

総説特集：伝統食品の科学—ルーツ、おいしさ、機能—4

福井の伝統食品

—マサバの「へしこ」と「なれずし」のおいしさと機能性—*

赤羽 義章・伊藤 光史**

(福井県立大学・生物資源学部)

日本海側の広い地域に種々の水産発酵食品が存在しているが、福井県の沿岸や周辺の内陸部ではマサバのへしこやなれずしが伝統的に作られてきた。へしこはマサバを塩漬にした後、これを米糠と合わせて漬け込み、6ヶ月以上発酵させて作る。この地方のなれずしには2種類あり、塩出したへしこを原料に用いるものと、生マサバを原料に用いるものがある。後者は、マサバを塩漬した後、米飯と合わせて、夏期を経て4ヶ月以上発酵させて作る。近年、これらの発酵食品の生産量は増加の傾向にある。へしことなれずしとは製造法が違っただけでなく、呈味の点でもかなり大きく異なる。なれずしは比較的低塩分であり、へしこはかなり高塩分で作られる食品であるが、へしこを多く消費するこれらの地域に高血圧その他の健康障害が多いという報告はない。これらの発酵食品が長年存在してきた背景には、なんらかの食品機能が関係しているのではないかと考えた。生マサバを用いてへしこ後者タイプのなれずしを調製し、一般成分やエキス成分などの変化を調べた。その結果、製品中に多量の遊離アミノ酸や有機酸などの呈味成分に加えて、ペプチドが多量に蓄積することが分かったので、これら食品のエキスを高血圧自然発症ラット (SHR) に投与し、血圧に対する影響についても検討した。

キーワード：へしこ、なれずし、マサバ、エキス成分、抗高血圧作用

1. へしことなれずしの調製

1.1 マサバへしこ¹⁾

1尾700g前後の100尾のマサバから、内臓、エラを取り除き、水洗して付着した血液などを除去した。魚体に対して23%の食塩を、均一になるように魚体に振りかけ、加塩した魚をなるべく隙間のないように100l容のプラスチック製の容器に敷き詰めた。蓋をして、40kgの重石を上に乗せ1週間塩漬した。塩漬したマサバを取り出し、容器中の塩汁中で、魚体表面の食塩をすすぎ落とした。塩漬したマサバに対し45%量の米糠を用い、その一部を魚の腹腔部に詰め込み魚体表面にもまぶした。このよ

うにしたマサバを隙間のないように容器内に敷き、上から糠を振りかけながら魚と糠の層が交互に重なるようにして、100l容プラスチック容器に積み込んだ。糠には刻んだ唐辛子を適量加えた。蓋をして重石を乗せ、塩漬の間に魚体からにじみ出た塩汁を、容器の上から注入した。密封した状態で遮光して保存し、夏期を経て6ヶ月以上室温で発酵させ、へしこの製品とした。

1.2 マサバなれずし²⁾

なれずしでは抗酸化力のある米糠を用いないため、脂質含量の低い比較的小型のマサバが用いられ

*Received May 29, 2007; Accepted July 10, 2007

Deliciousness and physiological function of heshiko and narezushi processed from mackerel as traditional marine fermented foods in Fukui, Japan

**Yoshiaki Akahane and Kouji Itou, Department of Marine Bioscience, Faculty of Biotechnology, Fukui Prefectural University, Obama, Fukui 917-0033, Japan; akahane@fpu.ac.jp, Fax+81-770-52-6003

る。1尾の重量が400g前後の50尾のマサバから、内臓、エラを取り除き、水洗して付着した血液などを除去した。よく水切りした後、魚体重量に対して5%の食塩を均一になるように振りかけ、100l容のプラスチック製の容器に積み重ね、5℃で2日間塩漬した。塩マサバを取り出し、魚体表面の付着物を流水中で十分に洗い落とした。別途、炊飯した米飯に7%の食塩と10%の日本酒（エタノール15v/v%）を加えたものを用意した。塩マサバに対して70%量の米飯を用い、一部を腹腔部に詰め込むとともに残りの米飯で魚体表面を覆い、適量の山椒の葉を振りかけながら100l容プラスチック容器に積み重ねた。蓋を乗せて70kgの重石をし、上部に5%食塩水を注入した。密閉し遮光した状態で夏期を経て4ヶ月以上発酵させ、なれずし製品とした。

2. へしこ及びなれずしの製造過程で起こる成分変化

2.1 一般成分

へしこの製造過程における魚肉中の一般成分の変化を図1に示した¹⁾。61%あったマサバの水分は1週間塩漬する間に脱水によって36%まで大きく減少したが、糠漬工程では大きくは変化しなかった。イワシの糠漬においても同様な傾向があるとの報告がある³⁾。塩漬はマサバの水分を低下させ初期腐敗を防止する上で重要な工程である。20%あったマサバのタンパク質は見かけの上では、量的にほとんど変化しなかったが、実際には塩漬により水分とともに一部が魚体外に流出したと考えられ、へしこ製品で約19%となった。18%あったマサバの脂質はへしこ製品では約20%と見かけ上増加したことから、工程中に一部は流出するが多くは魚体内に留まるものと考えられた。1%であった灰分は塩漬で約11%まで増加した。へしこ製品の食塩含量は8%であったことから、灰分の多くは食塩であるが、糠漬中に魚骨の一部が溶出したと思われる。著者らが市販へしこの食塩含量を調べたところ、多くは9~11%であったので⁴⁾、この8%という数字はへしこの食塩含量としては低い方である。マサバの糖質は0.1%と微量であったが、製品では約10%に増加した。発酵工程で、可溶化した米糠の糖質が魚肉に浸透したものであり、へしこの呈味にも関係していると考えられる。

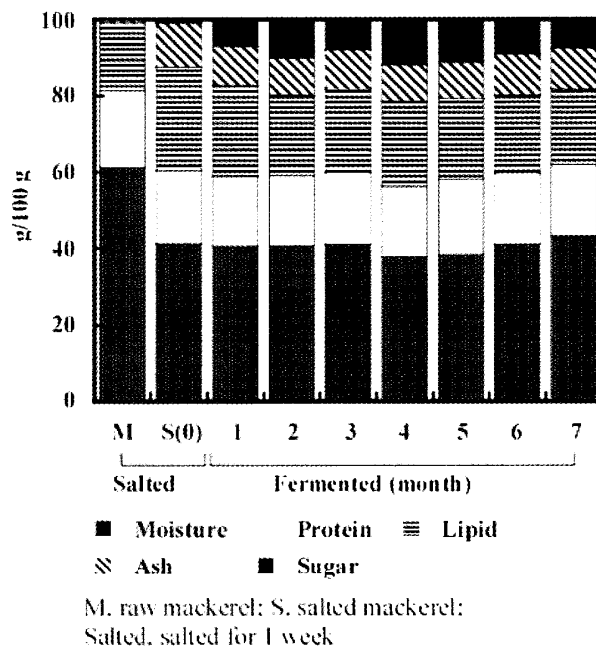


図1 へしこの一般成分。

なれずしの製造過程におけるマサバ魚肉および米飯中の一般成分の変化を図2²⁾に示した。(a)は魚肉、(b)は米飯である（以下も同様）。67%あった魚肉の水分は塩漬で63%に減少し、米飯漬工程でも減少してなれずし製品では約57%となった。なれずしは低塩分で作るため、塩漬工程での脱水量は小さく、米飯の発酵によって魚肉のpHが低下する間にも魚肉水分は低下した。しかし、結果的に製品の魚肉水分はへしこよりかなり高いものとなった。魚肉とは対照的に、58%であった米飯の水分は製品段階で63%に増加した。23%あったマサバのタンパク質は見かけ上は製品に至るまで大きくは変化しなかった。しかし、2.3%であった米飯のタンパク質は製品では約9%となり、実際には、製造工程で魚肉からかなりの量のタンパク質が米飯に移行することが分かった。9%あったマサバの脂質は製品で約8%であり、米飯では0.2%から0.5%へと増加は小さかった。このことから、工程中のマサバからの脂質の流出と米飯への移行は小さいと考えられる。1%であったマサバの灰分は塩漬により製品で7%となり、食塩含量は約5%であった。この食塩含量は市販品と同程度である。米飯中の食塩含量は工程中大きくは変化せず、約6%を維持していた。0.1%であったマサバの糖質は米飯漬の発酵過程で大きく増加して、製品で約8%となった。米飯中で可溶化し

福井の伝統食品

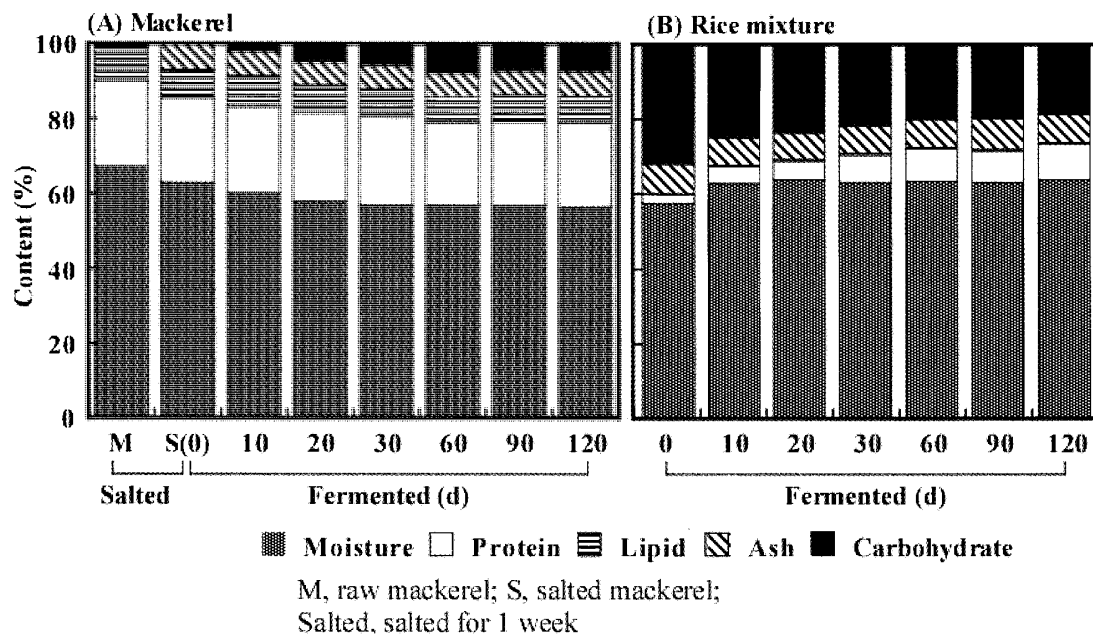


図2 なれずしの一般成分。

た糖質が魚肉中に移行したものであり、なれずしの呈味にも関係しているものと考えられる。米飯の糖質は32%から製品段階の18%まで減少したが、これには魚肉からの水分の移行による希釈の影響が大きいと考えられる。

2.2. pH および有機酸

図3の(A)はへしこ製造中のマサバ魚肉のpHの変化を示している¹⁾。生マサバのpHは6.6であったが、塩漬から糠漬のはじめにやや低下し、発酵の進行にともなって低下して、へしこ製品では5.0~5.2となった。図3(B)および(C)は有機酸の変化を示している。主要な有機酸である乳酸の量は塩漬から糠漬の初期に大きく低下したが、その後は大きく増加して、製品では1750 mg/100gに達した。その他の有機酸として、酢酸、コハク酸、リンゴ酸がそれぞれ製品100g中で230mg、200mg、70mgまで増加した。工程の初期で乳酸が減少する中で、pHが緩やかに低下したことには、その他の有機酸の生成、ヒスチジン減少と酸性アミノ酸の増加などが総合的に関係しているものと思われる。発酵過程における有機酸の生成はへしこのまろやかな酸味と保存性の向上に寄与していると考えられる。

図4は、なれずし製造中のマサバ魚肉と米飯のpHの変化を示している²⁾。初発のpHは魚肉で6.05、米飯で6.51であったが、20日間の発酵過程でも

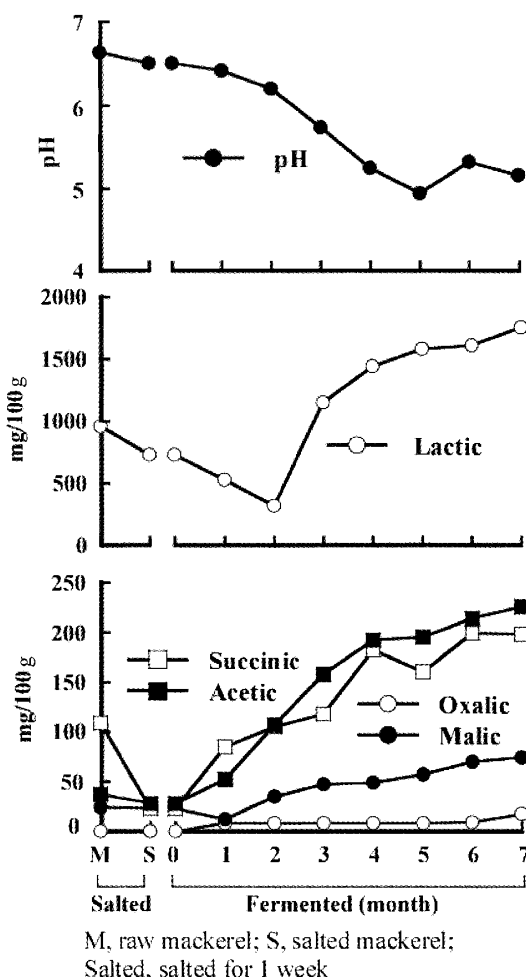
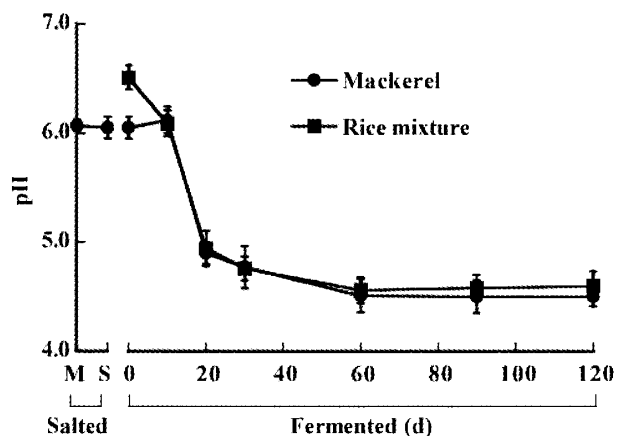


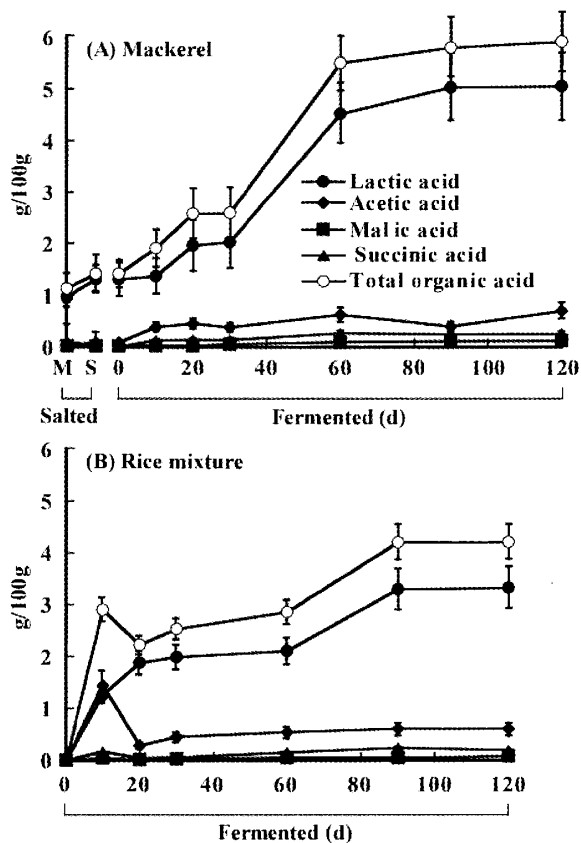
図3 へしこのpH(A)および有機酸(B,C)の変化。

に大きく低下して4.9付近になり、その後も緩やかに低下してともに4.5付近に至った。図5は、(a)



M, raw mackerel; S, salted mackerel;
Salted, salted for 1 week

図4 なれずしの pH の変化。



M, raw mackerel; S, salted mackerel;
Salted, salted for 1 week

図5 なれずしの有機酸 ((A)マサバ, (B)米飯) の変化。

がなれずし魚肉、(b)が米飯の有機酸の変化を示している。発酵期間中に、マサバおよび米飯ともへしこと同程度あるいはそれ以上の量の酢酸などの有機酸が検出されたが、主要な有機酸は乳酸であり、その量は100g中マサバで5g、米飯で4.2gに達した。なれずしのマサバの乳酸量はへしこの2.5倍であ

り、この多量の乳酸などの有機酸の生成は、なれずしの強い酸味を特徴付けるとともに、pHの低下をもたらすことにより、魚肉の保水性の低下による脱水を引き起こし³⁾、低塩分下での製品の保存性に大きく寄与していると考えられる。

2.3. 遊離アミノ酸

へしこ製造工程中の遊離アミノ酸量および組成の変化を表1に示した¹⁾。最も特徴的なことはマサバの遊離アミノ酸総量の約70%を占める多量のHisが激減したことである。原料マサバ100g中485mgあったHisは、塩漬で254mgに減少し、さらに糠漬工程で減少し製品で12mgとなった。市販へしこの分析においてもHisの大きな減少が見られたことから⁴⁾、工程中で一般的に起こる現象であると考えられる。通常、へしこを食することでヒスタミン中毒を起こすことはなく、製品中に多量のヒスタミンが蓄積することもないが、Hisの挙動についてはさらに詳細な検討が必要である。その他の遊離アミノ酸については、Tauのように増減の小さいものもあるが、いずれも大きく増加し、特にGlu、Ile、Lys、Asp、Alaの増加が著しく、Phe、Val、Leu、Tyr、Glyなどもかなり増加した。Hisの大きな減少があったものの、遊離アミノ酸総量の増加が著しく、原料マサバの695mgから製品の1793mgへと大きく増加した。この大きな増加は、工程中に内在性や

表1 へしこの遊離アミノ酸の変化。

(mg/100g)

	Raw	Salted	Fermented (week)						
			1	2	3	4	5	6	7
Tau	49.9	73.5	54.9	58.7	62.3	54.0	53.3	52.2	58.6
Asp	0.5	6.9	42.8	68.9	87.5	126.1	124.4	144.1	145.7
Thr	4.6	7.9	18.2	34.0	41.6	52.6	55.3	61.4	61.6
Ser	3.2	7.4	20.2	34.6	46.4	55.1	58.6	60.5	65.2
Glu	27.9	28.0	56.3	91.6	133.7	171.9	171.1	185.8	211.5
Sar	1.3	2.4	5.6	11.3	8.2	14.2	13.2	12.0	22.5
Gly	932	13.4	16.1	24.7	32.8	38.1	40.4	41.6	44.9
Ala	14.9	26.3	41.9	70.3	89.5	107.2	113.0	118.0	127.9
Cit	0.0	0.7	3.2	5.7	5.7	11.0	17.1	21.9	19.0
Val	4.2	9.0	24.3	41.1	59.8	74.5	81.1	89.0	93.9
Met	1.0	5.0	12.9	12.2	28.2	26.7	40.3	47.5	47.9
Ile	4.8	18.0	43.1	69.5	109.1	143.8	162.0	174.3	184.8
Leu	2.6	8.2	19.9	42.3	45.7	69.8	72.7	83.6	85.3
Tyr	4.3	10.0	18.8	31.8	44.3	60.2	66.9	77.4	78.7
Phe	2.4	11.9	23.5	36.9	55.2	72.1	83.2	91.9	99.5
h-Ala	2.3	5.4	8.1	10.5	12.4	12.7	14.0	17.7	14.6
Orn	2.7	3.0	3.3	5.4	46.1	67.6	54.7	75.4	60.8
Lys	38.4	41.5	57.8	96.5	137.9	169.4	174.2	192.9	200.3
His	484.5	253.9	153.7	146.2	117.2	34.4	30.9	31.3	12.3
Ans	14.1	17.3	30.5	32.3	31.2	51.6	45.5	24.4	36.6
Car	6.8	12.7	12.9	0.0	2.6	7.8	6.6	5.2	4.8
Arg	3.3	10.5	36.5	66.8	28.2	25.7	16.6	35.8	21.6
Pro	6.3	4.9	13.4	21.5	27.0	35.1	41.4	38.4	41.5
Total	695.0	584.4	722.4	1036.7	1276.5	1591.9	1588.4	1738.5	1792.9

福井の伝統食品

微生物由来のプロテアーゼの作用によってタンパク質やペプチドが分解することによると考えられるが、今後の詳細な検討が待たれる。

表 2²⁾になれずしの製造工程中における遊離アミノ酸の総量と組成の変化を示した。(a)は魚肉における変化、(b)は米飯における変化である。魚肉では、へしこで起きた His の大きな減少は認められず、米飯における大きな増加を考慮すると、なれずし全体としても His は増加していると考えられた。(a)のマサバ 100 g 中で、原料段階で 697 mg であったアミノ酸総量は発酵工程を経た製品では 4702 mg と著しく増加した。(b)の米飯では 21 mg であったものが、4576 mg にまで増加し、発酵工程において魚肉中に多量の遊離アミノ酸が生成し、それらのかなりの部分が米飯に移行したことが分かる。個々のアミノ酸についても、Val を除いた全てのアミノ酸でなれずしはへしこより大きく増加した。Glu は魚肉及び米飯ともに 500 mg 以上に達し、遊離アミノ

酸の著しい増加はなれずしのマサバのみならず、同じく可食部である米飯のうま味の形成に大きく貢献していると考えられる。さば馴れずしには Ala、Leu、Val が多量に存在するとの報告があるが⁶⁾、長期間発酵させたものではない。長期発酵型のなれずしの遊離アミノ酸の変化についての報告は、表 2 以外にはほとんど見受けられない。

2.4. ペプチド

図 6 はへしこ製造工程中のマサバ 100 g あたりの熱水可溶性ペプチド (総ペプチド) および 5%PCA (5% 過塩素酸溶液) 可溶性の低分子ペプチド (PCA ペプチド) の変化を示している¹⁾。原料マサバで 650 mg であった 総ペプチドは 7 日間の塩漬でかなり増加し、発酵を経た製品では 2600 mg にまで増加した。PCA ペプチドも同様に 260 mg から 1400 mg まで増加した。マサバを高塩分下で 7 日間塩漬する間に総ペプチドと PCA ペプチドが増加することから、この期間には魚肉内在性のプロテアーゼの関与が大きいと考えられる。また、低分子の PCA ペプチドが大きく増加したことから、生成したペプチドがへしこの呈味にも関係していると思われるが、どの程度であるかは不明である。

図 7 になれずし製造工程中のマサバと米飯中のペプチドの変化を示した²⁾。塩漬および発酵中にマサバのペプチドは増加して、発酵 60 日間で 3000 mg に達するが、以後はほとんど変化しなかった。米飯についても 1500 mg に達した後はほとんど変

表 2 なれずしの遊離アミノ酸の変化。

	(A) マサバ (mg/100g)								
	Raw	Salted	Fermentation period (days)						
			10	20	30	60	90	120	
Tau	50.0	79.3	10.1	67.3	53.2	42.7	63.2	70.7	
Asp	N.D.	5.1	29.9	80.8	77.9	164.7	206.5	361.4	
Thr	5.0	8.8	29.7	72.2	73.0	119.8	180.5	238.1	
Ser	3.0	7.6	23.4	41.0	30.0	94.8	133.0	171.5	
Glu	2.8	10.7	49.5	147.5	152.2	282.8	398.9	874.6	
Sar	1.0	N.D.	11.3	19.9	20.7	22.0	46.7	8.9	
Gly	9.0	7.2	12.9	39.6	10.5	90.8	114.2	188.8	
Ala	15.0	22.2	56.3	113.4	114.0	195.7	262.3	383.1	
Val	4.0	N.D.	N.D.	3.2	1.5	1.5	1.3	3.9	
Met	1.0	6.0	22.2	60.0	59.4	82.6	108.1	171.5	
Ile	5.0	6.6	34.2	113.5	108.6	135.6	213.2	237.7	
Leu	3.0	15.2	87.7	222.7	213.5	297.3	445.8	533.1	
Tyr	4.0	9.2	32.3	83.6	87.0	101.0	160.0	168.4	
Phe	2.0	6.9	29.1	85.6	80.6	118.8	180.6	216.1	
Orn	3.0	2.1	14.5	38.5	48.7	130.9	190.0	234.0	
Lys	38.0	20.9	60.9	202.1	188.2	283.6	397.7	534.9	
His	485.0	566.4	267.4	352.1	296.6	211.9	345.5	394.6	
Arg	3.0	6.8	37.0	77.8	48.8	11.2	22.0	24.2	
Pro	6.0	N.D.	16.6	35.1	29.9	25.6	33.3	34.3	
TOTAL	697.0	809.8	834.2	1889.0	1809.3	2536.4	3655.7	4702.1	

	(B) 米飯 (mg/100g)							
	0	Fermentation period (days)						
		10	20	30	60	90	120	
Tau	1.6	45.2	59.8	63.5	81.8	68.5	66.8	
Asp	1.9	17.3	60.7	86.2	95.7	366.0	340.4	
Thr	N.D.	22.6	53.9	75.0	119.0	209.5	160.7	
Ser	1.2	21.0	28.6	43.8	167.6	160.0	179.2	
Glu	2.8	41.7	118.8	178.1	294.5	414.4	521.3	
Sar	N.D.	9.4	11.5	21.2	37.9	26.2	7.3	
Gly	1.6	14.5	35.7	52.9	150.3	170.5	187.6	
Ala	3.9	44.7	96.2	132.3	334.5	322.5	345.9	
Val	N.D.	N.D.	1.7	1.2	4.6	6.1	7.2	
Met	N.D.	19.7	48.2	62.0	148.6	142.7	161.6	
Ile	N.D.	27.8	73.1	100.8	223.9	221.6	213.9	
Leu	1.1	69.2	146.4	201.5	478.3	461.1	483.3	
Tyr	N.D.	27.3	50.7	79.0	195.1	176.4	164.6	
Phe	N.D.	22.6	54.2	74.7	183.7	169.6	184.7	
Orn	N.D.	14.5	56.2	88.5	236.6	215.6	211.3	
Lys	N.D.	58.8	140.1	198.5	504.7	487.7	531.3	
His	N.D.	215.4	319.4	316.1	446.0	384.3	398.8	
Arg	2.2	23.1	23.6	15.4	32.4	32.6	49.5	
Pro	N.D.	12.6	28.2	25.9	34.7	37.2	37.3	
TOTAL	20.6	714.5	1442.3	1907.5	3897.7	4325.4	4575.7	

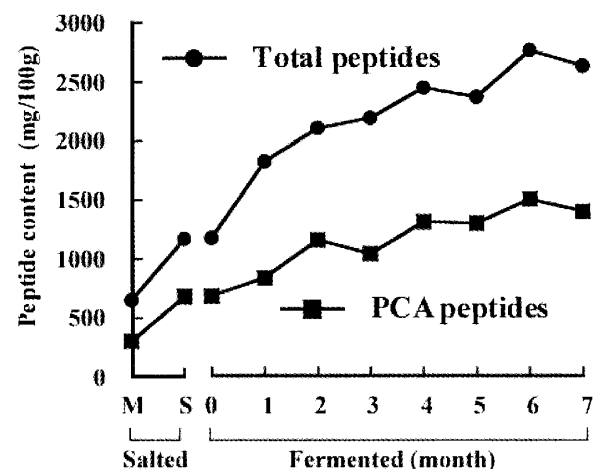


図 6 へしこのペプチドの変化。
M, raw mackerel; S, salted mackerel; Salted, salted for 1 week

図 6 へしこのペプチドの変化。

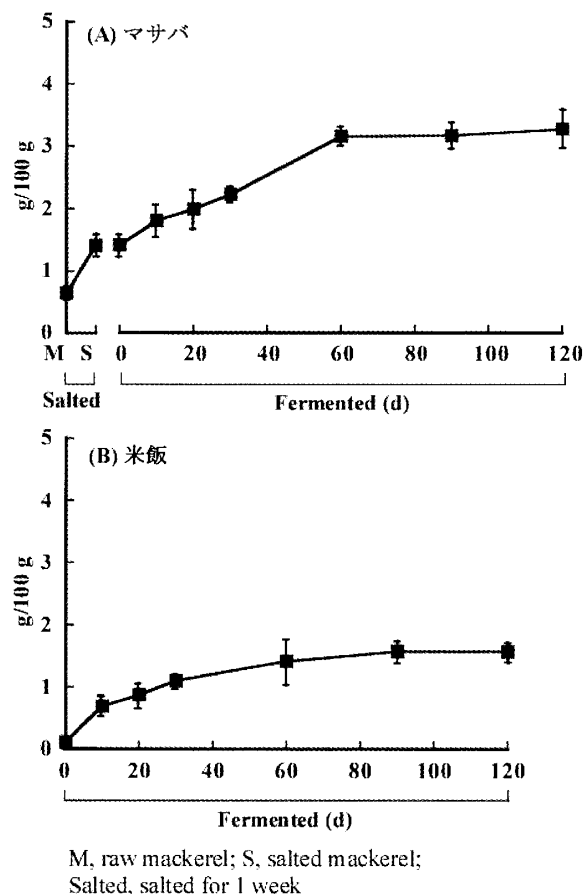


図7 なれずしのペプチド ((A) マサバ, (B) 米飯) 総量の変化。

化しなかった。タンパク質分解酵素活性が多量の有機酸の生成による pH 低下の影響を受けたことが考えられるが、詳細については不明である。また、生成したペプチドがなれずしの呈味にどのように関係しているかも今後の検討課題である。

2.5. ATP 関連化合物

図8は、へしこ製造工程中の ATP 関連化合物の変化をマサバ 100 g 中の mg で示したものである¹⁾。原料マサバにおいて既に低含量であった ATP、ADP、AMP はほとんど消失し、高含量であった IMP も急速に消失した。それにともない、HxR (イノシン) が急増し、Hx (ヒポキサンチン) が若干増加した。また、糠漬の工程においても IMP はほとんど含まれていないことから、IMP はへしこにおける有効な呈味成分ではないと判断される。

図9に、なれずしのマサバおよび米飯の ATP 関連化合物の変化を、(a)マサバ、(b)米飯として、100 mg 中の mg で示した²⁾。へしこと同様に、原料

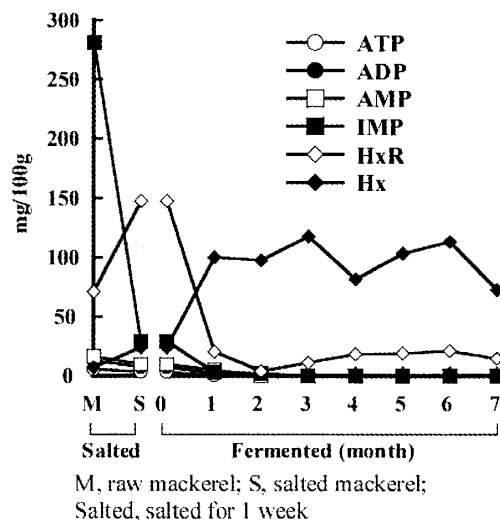


図8 へしこの ATP 関連化合物の変化。

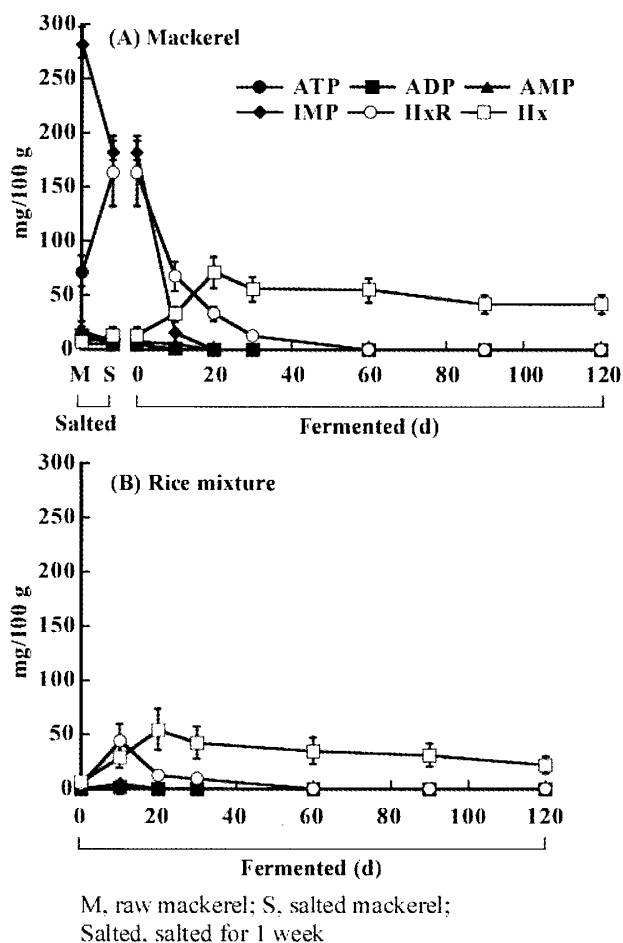


図9 なれずしの ATP 関連化合物 ((A) マサバ, (B) 米飯) の変化。

マサバにおいて ATP、ADP、AMP は低含量であったが、IMP は 280 mg (6.9 μ mol/100 g) 存在していた。しかし、この IMP も 2 日間の塩漬で約 60% に減少

し、発酵工程の初期には消失した。それにともない、HxR と Hx がへしこと同様に増加した。米飯にはヌクレオチドは微量であり、発酵工程ではこれらは完全に消失し、魚肉からの滲出に由来するとみられる HxR と Hx が増加した。Hx は水産物の呈味活性物質より苦味物質として知られている⁷⁾。いずれにしても、ATP 関連化合物はうま味の増強効果には寄与していないと考えられる。

3. へしこ及びなれずしエキス of 血圧系に対する効果

3.1. へしこ及びなれずしエキス of アンジオテンシン I 変換酵素阻害活性

へしこやなれずしは特有のおいしさを持ち、少量で食欲を刺激するので1回の食事において10~30g程度食べられる。なれずしの塩分は5%程度であるが、へしこの塩分は10%前後ある。へしこの継続的な摂取は高血圧症を誘導する可能性が考えられるが、へしこを習慣的に食する地域に高血圧疾患が多いとの報告はない。しかし、高血圧誘導以外にも、食塩の過剰摂取は健康上好ましくないことから、食塩の1日総摂取量を通常10g以下に維持すべきことは当然のことである。

一方、著者らはへしこ及びなれずしを分析する過程で、これらの発酵食品には製造過程で多量のペプチドが生成することを見出した^{1,2,4)}。食品素材タンパク質の酵素加水分解物に由来するペプチドが、アンジオテンシン I 変換酵素に対する阻害活性と抗高血圧作用を有することは既によく知られているが、例えば発酵乳などの発酵食品についても同様な報告がなされている^{8,9)}。アンジオテンシン I 変換酵素 (ACE) は、生体内のレニン-アンジオテンシン系において、デカペプチドのアンジオテンシン I から C 末端の His-Leu を遊離させ、強い血圧上昇作用を持つオクタペプチドのアンジオテンシン II に変換することを触媒する。ACE は同時にカリクレイン-キニン系の血管弛緩ペプチドのブラジキニンを失活させるので、強い血圧上昇作用を発揮する。したがって、ACE 阻害ペプチドには血圧上昇を抑制し血圧を調節する作用が期待されている。マサバへしこ及びなれずしにも、製造工程中に多量のペプチドが生成することから、これらの食品のエキスについて ACE 阻害活性を調べた。ACE 阻害活性の測定法は

斎藤らの方法¹⁰⁾に準じて ACE 阻害率を求め、ACE 活性を 50% 阻害するに相当するペプチド濃度 (mg/ml) として IC₅₀ 値を求めた。

図 10 は、へしこの製造期間中の 7 日間の塩漬と 7 ヶ月間の糠漬期間におけるマサバ魚肉のペプチド含量の変化と熱水抽出エキス及び 5%PCA 抽出エキスの IC₅₀ 値の変化を示している¹¹⁾。生マサバの総ペプチドの IC₅₀ 値は塩漬により 0.4 から 0.2 に低下し、糠漬する間に 0.1 に低下してその値を維持した。これとは対照的に、PCA エキスの IC₅₀ 値は塩漬の間に 2.1 から 1.5 に低下し、糠漬する間に 0.1 まで低下した。熱水抽出エキスの総ペプチドと PCA ペプチドともに製造工程中に大きく増加することから、エキス全体の ACE 阻害活性もまた著しく増大した。図 11 は、なれずしの製造期間中の 2 日間の塩漬と 4 ヶ月間の米飯漬期間におけるマサバのペプチド含量の変化と熱水抽出エキスの IC₅₀ 値の変化を示している。生マサバの総ペプチドの IC₅₀ 値は塩漬により 0.20 から 0.14 に低下し、糠漬する間

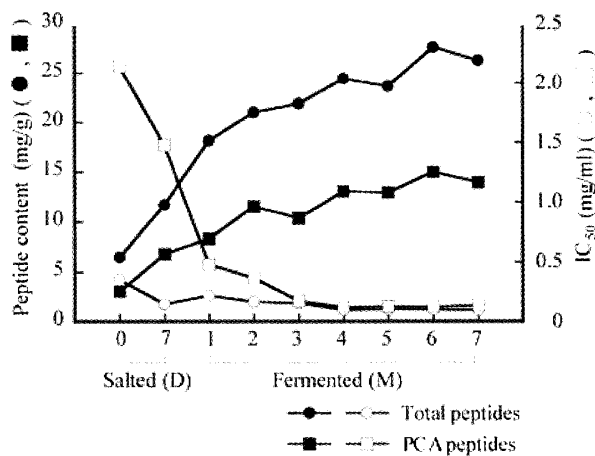


図 10 へしこの ACE 阻害活性の変化。

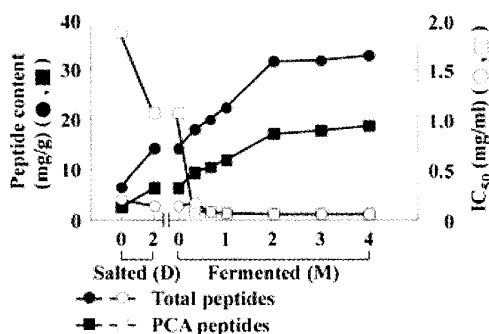


図 11 なれずし (マサバ) の ACE 阻害活性の変化。

に 0.06 に低下してその値を維持した。一方、PCA エキスの IC₅₀ 値は塩漬の間に 1.87 から 1.06 に低下し、糠漬する間に 0.06 まで低下した。なれずしの総ペプチドと PCA ペプチドはへしこのそれらよりやや多かったので、エキス全体の ACE 阻害活性もなれずしの方が大きい傾向が見られた。

3.2. 高血圧自然発症ラットへの投与試験

へしこエキスの ACE 阻害活性は生マサバエキスのそれより著しく強かったので、生体内においても抗高血圧作用を有することが期待された。図 12 は、0.32% NaCl 溶液を対照にして、生マサバエキスとへしこエキスを高血圧自然発症ラット (SHR) に体重 1 kg あたりペプチドとして 10 mg を単回経口投与した時の収縮期の血圧の変化を示している。へしこエキスでは投与後 2~4 時間において SHR の血圧は有意に低下し、8 時間後にはもとの血圧に回復した。生マサバエキスではこのような効果は見られなかった。また、これら二つのエキスのペプチド含量に大きな差があるので、10 mg のペプチドは生マサバでは魚肉 1.6 g に相当し、へしこでは 0.4 g に相当する。このことから、へしこが強い血圧低下効果を有することが分かる。

図 13 は、同様に生マサバエキスとへしこエキスを SHR に対してペプチドとして 10 mg/kg 単回経口投与した時の収縮期の血圧の変化を示している。なれずしエキスにおいてのみ、投与 4 時間後に有意な血圧の低下が認められ、6~8 時間後にはもとの

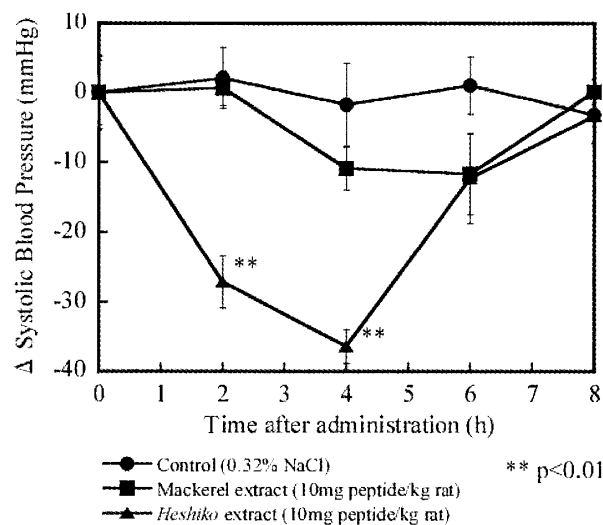


図 12 へしこエキス投与による SHR の血圧変化。

血圧に回復した。

へしこ及びなれずしエキスの投与は有意な血圧低下効果を示すものの、その持続性が短かったので、投与量を変えて実験を行った。図 14 は、SHR に対して、へしこエキスをペプチドとして 5 mg/kg、10 mg/kg、50 mg/kg 投与したものである。5 mg/kg での血圧低下は 10 mg/kg 及び 50 mg/kg よりは小さかったが、10 mg/kg と 50 mg/kg の血圧低下には差が見られなかった。また、これらの場合であっても、投与 8 時間後にはもとの血圧に回復していた。図 15 は、なれずしエキスについて同様に 10 mg/kg、50 mg/kg 及び 100 mg/kg 投与した結果である。この実験においては、いずれの投与量においても 2~6 時間において有意な血圧低下が認められたが、8 時

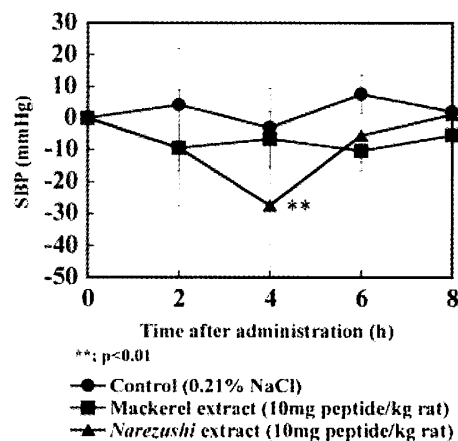


図 13 なれずしエキス投与による SHR の血圧変化。

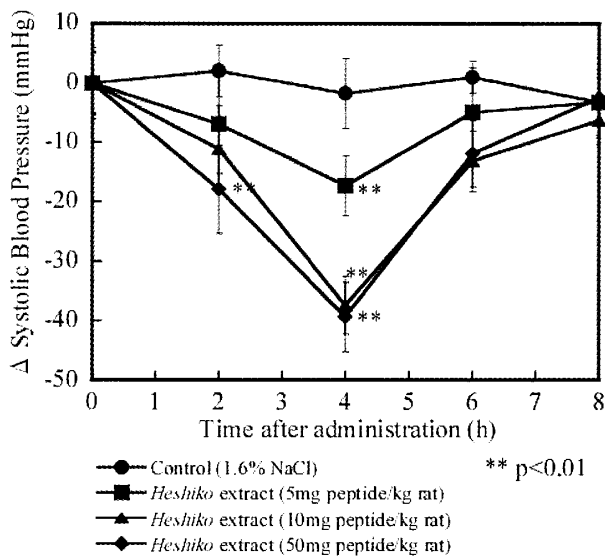


図 14 へしこエキス投与量による SHR の血圧変化の違い。

福井の伝統食品

間後にはもとの血圧に回復した。これらのことから、へしこ及びなれずしエキスともに投与量依存性が小さく、持続性は比較的短いものと考えられた。投与量依存性が小さいことは、摂取量によって過大な血圧低下をもたらさないことから、食品としてはむしろ好ましいことともいえよう。

Ohtaらはサケの頭部の加水分解物をペプチドとして2gをラットに投与し、投与24時間後に20mmHgの血圧低下を認めている¹²⁾。へしこ及びなれずしエキスは10mg/kg以上の単回投与でSHRの収縮期血圧を30~35mmHg程度低下させるがその持続性は短い。そこで10日間の短期連続投与を試みた。

図16はへしこエキスについての投与結果を示している¹²⁾。ペプチドとして10mg/kg投与すると、SHRの血圧は4日以後低下し始めて7~10日で有意に低下し、連続投与は単回投与の単なる繰り返しではなく持続的効果が得られることが分かった。エキスを限外ろ過により脱塩したものの方が若干効果が強いように思われた。対照の0.32%食塩水では有意な血圧上昇は見られなかった。10日後に投与を中止すると、その5日後にはもとの血圧に回復していたことから、反復投与が血圧の持続的な低下をもたらすと考えられた。へしこの製造期間中に多量のペプチドが生成し¹⁴⁾、へしこエキスのACE阻害活性が著しく増大することから¹¹⁾、SHRの血圧低下効果に対してもこれらが関与しているものと思

われる。

そこで、生マサバエキスとへしこエキスをペプチドとして10mg/kgで10日間SHRに投与し、投与10日後及び投与中止後5日後に採血した血漿についてACE活性(mU/ml)を測定した。図17(A)は投与10日後、(B)は投与中止5日後の血漿ACE活性を示している。(A)において、へしこエキス投与区は対照区(0.32%NaCl溶液)や生マサバエキス投与区より有意にACE活性が低下していた。(B)においては、それら3者の間には有意なACE活性の差は認められなかった。これらの結果は、図16におけるSHRの血圧の挙動とよく対応していた。卵からのオリゴペプチド¹³⁾やゼインの加水分解物¹⁴⁾などについても、同様の知見が報告されている。

図18は、生マサバエキスとなれずしエキスをSHRに対して10mg/kg、10日間短期連続投与した

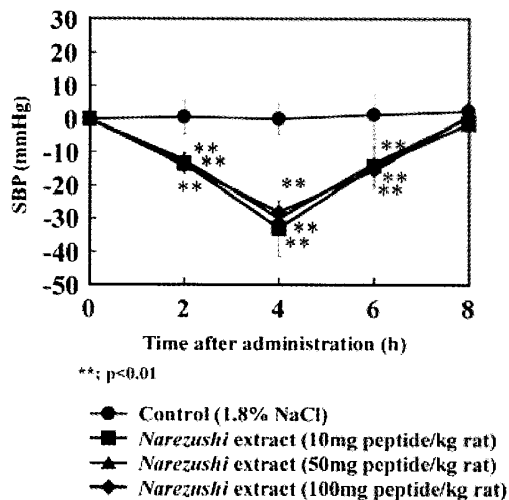


図15 なれずしエキス投与量によるSHRの血圧変化の違い。

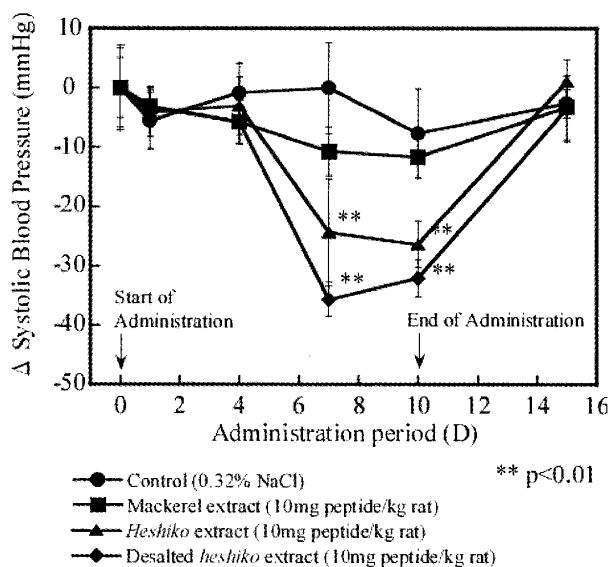


図16 へしこエキス投与によるSHRの血圧変化。

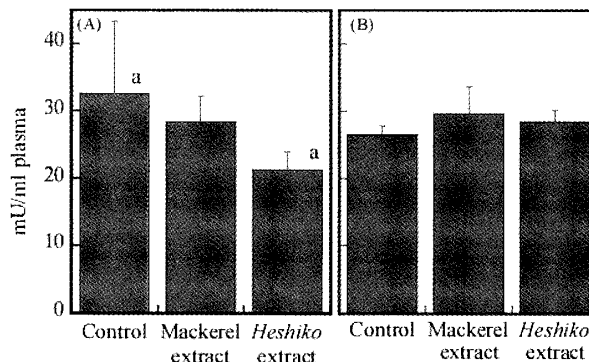


図17 へしこエキスを投与したSHRの血漿ACE活性の変化。

時の、血圧の変化を示している¹⁵⁾。なれずしエキスについても、へしこエキスと同様の血圧低下効果を示し、生マサバエキスについては有意な血圧低下効果は認められなかった。表3は、5%アセトニトリル (ACN)、1 M NH₄OH 及び 2 M HCl を溶媒として、カチオン交換樹脂及びアニオン交換樹脂を用いたイオン交換クロマトグラフィーにより、なれずしエキスを分画した結果を示している¹⁵⁾。遊離アミノ酸の大部分は ACN フラクシオンに回収され、ペプチドの大部分は NH₄OH-HCl フラクシオンに回収された。ACN フラクシオンの IC₅₀ 値は 67.2 mg/ml であり、実際上 ACE 阻害活性を示さなかったため、このフラクシオンには ACE 阻害ペプチドはほとんど含まれていなかったと判断される。NH₄OH-HCl フラクシオンの IC₅₀ 値は 0.04 mg/ml であり、ACE 阻害ペプチドのほとんど全てはこのフラクシオンに回収された。

図19は、なれずしエキスをペプチドとして 50 mg/kg と、そのペプチド量に相当する ACN フラクシオンと NH₄OH-HCl フラクシオンを、10日間 SHR に投与したときの血圧の変化を示している。1% NaCl 溶液を対照区として用いた。なれずしエキスと ACN フラクシオンは同程度の血圧低下効果を示し、投与中止5日後の血圧の挙動も同様であった。このことから、なれずしエキス中のペプチドは ACE 阻害活性を有するとともに、SHR の血圧低下に関与しているものと考えられる。また、ここには示さないが、単回投与においてもなれずしエキスと NH₄OH-HCl フラクシオンは同程度の血圧低下効果

を示した。へしこ及びなれずしエキス中の、どのようなペプチド分子種が ACE 阻害活性や血圧低下効果に関与しているかについては、今後明らかにしていく予定である。

へしこエキス及びなれずしエキスの10日間の短期連続投与の結果から、これらのエキスは SHR の血圧を継続的に低下させるが、投与を中止すると5日間でもとの血圧に回復することが示された。そこで、成長とともに急速に血圧が上昇する5週齢の若齢の SHR に対して、70日間の長期投与を実施した。図20(A)は生マサバエキス及びへしこエキスの10 mg/kg 投与とへしこエキス 50 mg/kg の投与結果であり、(B)はへしこエキス 50 mg/kg とへしこ脱塩エキス 50 mg/kg の投与結果を示している¹¹⁾。

表3 なれずしエキス分画面分のペプチド含量と ACE 阻害活性。

	ACN fraction	NH ₄ OH-HCl fraction
Free amino acid (mg/g) ¹	50.0 (94.3%)	3.0 (5.7%)
Peptide (mg/g) ²	1.1 (2.7%)	24.4 (97.3%)
Peptide (mg/g) ¹	3.5 (13.0%)	23.6 (87.0%)
ACE inhibitory activity IC ₅₀ (mg/ml)	67.2	0.04

1, measured by Pico-Tag system; 2, measured by the method of Lowry *et al.*

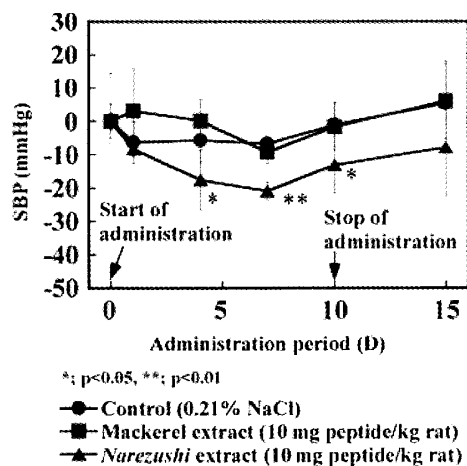


図18 なれずしエキス投与による SHR の血圧変化。

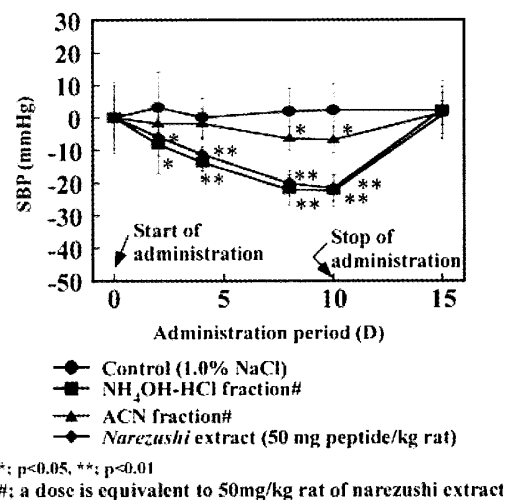


図19 なれずしエキス分画面分投与による SHR の血圧変化。

(A) 及び (B) において、対照区の蒸留水あるいは 1.6% 食塩水の投与と比較して、へしこエキスの長期連続投与により SHR の血圧上昇は抑制され、その効果はへしこ脱塩エキスの投与においてより明瞭であった。また、投与を中止して4週間すなわち 28 日後においても、対照区と比較して、へしこエ

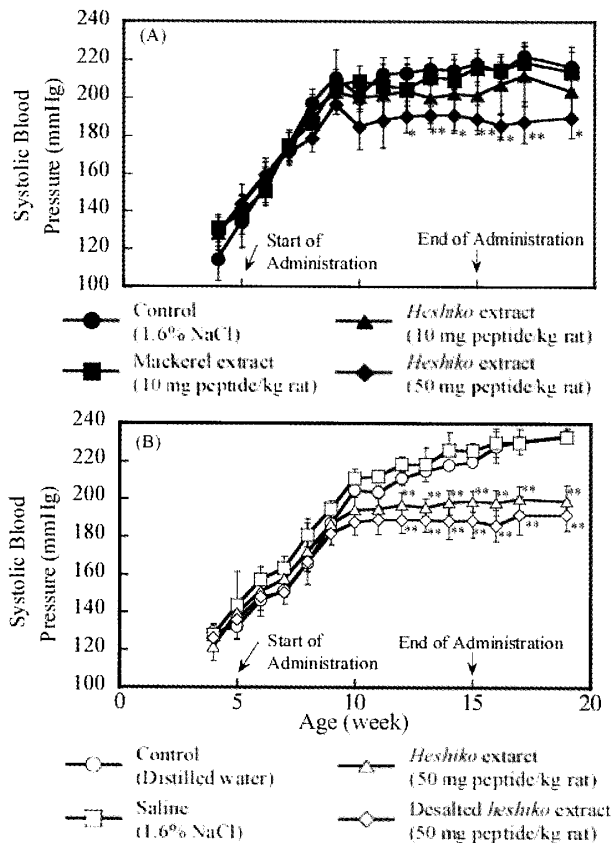


図 20 へしこエキス投与による SHR の血圧変化。

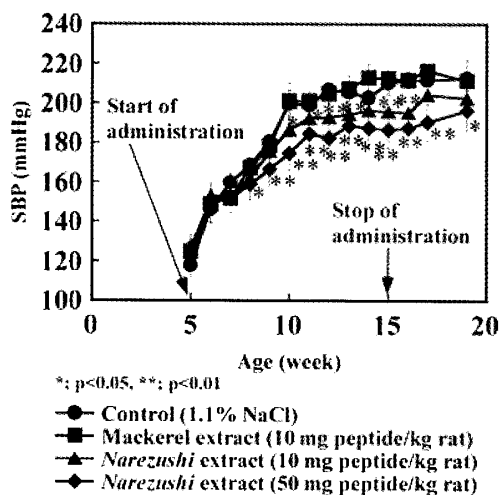


図 21 なれずしエキス投与による SHR の血圧変化。

キス投与区では血圧上昇は有意に抑制されていた。

図 21 は生マサバエキス及びなれずしエキスの 10 mg/kg 投与となれずしエキス 50 mg/kg の投与結果である。生マサバエキスの投与では血圧上昇抑制効果は認められなかったが、なれずしエキスでは 10 mg/kg 投与では 5 週間以後、50 mg/kg 投与では 3 週間以後から血圧上昇抑制効果が認められた。へしこエキスの場合と同様に、投与を中止して 4 週間後においても血圧上昇抑制効果の持続が認められた。図 20 と図 21 の結果を比較すると、なれずしエキスがへしこエキスより血圧上昇抑制効果が強いように見えるが、両者の同時投与を行っていないので今の段階では何ともいえない。なお、ここには示さないが、へしこエキス及びなれずしエキスの投与は SHR の体重に変化に対して影響を及ぼすことはなかった。

マサバへしこ及びなれずしは、特有のおいしさに加えて健康性機能を有する可能性が見出されたことから、さらに検討を継続しその成果を実用に結びつけていきたい。

文 献

- 1) 伊藤光史, 赤羽義章: マサバへしこ製造工程中の一般成分ならびにエキス成分の変化, 日本誌 66, 1051-1058 (2000)
- 2) Itou K, Kobayashi S, Ooizumi T and Akahane Y: Change of proximate composition and extractive components in *narezushi*, a fermented mackerel product, during processing. *Fish. Sci.* 72, 1269-1276 (2006)
- 3) Chang CM, Ohshima T and Koizumi C: Change in composition of lipids, free amino acids and organic acids in rice bran-fermented sardine (*Etrumeus teres*) during processing and subsequent storage. *J. Sci. Food Agric.* 59, 521-528 (1992)
- 4) 伊藤光史, 赤羽義章: マサバへしこの一般成分ならびにエキス成分の比較. 日本誌 65, 878-885 (1999)
- 5) 赤羽義章, 志水寛: すりみ及びゲルの保水性に及ぼす pH 及び食塩の影響. 日本誌 55, 1827-1832 (1989)
- 6) 張俊明, 大島敏明, 小泉千秋: サバ馴れずしの製造工程における脂質、遊離アミノ酸および有

- 機酸組成の変化. 日水誌 58, 1961-1969 (1992)
- 7) Spinelli J : Effect of hypoxanthine on the flavor of fresh and stored low-dose-irradiated petrale sole fillets. *J. Food Sci.* 30, 1063-1067 (1965)
- 8) Yamamoto N, Akino A and Takano T : Antihypertensive effects of different kinds of fermented milk in spontaneously hypertensive rats. *Biosci. Biotech. Biochem.* 58, 776-778 (1994)
- 9) Masuda O, Nakamura Y and Takano T : Antihypertensive peptides are present in aoruta after administration of sour milk containing these peptides to spontaneously hypertensive rats. *J. Nutr.* 126, 3063-3068 (1996)
- 10) 齊藤義幸, 中村圭子, 川戸章嗣, 今安聡 : 清酒, および副産物中のアンギオテンシン変換酵素阻害物質. 農化誌 66, 1081-1087 (1992)
- 11) Itou K and Akahane Y : Antihypertensive effect of *heshiko*, a fermented product, on spontaneous hypertensive rats. *Fish. Sci.* 70, 1121-1129 (2004)
- 12) Ohta T, Iwashita A, Sasaki S and Kawamura Y : Antihypertensive action of the orally administered protease hydrolysate of chum salmon head and their angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides. *Food Sci. Technol. Int. Tokyo* 3, 339-343 (1997)
- 13) 吉井寛, 城憲秀, 坂村修, 武山英磨, 大庭理一郎, 井谷徹 : 鶏卵由来オリゴペプチドの血圧降下作用. 日本食品科学工学会誌 46, 45-50 (1999)
- 14) Xu X, Ukawa Y, Shibata M, Umekawa H, Takahashi T, Doi U, Funatsu G and Furuichi Y : Antihypertensive effect of enzyme-treated zein in stroke prone spontaneously hypertensive rats. *Food Sci. Technol. Res.* 6, 62-67 (2000)
- 15) Itou K and Akahane Y : Antihypertensive effect of narezushi, a fermented mackerel product, on spontaneous hypertensive rats. *Fish. Sci.* (in press.)

<著者紹介>

赤羽 義章 (あかはね よしあき) 氏略歴

- 1963年 京都大学農学部水産学科卒業
 1963年 日本新薬(株)入社
 1980年 同社 食品開発研究所長代理
 1993年 福井県立大学生物資源学部 教授
 2007年 公立大学法人福井県立大学 理事・副学長



伊藤 光史 (いとう こうじ) 氏略歴

- 1996年 京都大学大学院農学研究科修士課程水産学専攻 修了
 1996年 福井県立大学生物資源学部 助手
 2007年 公立大学法人福井県立大学 助教

