

## 쓴 맛 물질의 표면 장력과 쓴 맛의 상관 관계

김정미 · K. Pfeilsticker

연세대학교 생활과학연구소, \*독일 Bonn대학교 식품화학과

### Research on the Correlation of the Surface Tension and Sensory Quality of Bitter Substances

Jeongmee Kim and Konrad Pfeilsticker\*

Research Inst. of Food & Nutritional Science, Yonsei University, Seoul

\*Department of Food science and Food chemistry, Bonn University, Germany

#### Abstract

The correlation between the bitter taste and the surface tension was found for bitter tasting, aqueous solutions. By the Szyszkowski's equation, the surface tension (STR) and taste curves (JND) were derived more clearly using the Techplot program. The specific capillary activity ( $\log b$  values) for bitter tasting solutions are negatively correlated to the recognition threshold. It was shown that a more bitter substances has greater capillary activity. The correlation between the recognition threshold ( $\log C_1$ ) and the substance specific constant ( $a$  and  $b$  values) of sensory (JND) and surface tension values indicates good agreement. This means that the model of surface area adsorption in the solution/air system can apply also for the sensory model microvillus membrane in the mouth.

Key words: surface tension reduction (STR), just noticeable differences (JND), recognition threshold

#### 서 론

쓴 맛의 강도는 혼합물의 상대적인 쓴 맛, 용액의 농도와 혀에서의 접촉 시간 등의 함수 관계로 나타낼 수 있으며<sup>(1)</sup> 수용체의 비극성 부위(nonpolar portion)에서 쓴 맛 분자의 소수성이 중요하고, 분자의 화학적·입체적(steric) 특성이 정확하게 수용체의 극성 또는 비극성 접촉대와 연결될 때만이 쓴 맛 수용체가 자극될 수 있다<sup>(2-5)</sup>. 수용체 조직에서 맛 반응을 유도시키는 물리·화학적 특성에 대한 연구에서 Beidler<sup>(7)</sup>는 맛 혼합물과 수용체 위치간의 결합 반응을 열역학적 평형 상태에서 측정하여 조직의 수용체 내에서 자극되는 분자의 반응을 나타내었다. 맛 감각은 화학적 자극에 의해 유도되는 구강 내 수용체 조직의 전기적 전위의 변화로부터 일어난다<sup>(8-11)</sup>. 최근 연구<sup>(15)</sup>를 토대로 보면 맛 전도(transduction)와 맛 반응은 조직의 이중층에서 일어나며 조직과 용액 간의 내부 조직에서 계면 전위(phase boundary potential)가 전기적 이중층 전위를 이룬다. 전하와 쌍극자의 표면 층으로 된 이중층 조직에서 표면 전위는 조직에서 용액 내로 분산되는 전기적 이중층을 형성함으로써 생기고, 쌍극자는 조직 표면에서 전위 이동을

일으켜 조직 전위가 소수성 영역을 통과하는 이온의 투과로 인해 생기게 된다. 맛 전위도는 표면 전위의 변화로 나타내는데 쓴 맛 물질의 표면 활성은 계면 영역에서 표면 활성 분자의 농도로 인해 조직 수용체에서의 맛 반응에 영향을 준다. 즉 쓴 맛이 강한 화합물일수록 지방 조직 이중층의 표면 활성에 변화를 일으켜 수용액의 표면 장력이 감소되는 것으로 나타났으며<sup>(12,13,16)</sup> 단 맛, 신 맛, 짠 맛의 수용액에서는 표면장력의 변화가 유의적으로 나타나지 않았음이 보고된 바 있다<sup>(14)</sup>.

신 맛과 짠 맛은 화학적인 방법으로 비교적 잘 설명된 기본 맛이나 이에 반해 쓴 맛은 다소 복잡한 기전으로 수용체에는 활성 분자가 결합할 수 있는 기능기들이 존재하여 맛 성분이 접촉할 때 특별한 분자 결합이 형성되고, 결합 에너지가 충분히 크면 수용체의 미세 구조가 변하게 되어 맛 반응을 일으키게 된다<sup>(3,26)</sup>. Ruffler & Engel<sup>(14)</sup>, Kroesen<sup>(13)</sup>과 Naumann<sup>(16)</sup> 등은 쓴 맛 물질 수용액의 표면 장력이 농도에 따라 감소되었고 또한 pH에 의해 영향을 받음을 보고한 바 있으며 이는 표면 장력 측정에서 고려되는 공기와 액체 간의 계면이 구강 내 조직의 특별한 맛 수용체에서의 이론적인 관계를 설명해 주는 것을 가정으로 하였다.

본 연구는 쓴맛의 관능검사치와 표면장력 측정치를 비교 분석하여 그 상관성에 의해 쓴맛의 관능 분석치를 객관화하는데 목적을 두었고 특히 쓴 맛은 고도의 맛 특성을 표현하는 감각으로서 제조업 분야에서 품질 평

Corresponding author: Jeongmee Kim, Research Institute of Food and Nutritional Science, Yonsei University, 134, Shinchon-dong, Sudaemun-ku, Seoul 120-749, Korea

가의 일면으로 요구되기도 하므로, 쓴 맛과 이에 상응하는 물리·화학적 측정치 간의 상관성을 밝힘은 의미 있는 일이라 하겠다. 따라서 본 연구에서는 JND를 이용한 맛 관능 분석에 의해 쓴 맛을 인지 역치 단계부터 체계적으로 분석하였고 쓴 맛 수용액의 표면장력치를 농도별로 측정하여 쓴 맛과의 상관성을 통해 일련의 쓴 맛 이론을 정립하였다. 또한 맛 곡선 방정식을 이용하여 맛 곡선과 표면 장력 곡선을 합수 그래프로 묘사하고 수학적으로 설명함으로써 물리·화학적인 실험치가 맛 관능 분석치(sensory evaluation)와 비교·서술될 수 있는 기본 자료를 제시하였다.

### 재료 및 방법

#### 재료

본 실험에서는 다음 물질의 수용액이 측정되었다. ben-zamide(Merck 802191), caffeine(Merck 2584), gentio-biose(Roth 7443), L-leucine(Fluka 61820), ethyl-4-OH-benzoate(Fluka 54660), Na-laurylsulfate(Merck 2969), N-cetylpyridinium-Cl(Merck 2340), naringine(Roth 64 81), quinine hydrochloride(Roth 6225), acetamide(Me-rck 822343), glycyglycine(Fluka 50200)

#### 표면장력 측정

순수 물질 수용액의 표면장력은 ring method<sup>(17,18,24)</sup> 사용하여 측정하였는데 이는 용액 내에 잠겨진 ring에 잡아 당겨지는 힘을 측정하는 것을 기본으로 하였다. Ring은 저울에 연결된 백금선(torsion wire)으로 장치되어, ring 단면에 최대 힘이 가해져서 액막이 찢어질 때 까지 용액으로부터 끌어 올려졌다. 이때 최대힘(maximal force)이 얻어져 표면장력 S는 다음과 같이 계산되었다.

$$K=4\pi R \times S \quad S=KF/4\pi R \quad (1)$$

S: 20°C ± 0.05에서 측정된 표면장력(mN/m)

K: 측정된 최대 힘(mN/m)

R: ring의 반경=9.725 mm

F: Harkins의 correction factor

S<sub>0</sub>: 순수 용매인 증류수의 표면장력

표면장력 곡선의 묘사를 위해서 용액농도 C에 따라 측정된 표면장력 감소치(S<sub>0</sub>-S)가 일련의 컴퓨터 프로그램(Statgraphicsprogram)을 통해 Szyszkowski 방정식을 이용하여 계산되었고 Techplot program으로 곡선을 얻었다.

#### 쓴 맛 물질의 관능 검사

맛 감각에 대한 자극강도(R)를 표현하는 자극 농도 C를 단계적으로 조사하기 위해 JND(just noticeable differences)를 이용하여 이점검사(duotest)로 맛 검사를 실시하였다<sup>(19-21)</sup>. 관능 검사자는 독일 Bonn 대학교 식

품화학 연구소의 훈련된 연구원 20명(남자 13명, 여자 7명)으로 구성하였으며, 검사는 오전 10시부터 11시에 실시하였다. 관능 검사자는 caffeine 표준 용액으로 검사 능력을 test받은 요원으로 caffeine 용액을 농도 1×10<sup>-6</sup> mol/l에서 3×10<sup>-3</sup> mol/l 사이에서 순차적으로 높여가며 증류수를 기준액으로 하여 이점 검사를 2회 실시한 결과, 인지 역치(recognition threshold)농도인 5.6×10<sup>-4</sup> mol/l 반응을 보인 검사원을 선별하였다. 인지 역치 농도는 쓴 맛을 감지할 수 있는 첫 단계 농도로서, 측정하고자 하는 물질의 농도를 1×10<sup>-6</sup> mol/l부터 1×10<sup>0</sup> mol/l 사이에서 단계적으로 높여가며 증류수를 표준액으로 하여 검사원의 95%가 증류수와 용액 간에 최초로 쓴 맛을 감지하는 시료의 농도(C<sub>1</sub>)로 정하였다. 용액은 25 ml씩을(25°C) 제공하였으며 시료에는 무작위로 추출한 세자리 숫자를 표시하고 제공순위는 매번 다르게 하였다. 검사는 입을 행굴 수 있는 세면대가 있는 관능 검사실에서 실시하였으며, 입에 남은 맛을 제거하기 위해 식빵을 사용하였다.

JND는 맛 감각의 차이도(dE<sub>n</sub>)로 n은 1부터 10까지 사이에서 실시하였다. n=1인 첫 단계 (dE<sub>1</sub>)의 농도는 증류수와 인지 역치 농도 간의 차이로 역치 농도 C<sub>1</sub>으로 표시하였다. n=2 (dE<sub>2</sub>)는 농도 C<sub>1</sub>을 기준액으로 하여 역치 농도 C<sub>1</sub> 이상 1×10<sup>-1</sup> mol/l 농도 사이에서 순차적으로 높여가며 이점 검사를 dE<sub>1</sub>과 같은 방법으로 실시하여 검사원의 95%가 인지 역치 농도 C<sub>1</sub>과 쓴 맛 농도 차이를 인식하는 시료의 농도를 찾아 C<sub>2</sub>로 표기한다. dE<sub>3</sub>/C<sub>3</sub>, dE<sub>4</sub>/C<sub>4</sub> 등의 값도 농도를 C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 등으로 계속 증가시켜서 바로 전 단계에서 검사된 농도를 표준액으로 비교하여, 검사원의 95% 확률분포도로 확증된 JND가 차례로 검사되었다. 이 때 얻어진 dE<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>, dE<sub>3</sub>/C<sub>3</sub> 등의 값은, y축에는 dE<sub>n</sub>을 x축에는 C<sub>n</sub> 값으로 그래프 상에서 나타내었다. 즉 맛 감각 차이도 dE<sub>n</sub>=E<sub>n</sub>-E<sub>n-1</sub> (JND)가 n=1부터 10사이의 범위에서 y축에 표시되고, x축은 이에 대응하는 농도를 나타내는 값으로 log C로 환산한 농도 값을 사용하였다.

### 결과 및 고찰

#### 표면장력 측정치

Fig. 1에는 N-cetylpyridiniumchloride의 표면장력 곡선(STR: surface tension reduction curve)이 제시되었고 용액 농도 1×10<sup>-6</sup> mol/l에서 2×10<sup>-3</sup> mol/l까지의 범위에서 32 mN/m까지의 표면 장력 감소치를 나타냈다. Szyszkowski 방정식 (1):

$$\Pi = S_0 - S = a \cdot \log(1 + bc) \quad (1)$$

에 의해 상수 값 a와 b를 계산한 결과 상수 a 값은 12.5 이고 b 값은 9790이었다. 상수 a와 b 값은 물질 특성에 의한 평형 상수로서, 상수 a는 용액 표면에서 분자 분포가 가장 조밀한 상태에서 분자당 밀도를 나타낸 것이고,

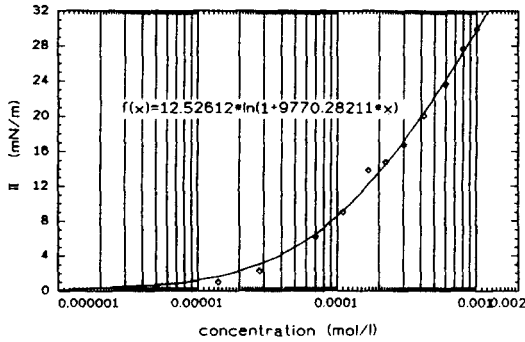


Fig. 1. The surface tension reduction (STR) curve of N-cetylpyridinium-Cl

Table 1. The results from the calculation of the constants a and b in the Szyszkowski-equation

No. substances	a(mN/M)	b(μmol)	Σ F <sup>2</sup>
1. benzamide	13.4941	16.4895	7.6993
2. caffeine	4.1469	1201.3206	11.3932
3. gentiobiose	2.5899	13116.1318	3.0749
4. L-leucine	0.8390	4372.3277	1.0371
5. ethyl-4-OH-benzoate	7.7073	452.3113	1.5169
6. L-leucine	0.8390	4372.3277	1.0371
7. N-cetylpyridinium-Cl	12.5261	9790.2821	4.4264
8. naringine	1.8200	13535.5127	2.3045
9. quinine hydrochloride	3.9075	548.4238	1.4379
10. acetamide	3.1214	5.1778	0.4894
11. glycylglycine	10.3561	7.3814	0.9388

상수 b는 모세관 활성도(capillary activity)로 정의되는 것으로 수용액 표면에 물질이 흡착되는 표면흡착도를 나타내며 이는 수용액 표면의 결합 부위에서 분자의 흡착과 분리의 동적 평형 상수이다. 쓴 맛이 나지 않는 중성 맛 물질인 경우에는(예: acetamide, glycylglycine) 농도별 표면장력치 측정에 있어서 유의적인 차이를 보이지 않았고 평형 상수 b 값도 다른 쓴 맛 물질보다 상대적으로 작은 것으로 나타났다(Table 1).

Log 그래프에서 비직선적이었던 표면장력 감소 곡선을 직선형으로 비교하기 위하여 변형된 Szyszkowski 방정식 (2):

$$\Pi = S_0 - S = a \cdot \log(1/b + c) + a \cdot \log b \quad (2)$$

을 이용하여 1차 직선 그래프로 나타내면 Fig.2와 같다. 여기서는 상수 a가 직선의 기울기로 설명되고 표기된 실험치에 근접하는 직선 그래프가 얻어졌으며 각 물질의 상수 a, b 값은 Table 1에 나타나 있다. 쓴 맛 성분들은 x축 절편이 -4.2에서 -1.2 사이의 범위에 있었으나 acetamide와 glycylglycine은 -0.73, -0.88로 상대적으로 절편이 큰 것으로 나타나 쓴 맛이 나는 물질과 쓴 맛이 없는 중성 맛 물질간의 표면 활성과 모세관 활성

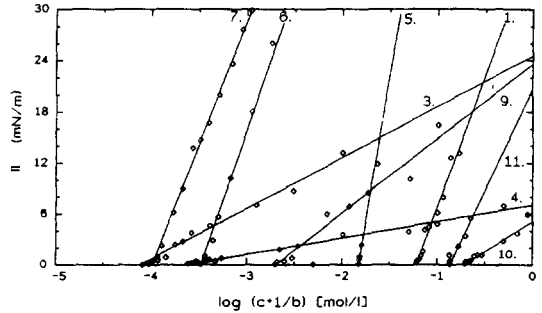


Fig. 2. Lined surface tension reduction curves

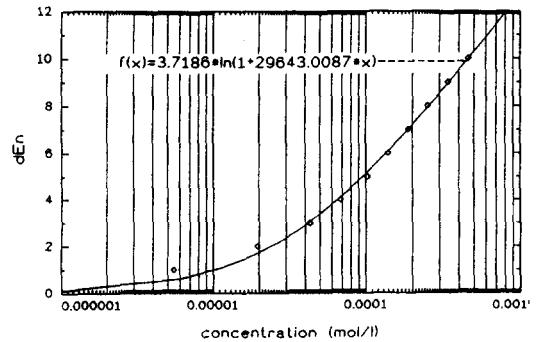


Fig. 3.1. JND-curve of gentiobiose

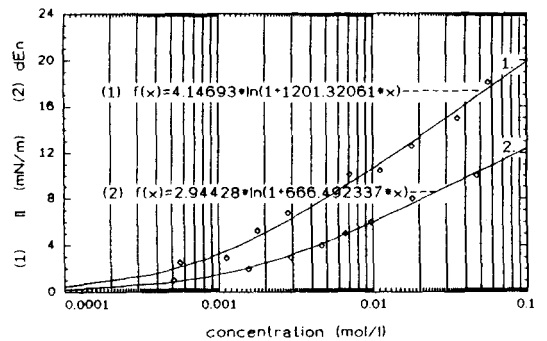


Fig. 3.2. STR- and JND-curves of caffeine

도에 있어서 유의적인 차이가 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 Szyszkowski 직선 방정식은 각 관계를 1차 함수 관계로 보다 간단히 설명하는데 유용하게 사용될 수 있다.

관능 검사

맛 관능 검사(sensory evaluation)의 결과는 맛 곡선으로 표현되었으며(Fig.3.1) 맛 곡선에서 y축에는 맛 반응 차이도 dE<sub>n</sub>을 대입하여 n이 1부터 10사이에서 (dE<sub>n</sub>~

**Table 2. The recognition threshold log C<sub>1</sub> for bitter tasting substances**

No. substances	log C <sub>1</sub>	density	Mw
1. benzamide	-3.1	1.34	121.13
2. caffeine	-3.5	1.45	194.19
3. gentiobiose	-5.3	1.48	342.30
4. L-leucine	-4.9	0.96	131.18
5. ethyl-4-OH-benzoate	-2.3	1.05	166.18
6. Na-laurylsulfate	-3.5	1.16	288.40
7. N-cetylpyridinium-Cl	-4.2	0.90	358.00
8. naringine	-5.0	1.45	580.53
9. quinine hydrochloride	-3.4	1.14	396.92

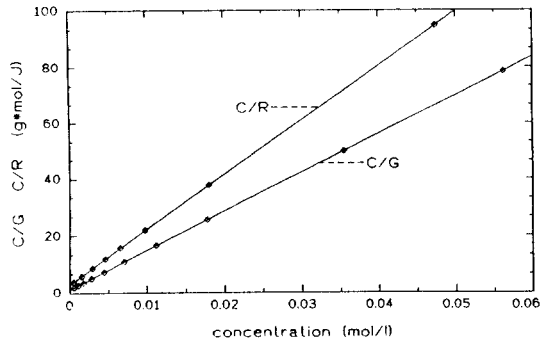
dE<sub>10</sub>) 표기되었다. 각 물질별 인지 역치 농도는 Table 2에 표기하였는데 gentiobiose, L-leucine과 naringine은 비교적 낮은 농도에서 인지되었고 다음으로 N-cetylpyridinium-Cl, Na-laurylsulfate, caffeine, quinine hydrochloride의 순으로 인지 반응을 보였다. Gentiobiose는 5.5 × 10<sup>-6</sup> mol/l에서 5 × 10<sup>-4</sup> mol/l 사이의 농도 범위에서 쓴 맛이 측정되어 Fig. 3.1에 맛 곡선을 제시하였다. 이때 물질 상수 A 값은(표면장력치는 a값) 3.7로, 표면 활성 상수 B는(표면장력은 b값) 29643으로 계산되어 맛 방정식에 대입한 함수식을 통해 그래프로 묘사되었다. 이외에 L-leucine과 naringine은 1 × 10<sup>-5</sup> mol/l부터 1 × 10<sup>-3</sup> mol/l 농도 사이에서 쓴 맛이 인지되었다.

Fig. 3.2에서는 농도 C에 대한 log 그래프 상에서 표면장력 곡선 (1)과 맛 곡선(2)를 제시하였다. Caffeine의 경우 그래프 1의 표면 장력 곡선에서는 용액 농도 1 × 10<sup>-4</sup> mol/l와 1 × 10<sup>-1</sup> mol/l 범위 사이에서 20 mN/m까지의 표면장력 감소치를 나타내며, a 값은 4.1이고 상수 b는 1201로 비교적 완만한 기울기를 보였으며, 맛 곡선은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 5 × 10<sup>-4</sup> mol/l와 5 × 10<sup>-2</sup> mol/l의 농도 범위에서 쓴 맛이 측정되었고, A값은 2.9로 상수 B는 666으로 계산되어 완만한 기울기의 표면장력 그래프와 유사한 형태를 보였다.

**기계적 측정치와 쓴 맛 관능 분석치의 상관성**

쓴 맛 물질 수용액의 표면장력 측정치와 맛 관능 분석치를 비교하기 위해 사용한 Szyszkowski 방정식은 표면 장력 곡선은 물론 맛 관능 분석 곡선(JND 곡선)의 서술에 유용하였으며 이로써 쓴 맛의 맛 기전을 순수 물질 수용액의 계면 상태에서 물리·화학적 등식으로 표현하는 방법이 제시되었다. 물질 성분들은 계면에서의 장력이 용액 내부와는 다르므로 계면에 흡착되는 분자의 농도에 비례하여 표면 장력이 감소하게 된다. 계면 흡착 상태는 계면 응집과는 무관한 것으로 계면 농도 G, 용액 농도 C와 계면 활성 변화 dS/dC의 상관관계인 Gibb's 흡착등식(3)에 의해 설명될 수 있다.

$$G = -(C/RT) \cdot dS/dC \tag{3}$$



**Fig. 4. Langmuir's adsorption isotherms of caffeine**

이 등식의 dS/dC가 미분된 Szyszkowski 방정식으로 치환되면 Eq. (4)의 방정식을 구할 수 있다.

$$G = (0.4343/RT) \cdot abc/(1 + bc) \tag{4}$$

이로써 Langmuir 흡착등온선이 유도되어 Eq. (5)가 얻어질 수 있다.

$$R = C \cdot K \cdot R_{max}/(1 + CK) = C \cdot B \cdot A/(1 + CB) \tag{5}$$

C/G와 C/R를 농도 C에 대한 직선 함수관계로 표현할 수 있는데 C/G는 표면장력 곡선으로부터 계산되었고 C/R는 맛 분석 곡선으로부터 계산된 것으로 분석치와 잘 일치된 직선형 그래프가 얻어졌다(Fig. 4). 따라서 수용체 세포 조직에서의 자극물 분자의 흡착이 생체 외에서 수용액 표면에서 일어나는 모세관 활성을 나타내는 분자의 흡착으로 표현될 수 있음을 알 수 있다. 표면 장력의 측정은 Beidler의 이론(7)을 확충해 준 것으로 계면에서의 자극물 분자의 결합과 전도(transduction)에 대한 이론(15)을 응용한 것이다.

쓴 맛 인지 역치 log C<sub>1</sub>과 상수 값 a, b와의 상관관계를 조사하기 위하여 PV-wave 프로그램을 사용하여 얻은 3차원적 상관그래프를 Fig. 5에 제시하였다. 맛의 민감성은 전기적 이중층에서 자극물 분자의 흡착으로 인해 나타나며 쓴 맛은 표출과정에 있어서 다른 맛 성분에 비해 계면에서의 지속성이 비교적 긴 편인데 이는 쓴 맛 물질의 계면 활성에 의한 계면의 안정도로부터 생기는 현상이다(14). 쓴 맛 인지역치 log C<sub>1</sub>과 상수 a, b 값의 상관성을 비교한 결과(Fig. 5.1) 기계적인 측정치에서는 상수 a 값이 증가할수록 log C<sub>1</sub>도 증가하는 현상을 보였다. 한편 모세 활성 상수 log b 값이 증가함에 따라 log C<sub>1</sub> 값이 비례적으로 감소하여 음의 직선 회귀 방정식 log C<sub>1</sub> = -0.725 × log b - 1.324를 구할 수 있었다. 이와 유사한 경향이 관능 분석에서도 나타났는데(Fig. 5.2) log B 값이 작을 때 인지역치 log C<sub>1</sub>은 최대값을 보였으며 log B가 증가함에 따라 이 분포도는 거의 직선적으로 감소되어 log B 값에 대한 회귀 방정식은 log C<sub>1</sub> = -0.511 × log B - 2.224로 나타났다. 이 두 관계의

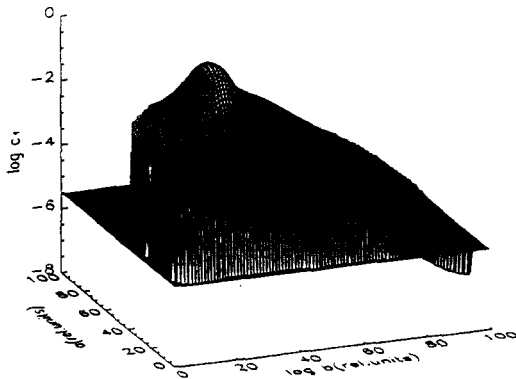


Fig. 5.1 The correlation between constants log b and a of STR-curves and recognition threshold log  $C_1$

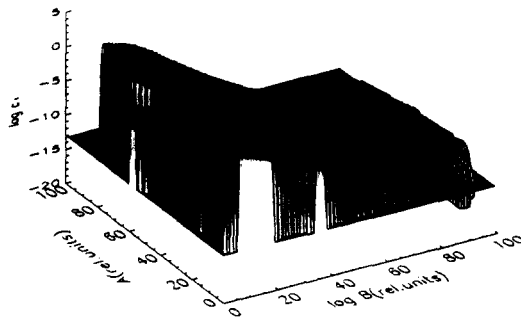


Fig. 5.2 The correlation between constants log B and A of JND-curves and recognition threshold log  $C_1$

유사성은 매우 주목할 만하며 이는 조직 내에 어떤 특별한 물질 성분에 국한되는 결합 수용체가 있는 것은 아님을 시사해준다.

## 요 약

순수 물질 수용액의 표면장력치 측정과 JND를 통한 맛 관능 분석에 의해 쓴 맛 물질의 표면 장력과 쓴 맛 간의 상관성을 연구한 결과, 모든 쓴 맛 물질 수용액은 용액의 농도가 증가함에 따라 표면 장력이 감소되어 Szyszkowski 방정식과 Techplot program으로 표면 장력 감소 곡선을 수학적으로 나타낼 수 있었고 또한 관능 분석에 의한 JND 맛 곡선도 같은 방법으로 묘사하여 상호 비교됨을 알 수 있었다. 또한 측정된 모든 쓴 맛 성분들에 대하여 표면 장력 곡선으로부터 상수 a, b 값을, 맛 곡선으로부터 상수 A, B 값을 계산하여 쓴 맛 인지역치  $\log C_1$ 과 평형 상수 b 값 간의 음의 상관 관계식을 구하였다. 또한 쓴 맛 인지역치 농도  $\log C_1$ 과 기계적인 측정치로 산출된 parameter들의 상관성을 PV-wave 프로그램을 이용해서 3차원적으로 비교한  $\log C_1/a/b$ 와  $\log$

$C_1/A/B$ 간의 상관관계는 주목할 만하며 이는 용액과 기체 간의 계면 system에서의 계면 흡착 모델이 구강 내에서의 조직과 용액 간의 관능적 모델에도 적용됨을 나타내며 나아가 표면장력치의 측정이, 신경자극 전달 측정을 위한 Beidler의 이론과 Szyszkowski 방정식을 이용하여 쓴 맛을 기계적으로 측정하는 독립적인 방법을 개발하는데 응용될 수 있음을 시사해 준다.

## 문 헌

1. Neumann, R.P., Molnar, P. and Arnold, S.: *Sensorische Lebensmittel-untersuchungen*, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1. Aufl. p.45 (1983)
2. Belitz, H.D.: Struktur und Geschmack-Bitterpeptide. *z. Ernährungs-w. Suppl.*, 16, 150 (1973)
3. Birch, G.G. and Mylvaganam, A.R.: Evidence for the proximity of sweet and bitter receptor sites. *Nature*, 260, 632 (1976)
4. Kubota, T. and Kubo, I.: Bitterness and chemical structures. *Nature*, 223, 97 (1969)
5. Herrmann, K.: Der Geschmack der Lebensmittel, besonders ein bitterer oder s er und seine Beziehung zur chemischen Struktur der geschmackgebenden Stoffe. *Ernährungsumschau*, 19, 252 (1972)
6. Ney, K.H.: Voraussage der Bitterkeit von Peptiden aus deren Aminos ure-zusammensetzung. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 147, 64 (1971)
7. Beidler, L.M.: A physiological basis of taste sensation. *J. Food Sci.*, 31, 275 (1966)
8. Desimone, J.A. and Price, S.: A model for the stimulation of taste receptor cells by salt. *Biophys. J.*, 16, 869 (1976)
9. Heck, G.L., Persaud, K.C. and Desimone, J.A.: Direct measurement of translingual epithelial NaCl and KCl currents during the chordatympani taste response. *Biophys. J.*, 55, 843 (1989)
10. Fidelman, M.L. and Mierson, S.: Network thermodynamic model of rat lingual epithelium: Effects of hyperosmotic NaCl. *Am. J. Physiol.*, 257, G475 (1989)
11. Formaker, B.K. and Hill, D.L.: An analysis of residual NaCl response after amiloride. *Am. J. Physiol.*, 255, R02 (1988)
12. Kim, J.M.: Neue Untersuchungen über den Zusammenhang von Oberflächen-spannung und Bittergeschmack von wässrigen Lösungen reiner Stoffe, *Dissertation*, University of Bonn (1993)
13. Krosen, M.: Untersuchungen zur Oberflächenaktivität bitterer Naturstoffe und ihr Zusammenhang zur sensorischen Qualität. *Dissertation*, University of Bonn (1983)
14. Pfeilsticker, K., Ruffler, I. and Engel. C.: Zusammenhang zwischen Bittergeschmack und positiver Oberflächenaktivitätsreiner Stoffe. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 11, 323 (1978)
15. Naito, M. et al.: Model for the dynamic response of taste receptor cells to salty stimuli. I. Function of lipid bilayer membranes. *Biophys. J.*, 59, 1218 (1991)
16. Naumann-Hambüchen, I.: Untersuchungen zum Bitter-

- rgeschmack wässrigen Lösungen in Korrelation zu deren Oberflächenaktivität. *Dissertation*, Univ. Bonn, (1988)
17. Deutsche Industrie Normen, DIN 53914: *Prüfung von Tensiden-Bestimmung der Oberflächenspannung*, Beuth Verlag, Berlin (1980)
  18. Führer, C. and Kilb, E.: Zur Me technik der Ober- bzw. Grenzfl chenspannung. *Z. Instr.*, 71, 36 (1963)
  19. Pauli, H.: Genu wert and sensorische Prüfung von Lebensmitteln. II. Physiologie der Sinne. *Verbraucherdienst*, 26, 184 (1981)
  20. Paulus, K.: Grundlagen und Methoden der sensorischen Analyse von Lebensmitteln. *Ernährungsw. Lebensmitteltechnik*, 10, 558 (1976)
  21. Jellinek, C.: *Sensorische Lebensmittelprüfung*-Lehrbuch für die Praxis, Pattensen, Sigfried, p.68 (1981)
  22. Piendl, A.: Lebens- und Genußmittel Bier. *Brauin-  
dustrie*, 67, 71 (1982)
  23. Rouseff, R.L.: (Ed). *Bitterness in Foods and Beverages*, from: Development in Food Science 25, Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier Scientific Publishing Company, p.35 (1990)
  24. Weser, C.: *Die Messung der Grenz- und Oberflächenspannung von Flüssigkeiten für den Praktiker*, GIT Fachz. Lab., 24, 642-648, 734 (1980)
  25. Omahong, M.M., Goldenberg, J. and Alford, J.: Confusion in the use of the taste adjectives sour and bitter. *Chem. Sens. Flavour*, 4, 301 (1979)
  26. Dastoli, F.R., Lopiekes, D.V. and Doig, A.R.: Bittersensitiv protein from porcine taste buds. *Nature*, 218, 884 (1986)
- 
- (1994년 11월 30일 접수)