

※本資料は、Alpha MOS（フランス）にて分析した結果に基づくものです。

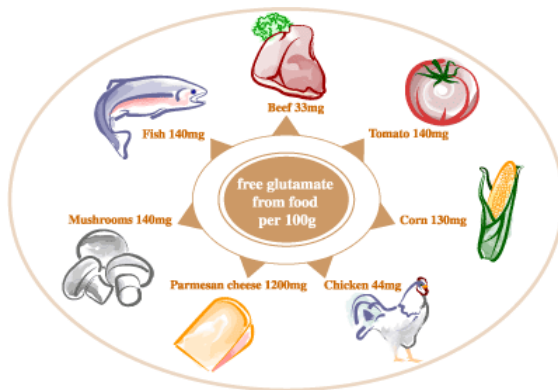
**旨味**は、他の4種類の基本味（塩味、甘味、酸味、苦味）のいずれにも属さない、独特な味質として広く受け入れられてきました。

この味は大抵、魚や肉、マッシュルーム、チーズなど、さまざまな食品原料に発現するグルタミン酸ナトリウム（MSG）に起因しています。

旨味は、タンパク質が豊富な多くの食品に自然に存在する核酸のIMP（5-イノシン酸二ナトリウム）とGMP（5-グアニル酸二ナトリウム）によっても付与されます。

MSGは滑らかでコクのある風味を生み出すために、幅広い食品において呈味増強剤としても用いられています。また、肉、魚、鶏肉、野菜、魚介類などの料理に添加されるほか、卓上調味料としても利用されています。

MSG、IMP、GMPの間には相乗効果の存在が認められています。味の相乗効果とは、各混合成分の知覚強度の総和よりも、強い知覚強度を持つ混合物に関することです。



核酸は多くの調理食品の味と風味を増強します。それらは、他の4つの基本味をわずかながら増強します。

例えば：

- 肉の味にコクをもたらし、無脂肪製品に熟成した豊かな香りをもたらす
- 味のプロファイルを隠さずに酸味の後味を抑制する
- 野菜、チーズ、あるいは醤油の味を増強する

更に、味を増強するためにほんのわずかな量の核酸を添加することで、混合物のコスト削減も可能となります。

## 目的

以下は、Alpha MOSの電子味覚システムを用いて行ったさまざまな実験の概要です。

本分析の目的は、以下について研究することです。

- MSGによって付与される旨味
- 核酸であるIMPやGMPの添加によって付与される相乗効果
- 電子味覚システムASTREEの結果と文献1～3に記載されている相乗効果の相関

## 実験計画とシステム条件

### 1. 研究に使用したシステム

電子味覚システムASTREEは、ヒトの味覚レセプターと同様の方法でグローバルな味の分析を行います。

システムは、センサーアレイ、オートサンブラ、そしてデータ解析用の簡便なソフトウェアから構成されます。



図1：電子味覚システム ASTREE

## 電子味覚システムASTREEの概略図

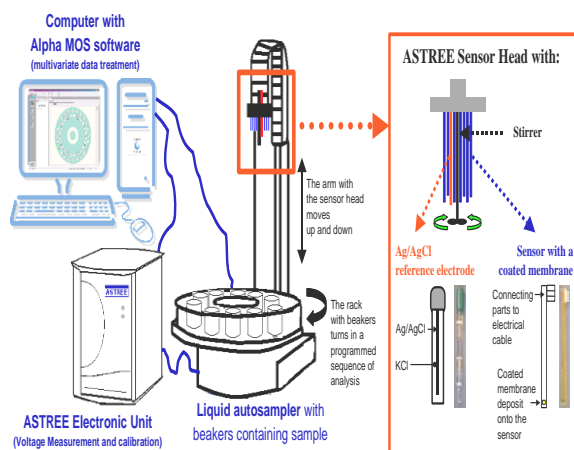


図2：電子味覚システムASTREEの概略図

### ASTREEセンサー

- **ChemFET技術を基盤としています。**各センサーは有機膜でコーティングされ、それぞれの膜に特異的な規則に従って溶液中に存在する全てのイオン性、中性化合物と相互作用します。膜の接触面におけるあらゆる変化（イオン、あるいは分子間の相互作用）がセンサーによって検出され、電気信号に変換されます。
- **部分選択性**（各々のセンサーは様々な化合物を検知することができます）と**交互選択性を持ちます**。したがって、各センサーの与えられる情報は異なります。
- **検出原理は、電位差測定を基盤としています。**すなわち、各センサーと参照電極の間の電位差を計測します。 $V_{RF}$ （参照電極） $-V_s$ （センサー）

### データ取得とデータ処理

- **電位差が測定され、記録されます。**この分析のために、各サンプルの測定時間を**120秒間**に設定しました。
- 各サンプルは4回繰り返して測定され、ASTREEセンサーヘッドは各測定の間にはリンスされます。
- パターン認識ソフトウェアによってセンサー応答を解析します。ソフトウェアは、データ取得のほか、多変量解析手法を用いたデータ処理が可能です。

- 本研究では、各サンプルの4回の繰り返し測定で電位差の平均値を用いました。4回の繰り返し測定によって得られた結果を平均化し、それぞれの平均値を標準化しました（[各サンプルの平均値 - 全サンプルの平均値] / 全サンプルの標準偏差）。

## 2. 分析条件

表1：使用したセンサーアレイと分析条件

センサーアレイ#1	ZZ, BA, BB, CA, GA, HA, JB
サンプル量	100mL
温度	室温
測定間隔	180秒
データ取得時間	120秒
測定間のリンス時間	60秒

## 3. サンプル調製

3種類の化合物のナトリウム塩を用いて試験を行いました。3種類の溶液は1回で調製し、全ての試験に用いました。各化合物を秤量し、蒸留水で希釈しました。溶液を幾つかの保存容器に分注し、分析を行うまで冷凍保存しました。

表2：使用したサンプル

サンプル	相乗効果	MSG (M)
MSG_1	1.000	$10^{-3}$
MSG_2	1.000	$10^{-2}$
MSG_3	1.022	$10^{-1}$
MSG_4	1.344	0.5
MSG_5	2.011	1

サンプル	相乗効果	MSG (M)	IMP (M)
MSG_IMP_1	1.023	$10^{-3}$	$5 \times 10^{-4}$
MSG_IMP_2	1.098	$10^{-2}$	$5 \times 10^{-4}$
MSG_IMP_3	1.234	$10^{-1}$	$5 \times 10^{-4}$
MSG_IMP_4	1.526	0.5	$5 \times 10^{-4}$
MSG_IMP_5	2.087	1	$5 \times 10^{-4}$

サンプル	相乗効果	MSG (M)	GMP (M)
MSG_GMP_1	1.033	$10^{-3}$	$5 \times 10^{-4}$
MSG_GMP_2	1.144	$10^{-2}$	$5 \times 10^{-4}$
MSG_GMP_3	1.333	$10^{-1}$	$5 \times 10^{-4}$
MSG_GMP_4	1.611	0.5	$5 \times 10^{-4}$
MSG_GMP_5	2.122	1	$5 \times 10^{-4}$

各サンプルを4回ずつ測定しました。

## 結果

### 1. 再現性

結果の再現性を示すために、サンプルごとに各センサーの標準偏差 (SD) と相対標準偏差 (RSD) を算出しました。

表3：各サンプルのセンサーごとの標準偏差と相対標準偏差

	ZZ	ZZ	BA	BA	BB	BB	CA	CA	GA	GA	HA	HA	JB	JB
Sample Name	SD	RSD	SD	RSD	SD	RSD	SD	RSD	SD	RSD	SD	RSD	SD	RSD
MSG_1	18,60	<b>0,39%</b>	8,97	<b>0,42%</b>	6,81	<b>0,19%</b>	44,94	<b>1,02%</b>	30,76	<b>0,65%</b>	12,98	<b>0,41%</b>	12,67	0,73%
MSG_2	11,37	<b>0,27%</b>	9,56	<b>0,56%</b>	15,95	<b>0,47%</b>	22,36	<b>0,57%</b>	34,17	<b>0,81%</b>	23,10	<b>0,74%</b>	20,42	1,28%
MSG_3	4,39	<b>0,11%</b>	6,76	<b>0,54%</b>	13,44	<b>0,42%</b>	3,75	<b>0,10%</b>	22,02	<b>0,53%</b>	40,52	<b>1,37%</b>	32,60	2,26%
MSG_4	2,35	<b>0,06%</b>	5,41	<b>0,52%</b>	13,01	<b>0,42%</b>	2,59	<b>0,07%</b>	25,10	<b>0,61%</b>	51,79	<b>1,86%</b>	37,50	2,81%
MSG_5	2,23	<b>0,06%</b>	4,98	<b>0,51%</b>	11,44	<b>0,37%</b>	2,38	<b>0,06%</b>	24,49	<b>0,59%</b>	52,24	<b>1,92%</b>	40,32	3,20%
MSG_GMP_1	10,14	<b>0,22%</b>	6,05	<b>0,29%</b>	13,70	<b>0,39%</b>	11,73	<b>0,28%</b>	7,76	<b>0,17%</b>	15,88	<b>0,51%</b>	8,11	0,48%
MSG_GMP_2	8,39	<b>0,20%</b>	11,70	<b>0,69%</b>	8,97	<b>0,26%</b>	12,69	<b>0,31%</b>	29,20	<b>0,69%</b>	25,68	<b>0,83%</b>	21,97	1,38%
MSG_GMP_3	4,41	<b>0,11%</b>	6,77	<b>0,54%</b>	12,30	<b>0,38%</b>	3,24	<b>0,08%</b>	22,60	<b>0,54%</b>	40,06	<b>1,34%</b>	30,73	2,11%
MSG_GMP_4	2,28	<b>0,06%</b>	5,96	<b>0,57%</b>	13,20	<b>0,42%</b>	2,60	<b>0,07%</b>	24,73	<b>0,60%</b>	46,64	<b>1,66%</b>	35,77	2,66%
MSG_GMP_5	3,89	<b>0,10%</b>	5,54	<b>0,56%</b>	12,44	<b>0,41%</b>	1,74	<b>0,04%</b>	23,91	<b>0,57%</b>	45,68	<b>1,67%</b>	38,52	3,03%
MSG_IMP_1	20,21	<b>0,44%</b>	7,24	<b>0,35%</b>	6,39	<b>0,18%</b>	20,85	<b>0,50%</b>	22,95	<b>0,52%</b>	16,02	<b>0,51%</b>	8,46	0,49%
MSG_IMP_2	12,64	<b>0,30%</b>	8,26	<b>0,49%</b>	11,39	<b>0,34%</b>	17,26	<b>0,43%</b>	40,36	<b>0,98%</b>	20,03	<b>0,64%</b>	12,85	0,80%
MSG_IMP_3	3,88	<b>0,10%</b>	8,56	<b>0,68%</b>	13,51	<b>0,42%</b>	3,72	<b>0,09%</b>	20,47	<b>0,49%</b>	36,09	<b>1,20%</b>	30,03	2,06%
MSG_IMP_4	2,49	<b>0,06%</b>	7,31	<b>0,70%</b>	12,25	<b>0,39%</b>	2,08	<b>0,05%</b>	23,38	<b>0,56%</b>	42,24	<b>1,50%</b>	28,76	2,14%
MSG_IMP_5	3,15	<b>0,08%</b>	3,67	<b>0,37%</b>	13,89	<b>0,45%</b>	1,51	<b>0,04%</b>	24,00	<b>0,57%</b>	49,31	<b>1,80%</b>	34,27	2,69%

相対標準偏差は、いずれも3.20%よりも小さく、非常に優れた再現性を示しました。

### 2. 旨味の定量

ASTREEを用いて、5種類の濃度のMSGによって付与される旨味を調査しました。

測定結果は以下の3種類の方法で提示することができます。

- レーダーチャート
- PLS回帰分析
- 多項式回帰分析

#### ➤ 得られた結果のレーダーチャート

このグラフは、各センサーがMSGを検出し、センサーごとに5種類の水溶液の識別性が異なることを示しました。

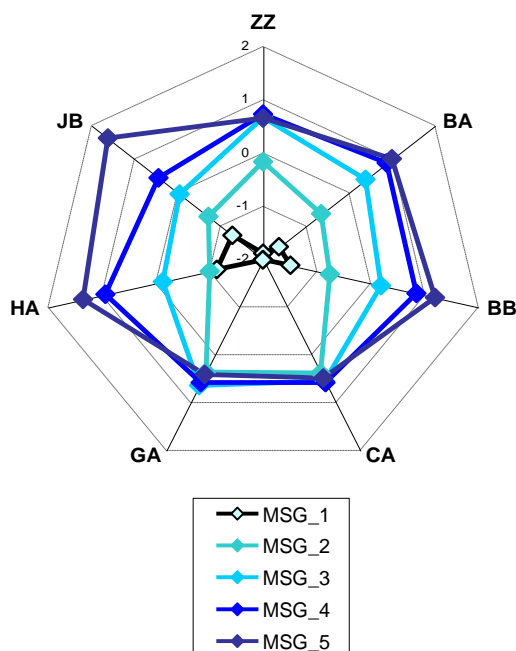


図3：5種類の濃度のMSG溶液のレーダーチャート

- ASTREEの結果と文献から入手した相乗効果を相関付けるためのPLS回帰分析

ASTREEには7本のセンサーが搭載されているため、PLS回帰分析は多変量で実行される線形回帰です。相関係数 $R^2 = 0.9238$ の非常に良好な相関が観察されました。

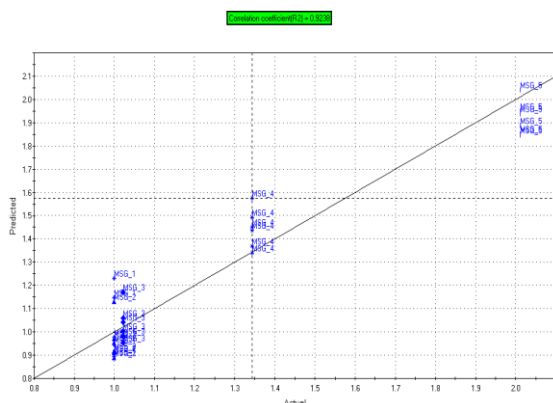


図4：5種類の濃度のMSG溶液の相乗効果に関するPLS回帰分析

- ASTREEの結果と文献から入手した相乗効果を相関付けるための多項式回帰分析

多項式の近似曲線は、次の等式を用いて計算されました： $Y = b + C_1X + C_2X^2 + C_3X^3 + \dots + C_6X^6$  ( $b, C_1 \dots C_6$ は定数)。ASTREEの結果の多項式曲線が実測（文献）値に非常に近い値を示すことが確認できました。さらに、実測値は常にASTREEの結果の最小値と最大値の間に存在していました。

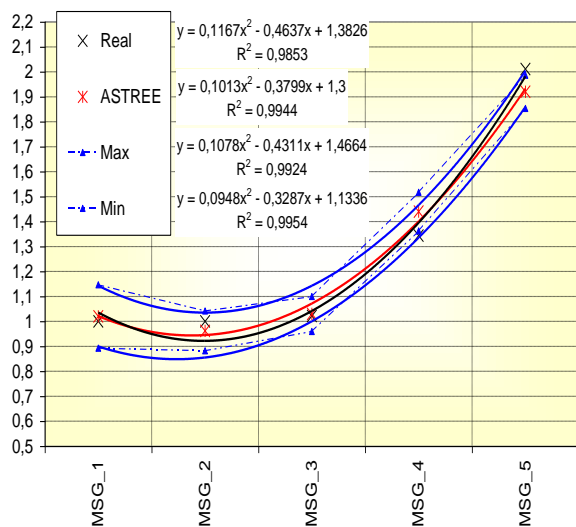


図5：5種類の濃度のMSG溶液の相乗効果に関する多項式回帰分析

これらの結果から、ASTREEによってMSGによる旨味を効率的に予測できることが示されました。

### 3. MSGの旨味に対するGMPとIMPの相乗効果

ASTREEを用いて、5種類の濃度のMSGによって付与される旨味に対する少量のGMP、もしくはIMPの相乗効果を調査しました。

測定結果は以下の2種類の方法で提示することができます。

- 未知サンプルの相乗効果を予測するためにPLS回帰分析を利用
- トレーニングサンプルと未知サンプルの結果の単回帰分析

- ASTREEの結果と文献から入手した相乗効果を相関付けるためのPLS回帰分析

モデル構築のために、以下のサンプルを選択しました：MSG\_1と5、MSG\_GMP\_2と3、MSG\_IMP\_1と4

構築したモデルは、非常に良好な相関を示しました（相関係数 $R^2 = 0.9767$ ）。

その他のサンプルを未知サンプルとし、ASTREEの結果に基づいて相乗効果を予測するためにPLS回帰モデルを用いました。表4はトレーニングサンプルと未知サンプルの結果を示しています。

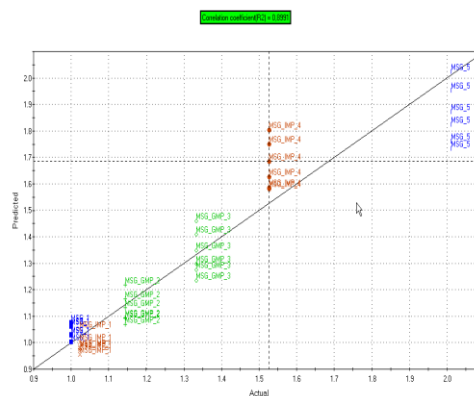


図6：GMP、IMP添加サンプルの相乗効果に関するPLS回帰分析

表4：図6のモデルによって得られた相乗効果の予測結果  
(黒字：トレーニングサンプル、赤字：未知サンプル)

サンプル名	実測 (文献) 値	ASTREE予測値	SD
MSG_1	1	1.01	0.13
MSG_2	1	1.12	0.08
MSG_3	1.022	1.35	0.07
MSG_IMP_1	1.023	1.01	0.04
MSG_GMP_1	1.033	1.17	0.07
MSG_IMP_2	1.098	1.03	0.09
MSG_GMP_2	1.144	1.14	0.04
MSG_IMP_3	1.234	1.31	0.04
MSG_GMP_3	1.333	1.32	0.02
MSG_4	1.344	1.61	0.08
MSG_IMP_4	1.526	1.58	0.04
MSG_GMP_4	1.611	1.59	0.05
MSG_5	2.011	1.97	0.07
MSG_IMP_5	2.087	1.92	0.03
MSG_GMP_5	2.122	1.92	0.03

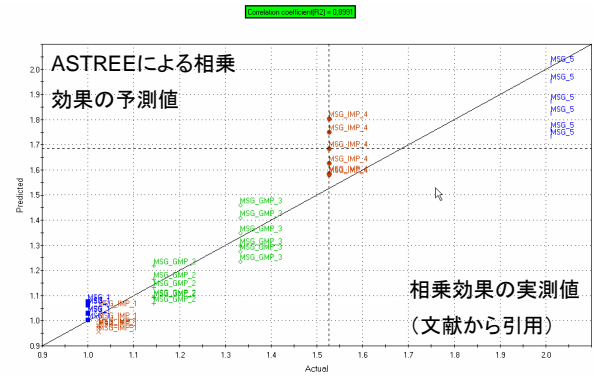


図8：センサーHAによるPLS回帰分析

その他のサンプルを未知サンプルとし、ASTREEの結果に基づいて相乗効果を予測するためにPLS回帰モデルを用いました。表5はトレーニングサンプルと未知サンプルの結果を示しています。

表5：図8のモデルによって得られた相乗効果の予測結果  
(黒字：トレーニングサンプル、赤字：未知サンプル)

サンプル名	実測 (文献) 値	HAによる予測値	SD
MSG_1	1	1.04	0.03
MSG_2	1	1.09	0.05
MSG_3	1.022	1.38	0.08
MSG_IMP_1	1.023	0.991	0.03
MSG_GMP_1	1.033	1.03	0.03
MSG_IMP_2	1.098	1.06	0.04
MSG_GMP_2	1.144	1.13	0.05
MSG_IMP_3	1.234	1.31	0.07
MSG_GMP_3	1.333	1.34	0.08
MSG_4	1.344	1.73	0.10
MSG_IMP_4	1.526	1.67	0.08
MSG_GMP_4	1.611	1.69	0.09
MSG_5	2.011	1.86	0.10
MSG_IMP_5	2.087	1.82	0.10
MSG_GMP_5	2.122	1.83	0.09

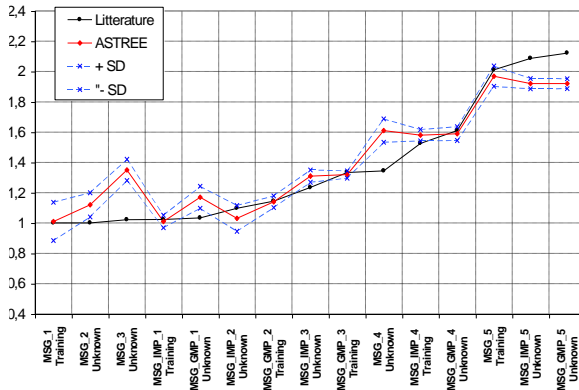


図7：表4の相乗効果の予測結果のプロット

### 単一センサー（センサーHA）による PLS回帰分析

- 文献から得られた相乗効果とASTREEの結果を相関付けるPLS回帰分析

モデル構築のために、図6のモデル構築に使用したサンプルと同一のサンプルを選択しました：

MSG\_1と5、MSG\_GMP\_2と3、MSG\_IMP\_1と4

構築したモデルは、非常に良好な相関を示しました  
(相関係数 $R^2=0.8991$ )。

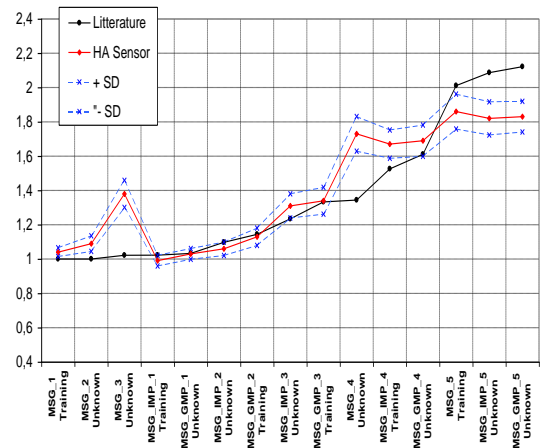


図9：表5の相乗効果の予測結果のプロット

全センサーによる予測モデルを最適化するために、トレーニングサンプルの数を見直しました。より多くのサンプルをモデル構築に使用し、MSG\_2と5、MSG\_IMP\_1と3の4サンプルのみを未知サンプルとしました。文献からの相乗効果とASTREEの結果を相関付けるために、従来の線形回帰を用いました。

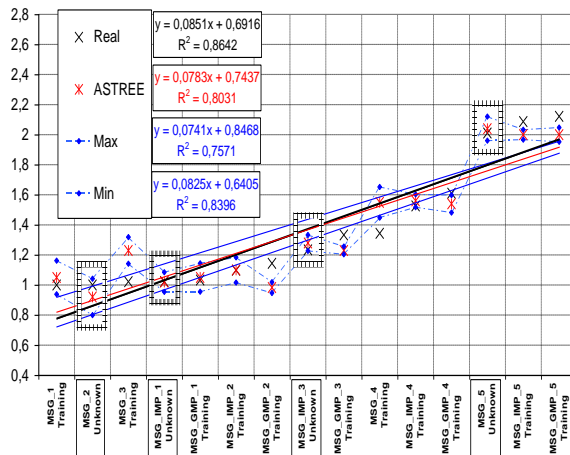


図10：最適化した相乗効果の予測モデル

ASTREEの結果の線形回帰は、実測（文献）値に非常に近い数値を示しました。実測値は、常にASTREEの結果の最小値と最大値の間の数値を示しました。ASTREEによる未知サンプルの予測値は、実測（文献）値に非常に近い数値を示しました。

表6：図10のモデルによる未知サンプルの予測結果

サンプル名	Real	Mean	SD
MSG_2	1	1.05	0.045
MSG_IMP_1	1.02	0.96	0.031
MSG_IMP_3	1.23	1.27	0.07
MSG_5	2.01	1.81	0.101

## 結論

実施した試験に基づき、以下が示されました。

- ASTREEの結果は、MSGによる旨味の強度と相関が認められる ( $R^2 = 0.9238$ )。
- GMP、またはIMPの添加によって、MSGによる旨味が増強され、相乗効果が観察できる。
- ASTREEの結果と相乗効果のデータは、非常に良好な相関関係を示す ( $R^2 = 0.9767$ )。
- ASTREEによって、MSGによる旨味強度とGMPまたはIMPによる相乗効果を予測することが可能。

本試験によって、ASTREEが旨味とその相乗効果を分析するための信頼性と精度の高いツールであることが示されました。

## 参考文献：

1. Taste synergism between monosodium glutamate and disodium 5'-guanylate. - Rifkin B,- Physiol Behav. 1980 24(6):1169
2. Large synergism between monosodium glutamate and 5'-nucleotides in canine taste nerve responses. - Kumazawa T - Am J Physiol. 1990 259 (3 Pt 2):R420
3. Canine taste nerve responses to umami substances.- Kumazawa T. - Physiol Behav. 1991 49(5):875-81

本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。

2014年4月

