Engl. J. of Med.*, **336**, 1117-1124 (1997).
- 「国民健康・栄養の現状—平成 19 年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より—」, (第一出版株式会社, 東京) pp. 86-88 (2010).

(平成 24 年 2 月 6 日受付, 平成 24 年 4 月 6 日受理)