

## NMR relaxation 기법을 이용한 한국산과 중국산 대두의 원산지 판별

김미현 · 노정해\* · 이철호<sup>1</sup>  
한국식품연구원, <sup>1</sup>고려대학교

### The Geographical Discrimination of Korean and Chinese Soybeans (*Glycine max(L.) merrill*) Using NMR Relaxation Methods

Mi Hyun Kim, Jeonghae Rho\*, and Cherl-Ho Lee<sup>1</sup>

Korea Food Research Institute

<sup>1</sup>School of Life Science and Biotechnology, Korea University

**Abstract** To discriminate the geographical origin (Korea vs. China) of soybean (*Glycine max(L.) merrill*) samples (Korean samples  $n=25$ , Chinese samples  $n=24$ ), proximate composition of soybeans and relaxation times were analyzed using low field NMR. Composition results indicate that there are no significant differences in moisture, fat, or ash contents between soybeans. The crude protein content of Korean soybeans, however, was higher than that of Chinese soybeans ( $p<0.05$ ). The relaxation times of T1-IR ( $p<0.0001$ ), T1-SR ( $p<0.0001$ ), and T2-SE ( $p<0.0086$ ) in Korean soybeans were longer than those in Chinese soybeans. The geographical origin of soybeans could be identified using a canonical discriminant analysis using two relaxation times (T1-IR and T1-SR) with 96% accuracy. Furthermore, in this study, a canonical discriminant analysis using four relaxation times (T1-IR, T1-SR, T2-SE, and T2-CPMG) could discriminate the geographical origin with 100% accuracy. It was possible to identify the geographical origin of Korean and Chinese soybeans using relaxation times from 10 MHz NMR.

**Key words:** NMR, soybean, discrimination, relaxation

## 서 론

콩은 *Glycine max(L.) Merrill*이라는 학명을 가지고 있으며, 동북아시아에서 약 4-5천년 전부터 재배되기 시작하였다. 콩은 곡류를 주식으로 하는 한국인에게 곡류에서 부족한 양질의 단백질, 지방, 비타민 B, 무기질의 공급원으로서, 예로부터 중요한 식량 자원으로 이용되어 왔다(1,2).

한국농촌경제연구원의 2006년도 주요 식품의 자급비율을 살펴보면, 주식인 쌀과 야채류, 계란, 해조류를 제외한 나머지 주요 식품의 국내 자급율은 매우 낮아 콩류는 13.6%로 낮은 자급율을 나타내었다. 자급이 가능한 양을 제외한 나머지 소비량은 모두 수입산으로 대체되어야 하기 때문에 소비자가 구매할 때 정확하게 표기된 원산지와 가격을 살펴보고 선호하는 상품을 구매할 수 있도록 해야 할 것이다. 그러나 원산지를 속여 판매하거나, 원산지를 표기하지 않은 채로 유통되는 일이 많아 농가들과 소비자들의 피해가 심각한 수준에 이르고 있다(3). 특히 대두의 경우 대부분 중국산 콩이 유통되고 있으며, 국내산 콩과 육안으로는 구별하기가 매우 힘들다. 수입산 콩에 대한 소비자들의 우려는 수입산 콩에 대한 판별과 원산지 판별에 대한 관심을 촉진시키고

있으며, 다양한 방법을 통한 신속하고 정확한 원산지 판별은 매우 중요하다고 생각된다.

농산물 원산지 판별에 이용할 수 있는 방법으로는 이화학적 방법, 비파괴 기술인 NIRS 방법(near infrared reflectance spectroscopy), 전자코에 의한 판별과 X선 형광분석법 등 여러 가지 방법이 시도되어 왔다. 그러나 NMR을 이용한 원산지 판별은 그 예가 비교적 적다. 이는 nuclear magnetic resonance(NMR) relaxometry 이론에 대한 이해 부족과 저자장 NMR에 대한 제한된 인식과 저자장 NMR 기기의 편리성이 잘 알려지지 않았기 때문으로 사료된다(4-7).

저자장 NMR(low field NMR)을 이용하여 원산지 판별을 하는 경우, 시료를 튜브에 담은 처리과정을 제외한 나머지 일련의 전처리 과정이 없기 때문에 분말화나 볶음 과정이 필요하지 않고 주변 환경에 영향을 받지 않아 기기의 유지 보수에도 어려움이 없다. 특히 이 연구에 사용되었던 NMR은 직경 40 mm의 튜브를 사용할 수 있는 것으로 콩의 전처리가 전혀 필요하지 않았다. 또한 여러 pulse 기법을 이용하여 다양한 relaxation times를 측정할 수 있으며, 측정시간이 매우 짧고(수 초), 재현성이 높아 실험자에 따른 오차가 발생하지 않는다는 장점을 가지고 있다(8). 국내 식품산업에서의 저자장 NMR 테크닉을 이용한 연구가 비교적 활발하지 않다. 고춧가루의 수분함량을 측정한 연구보고(9)와 국내산 참깨(8) 및 콩(7)을 원산지 판별에 도입된 예가 있으며 특화 상품인 수삼 및 홍삼의 자기공명을 이용한 특성 분석이 시도되었다(10-14).

본 연구에서는 두류 중 가장 많이 소비되는 황색콩의 원산지를 판별하기 위하여 10 MHz의 저자장 NMR을 이용하여 대두의

\*Corresponding author: Jeonghae Rho, Korea Food Research Institute, Seongnam, Gyeonggi 463-746, Korea

Tel: 82-31-780-9060

Fax: 82-31-709-9876

E-mail: drno@kfri.re.kr

Received March 26, 2009; revised April 27, 2009;

accepted May 13, 2009

원산지에 따른 relaxation pattern의 차이를 구하고 시료별 정준판별식을 통하여 국내산과 중국산의 판별 여부 가능성을 검토하였다.

### 재료 및 방법

#### 시료

실험에 사용된 대두는 중국산과 국내산을 구매하여 사용하였다. 중국산은 2008년 경동시장, 중부시장 및 인터넷 쇼핑몰에서 중국산으로 표기된 콩을 24점을 구입하였다. 그리고 국내산 대두의 경우 2007년 전국의 농가에서 25점을 직접 구매하여 시료로 사용하였다.

#### 일반 분석

일반성분은 콩을 60 mesh로 분쇄한 뒤 수분은 상압가열 건조법으로, 회분은 AOAC 표준방법으로 조단백질은 micro-Kjeldahl 방법으로 N 함량을 측정된 뒤 질소계수 6.25를 곱하여 정량하였고, 조지방은 Soxhlet법을 이용하여 측정하였다(15).

#### NMR 분석

시험에 이용된 기기는 NMS 110(Bruker GmbH, Rheinstetten, Germany)으로 45 RTS probe를 사용하였으며, 시료 튜브의 직경은 40 mm를 사용하였다. 측정항목은 종이완시간( $T_1$ , spin-lattice relaxation time)의 측정법인  $T_1$ -IR(inversion recovery:  $180^\circ$ - $\tau$ - $90^\circ$  pulse)과  $T_1$ -SR(saturation recovery:  $90^\circ$ - $\tau$ - $90^\circ$ - $\tau$  pulse), 횡이완시간( $T_2$ , spin-spin relaxation time) 측정법인  $T_2$ -SE(spin echo:  $90^\circ$ - $\tau$ - $180^\circ$ - $\tau$ - $180^\circ$  pulse),  $T_2$ -CPMG(Carr-Purcell-Meiboom-Gill method)이었다(Table 1). NMR 분석에 이용되는 시료 튜브는 직경 40 mm NMR 전용 유리 튜브를 사용하였으며, 수입산 콩과 국내산 콩은 높이가 4 cm 내외가 되도록 튜브에 넣어 사용하였다. 이 때 들어가는 콩의 개수는 약 90-120개 정도였다. Pulsed NMR 방법에 absolute pulse technique은 시료 중의 proton 함량과 관련이 있으므로 시료의 무게와 비례할 수 있다. 그러나 이번 실험에서 이용된 relaxation time measurement는 시료의 양에 영향을 받지 않는다. Relaxation time은 시료 내에 여러 가지 상태로 존재하는 proton의 세기를 측정하는 것이 아니라 proton이 electromagnetic wave 에너지를 흡수한 후 반응을 관찰하는 기법이기 때문이다.

#### 통계분석

모든 결과는 SAS를 이용하여 국내산과 중국산간의 t-test에 의해 유의성을 검증하였으며, 원산지 판별은 SAS를 이용하여 NMR로 측정된 relaxation time을 정준판별 분석(canonical discriminant analysis)을 시행하였다. 두 그룹으로 구분지을 수 있는 판별 함수는 Mahalanobis 거리를 구하여 계산하였으며, 각 개체 X가 집단

**Table 1. Instrumental parameters of NMR measurement for soybeans**

	$T_1$ relaxation		$T_2$ relaxation	
	IR	SR	SE	CPMG
Pulse separation	7.500 ms	11.000 ms	1.10 ms	1.10 ms
Data sample window	0.050 ms	0.050 ms		
Sample window	0.010 ms	0.010 ms	0.020 ms	
Duration factor	1.20	1.10	1.20	
Data point	40	60	35	250
Scan number	2	2	4	5
Recycling delay	0.5	0.5	0.5	0.5

에 속할 사후 확률(posterior probability)은 개체로부터 부분집단 j까지 일반화된 거리(general squared distance:  $D_j$ )를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다(16). Mahalanobis 거리는 군집분석에서 가장 많이 사용되는 거리개념으로 두 지점의 단순한 거리뿐만 아니라 변수의 표준편차와 상관계수가 함께 고려되는 통계방법이다.

$$Pr(j|X) = \frac{\exp(-0.5D_j^2(x))}{\sum_{k=0}^{\infty} \exp(-0.5D_k^2(x))}$$

### 결과 및 고찰

#### 일반 성분

원산지에 따른 콩의 일반성분은 Table 2와 같다. 수분함량은 국내산이  $9.6 \pm 1.8\%$ , 수입산이  $11.3 \pm 1.6\%$ 를 나타냈으며, 지방의 함량은 국내산과 수입산이 각각  $15.8 \pm 2.6\%$ ,  $14.8 \pm 1.6\%$ 로 나타났다. 단백질의 함량은 국내산의 경우  $37.4 \pm 1.7\%$ 로 수입산인  $35.7 \pm 3.6\%$ 보다 높았고, 회분의 경우 국내산과 수입산이 각각  $4.8 \pm 0.3\%$ ,  $4.2 \pm 0.2\%$ 로 나타났다. Ryoo 등(17)이 국내산 콩과 수입콩을 대상으로 실험한 결과와 비교해 볼 때, 국내산 콩의 경우 단백질과 회분은 비슷한 결과를 보이거나 수분과 지방의 함량이 다소 낮은 것으로 나타났다. 수입산의 콩의 경우 단백질을 제외한 수분, 지방, 회분의 함량과도 일치하는 함량을 나타내었다. 이 중 함량의 유의적 차이를 보인 항목은 조단백질로 국내산이 수입산보다 약 1.7% 더 높은 단백질 함량을 가지는 것을 볼 수 있었다.

#### NMR에 의한 원산지 판별 가능성

국내산과 수입산  $T_1$  relaxation time을 SR과 IR 방법으로 측정된 결과 국내산 콩의 평균  $T_1$ -IR 값이 96.1 ms로 중국산 콩의 79.2 ms보다 이완시간이 길게 나타났으며,  $T_1$ -SR 값도 국내산이 중국산에 비하여 이완시간이 긴 것으로 나타났다(Table 3).  $T_1$  이완시간이 길어지면 원자핵(nuclei)이 흡수한 electromagnetic wave에 의한 에너지를 주위의 다른 lattice로 전달하는 과정이 느려지는 것을 의미하며,  $T_1$ 의 시간은 시료 조직의 macromolecular status에 따라 달라지게 된다. 중국산과 국내산의  $T_1$ -IR,  $T_1$ -SR 값 모두에서 유의적 차이가 나는  $T_1$  relaxation time을 가지고 있어 저자장 NMR을

**Table 2. Statistical analysis (t-test) of imported and domestic soybeans**

Sample	Moisture	Crude fat	Crude protein	Ash
Domestic	$9.6 \pm 1.8^{1)}$	$15.8 \pm 2.6$	$37.4 \pm 1.66^*$	$4.8 \pm 0.3$
Imported	$11.3 \pm 1.6$	$14.8 \pm 1.6$	$35.7 \pm 3.66$	$4.2 \pm 0.2$

<sup>1)</sup>Mean $\pm$ SD

\*Significantly different at  $p < 0.05$  by Student's t-test

**Table 3. Statistical analysis (t-test) of imported and domestic soybeans**

Sample	$T_1$ relaxation (ms)		$T_2$ relaxation (ms)	
	IR	SR	SE	CPMG
Domestic	$96.1 \pm 11.2^{1)**}$	$89.9 \pm 10.1^{**}$	$51.1 \pm 2.4^*$	$88.7 \pm 6.2$
Imported	$79.2 \pm 8.1$	$78.2 \pm 7.3$	$49.4 \pm 1.6$	$86.3 \pm 3.1$

<sup>1)</sup>Mean $\pm$ SD

\*Significantly different at  $p < 0.05$  by Student's t-test

\*\*Significantly different at  $p < 0.005$  by Student's t-test

Table 4. Posterior accuracy of canonical discriminant analysis by low-field NMR

Number of variables	Variables	Posterior accuracy				
			Domestic	Imported	Total	Accuracy (%)
1	T <sub>1</sub> -SR	Domestic	18	7	25	72
		Imported	3	21	24	88
1	T <sub>1</sub> -IR	Domestic	19	6	25	76
		Imported	2	22	24	92
2	T <sub>1</sub> -IR, T <sub>1</sub> -SR	Domestic	24	1	25	96
		Imported	1	23	24	96
3	T <sub>1</sub> -IR, T <sub>1</sub> -SR, T <sub>2</sub> -SE	Domestic	24	1	25	96
		Imported	0	24	24	100
4	T <sub>1</sub> -IR, T <sub>1</sub> -SR, T <sub>2</sub> -SE, T <sub>2</sub> -CPMG	Domestic	25	0	25	100
		Imported	0	24	24	100

이용한 국내산 콩을 선별해 낼 수 있는 가능성을 확인하였다.

국내산과 수입산 T<sub>2</sub> relaxation time을 CPMG와 SE 측정된 결과는 T<sub>2</sub>-SE 값에서만 차이가 있는 것으로 나타났다. T<sub>2</sub> 이완시간이 길어지면 원자핵이 흡수한 electromagnetic wave에 의한 에너지를 주위의 다른 원자핵으로 전달하는 과정이 느려지는 것을 의미한다. 이러한 T<sub>2</sub> 차이는 수분함량이나 단백질 함량 등에 의한 차이보다 콩 내부의 proton 상태에 의한 차이가 다르기 때문이다.

이와 같은 결과는 Rho 등(4)의 20 MHz NMR 기기를 이용하여 대두분말의 원산지 판별 결과와는 다른 경향이었다. 대두분말의 결과에서는 T<sub>2</sub>-CPMG만이 국내산과 중국산 간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났고 국내산과 중국산 흑태에서는 T<sub>1</sub>-IR, T<sub>2</sub>-SE, T<sub>2</sub>-CPMG 값에서 유의적 차이가 있었다. 이러한 차이는 아마도 Rho 등의 콩은 분쇄하여 사용하였으며 시료의 수가 적고 사용된 NMR frequency 주파수(20 MHz)가 차이가 나기 때문에 본 실험과 다른 성향을 보인 것으로 사료된다. 예를 들어 콩이 분말화되면 내부에 존재하는 proton(대표적으로 물)의 상태가 달라지게 될 수 있을 것이다. 또한 저자장 NMR을 이용한 참깨의 원산지 판별 논문을 보면 20 MHz에서 T<sub>1</sub> 이완시간보다는 T<sub>2</sub> 이완시간에서 유의적 차이가 나타났다(5).

#### 정준판별분석에 의한 콩의 수입여부 판별

국내산 콩 25점과 중국산 콩 24점에 저자장 NMR을 이용하여 T<sub>1</sub>-IR, T<sub>1</sub>-SR, T<sub>2</sub>-SE, T<sub>2</sub>-CPMG를 측정된 후 t-test 결과에서 유의성이 검증된 변수들을 순차적으로 이용하여 각각 정준판별한 결과는 Table 4와 같다. 종이완시간의 측정법인 T<sub>1</sub>-SR 변수만을 이용하여 국내산과 중국산 콩을 정준판별한 결과를 살펴보면, 국내산이 국내산으로 판별된 경우는 25종 중 18종이었으며(72%), 중국산을 중국산으로 판별한 경우는 24종 중 21종이었다(88%) T<sub>1</sub>-IR 변수만을 사용하여 정준판별 분석을 시행한 결과 국내산 25종 중 19종만이 국내산으로 판별되었고 중국산 24종 중 22종만이 중국산으로 판별되어 각각 76, 92%의 확률을 나타내었다. T<sub>1</sub>-SR 단독으로 판별하였을 때보다 T<sub>1</sub>-IR 단독으로 이용하여 판별하였을 때 국내산 중국산 모두에서 정확성이 증가되는 것으로 나타났다.

종이완시간의 두 변수인 T<sub>1</sub>-IR과 T<sub>1</sub>-SR를 이용하여 측정된 T<sub>1</sub> 값들이 앞의 t-test에서 국내산과 중국산 간의 유의성이 이미 인정되었으므로, 이 두 변수를 동시에 원산지 판별을 수행하였다. 그 결과 국내산 25종 중 24종이 국내산으로 판별되어 96%의 정

확성을 보였으며 중국산도 24종 중 1종만이 국내산으로 오판되어 96%의 정확성을 나타냈다. 즉 T<sub>1</sub>-IR과 T<sub>1</sub>-SR에 의한 T<sub>1</sub> 각각의 측정 항목을 단독으로 사용하여 판별하였을 때보다 두 변수를 함께 이용하면 국내산과 중국산의 판별 가능성이 크게 증가되는 것으로 나타났다. T<sub>2</sub>-SE 데이터를 위의 결과에 더하여 3개의 변수(T<sub>1</sub>-IR, T<sub>1</sub>-SR, T<sub>2</sub>-SE)로 판별한 결과 국내산 시료에 대한 판별 정확성은 향상되지 않았으나 중국산의 경우 정확성이 100%로 향상되는 것으로 나타났다. 이와 마찬가지로 4가지의 측정 항목인 T<sub>1</sub>-IR, T<sub>1</sub>-SR, T<sub>2</sub>-SE, T<sub>2</sub>-CPMG 데이터 모두를 사용하여 판별을 실시한 경우 국내산 시료의 판별 정확성이 100%로 증가하는 것을 볼 수 있었다.

국내산 콩과 중국산 콩의 NMR 데이터를 가지고 사후확률을 비교한 결과는 Table 5, 6과 같다. 두 변수 T<sub>1</sub>-IR, T<sub>1</sub>-SR을 함께 이용하여 국내산 콩의 사후확률을 비교하였을 때 국내산을 국내산 25종 중 19종은 사후에 국내산으로 완벽히 판별(posterior probability=1)될 확률이 100%였다. 그러나 중국산 24종 중 23종은 중국산을 중국산으로 판별될 사후 확률이 0.9890에서 0.7841에 이른 것으로 나타났다. 그리고 시료 중 1종은 중국산을 국내산으로 판별할 사후확률도 매우 높아 0.7781에 이르는 것으로 나타났다.

T<sub>1</sub>-IR, T<sub>1</sub>-SR에서 T<sub>2</sub>-SE의 데이터를 첨가하여 판별한 후 사후확률을 비교하였을 때 25종 중 20종이 국내산을 국내산으로 정확히 판별된 것으로 예측되었으며, 중국산을 중국산으로 완벽히 판별할 사후확률이 좀 더 높아져 0.9948-0.6909로 나타났다. 4가지의 측정 항목인 T<sub>1</sub>-IR, T<sub>1</sub>-SR, T<sub>2</sub>-SE, T<sub>2</sub>-CPMG를 모두 사용하여 판별한 후 사후확률을 비교하였을 때는 국내산 25종 중 21종이 국내산으로 완벽하게 판별될 확률(posterior probability=1)을 가지고 있으며, 나머지 4개의 시료도 거의 0.9000 이상의 확률로 비교적 오판이 적게 국내산을 구별해낼 수가 있는 것으로 나타났다. 중국산 콩에서 0.95 이상의 확률로 정확하게 중국산으로 구별해낼 수 있는 경우는 24종 중 18종으로, 이는 3개의 변수(T<sub>1</sub>-IR, T<sub>1</sub>-SR, T<sub>2</sub>-SE)를 이용하였을 때의 12종보다 월등하게 높아진 것을 볼 수 있었다.

지금까지 콩의 원산지 판별은 Rho 등(8)의 저자장 NMR을 이용한 콩의 분말 판별 시도와 Jeong 등(18)이 근적외선 분광 광도법을 이용한 보고가 있다. Rho 등(8)의 20 MHz pulsed NMR을 이용한 국내산과 중국산 분말 콩의 판별에서 T<sub>1</sub>-IR, T<sub>1</sub>-SR, T<sub>2</sub>-SE, T<sub>2</sub>-CPMG를 이용하였을 때 국내산과 중국산 모두 100%의 정확성을 나타내었으며, 이는 10 MHz에 온전한 콩을 사용한 본 실험과도 유사한 결과였다. Jeong 등(18)은 NIR을 이용한 원산지

**Table 5. Posterior probability of membership in origin using canonical discriminant analysis for domestic soybean**

T <sub>1</sub> -IR, T <sub>1</sub> -SR		T <sub>1</sub> -IR, T <sub>1</sub> -SR, T <sub>2</sub> -SE		T <sub>1</sub> -IR, T <sub>1</sub> -SR, T <sub>2</sub> -SE, T <sub>2</sub> -CPMG	
Domestic	Imported	Domestic	Imported	Domestic	Imported
1.0000(19) <sup>1)</sup>	0.6338	1.0000(20)	0.7045	1.0000(21)	
0.9994		0.9995		0.9995	
0.9971		0.9830		0.9947	
0.9874		0.9777		0.9901	
0.9816		0.9738		0.9000	
0.8904					

<sup>1)</sup>The value in parenthesis is a number of same posterior probability.

**Table 6. Posterior probability of membership in origin using canonical discriminant analysis for imported soybeans**

T <sub>1</sub> -IR, T <sub>1</sub> -SR		T <sub>1</sub> -IR, T <sub>1</sub> -SR, T <sub>2</sub> -SE		T <sub>1</sub> -IR, T <sub>1</sub> -SR, T <sub>2</sub> -SE, T <sub>2</sub> -CPMG	
Imported	Domestic	Imported	Domestic	Imported	Domestic
0.9890	0.7781	0.9948		0.9995	
0.9880		0.9940		0.9994	
0.9877		0.9930		0.9993	
0.9814		0.9893(2) <sup>1)</sup>		0.9982	
0.9877		0.9875		0.9971	
0.9841		0.9865		0.9969	
0.9769		0.9854		0.9967	
0.9767		0.9844		0.9966(2)	
0.9713		0.9816		0.9952	
0.9699		0.9717		0.9945	
0.9627		0.9655		0.9921	
0.9481		0.903		0.9871	
0.9340		0.9290		0.9825	
0.9256		0.9220		0.9773	
0.9254		0.8995		0.9650	
0.9236		0.8988		0.9607	
0.9176(2)		0.8983		0.9594	
0.9093		0.8979		0.9363	
0.9005		0.8539		0.9271	
0.8848		0.8525		0.9052	
0.8651		0.8079		0.8766	
0.7841		0.7245		0.6813	
		0.6909		0.6765	

<sup>1)</sup>The value in parenthesis is a number of same posterior probability.

판정을 위해 검량식을 작성하였고 이때의 상관도는 0.995, 검량 시 오차 4.87%, 실행 시 오차가 4.67%였다. 그러나 판별능이 높았던 위의 두 연구는 대두의 분말화를 통한 분석이었으며, 본 연구는 분말화가 없이 콩 그 자체를 사용한 것으로 위의 두 연구와 같은 높은 수준의 판별능을 나타내어 본 판별방법의 의의가 더욱 부각될 수 있을 것이다.

## 요 약

국내산 콩 25종과 중국산 콩 24종을 일반성분 분석을 실시하고 10 MHz pulsed NMR의 relaxation pattern을 이용하여 농산물

의 원산지에 따른 차이를 구명하고 이에 따른 정확하고 신속한 원산지 판별이 가능하도록 하였다. 국내산과 중국산 콩의 일반성분 분석을 실시한 결과 수분, 지방, 회분에 유의적 차이가 없었고 조단백질 함량에서는 국내산이 중국산보다 높았다. T<sub>1</sub>-IR을 이용하여 측정된 NMR값은 중국산 콩이 국내산 콩보다 짧은 이완 시간을 갖는 것으로 나타났으며( $p < 0.0001$ ), T<sub>1</sub>-SR도 마찬가지였다( $p < 0.0001$ ). 횡이완시간 중 T<sub>2</sub>-SE의 값은 국내산이 중국산보다 높게 나타났다( $t$ -test,  $p < 0.0086$ ). T<sub>1</sub>-IR과 T<sub>1</sub>-SR 두 개의 변수를 이용하여 판별식을 작성한 경우 국내산과 중국산 모두 96%의 판별 가능성을 보였으며, T<sub>1</sub>-IR과 T<sub>1</sub>-SR, T<sub>2</sub>-SE, T<sub>2</sub>-CPMG의 모든 변수를 이용하여 판별한 결과 국내산과 중국산 콩의 판별 정확성이 100%로 나타났다. 이 연구를 통하여 저자장 NMR을 이용하여 국내산과 중국산 콩을 유의적 선별해 낼 수 있는 가능성을 확인하였다.

## 문 헌

- Ju JS. Nutrition of soybean. Korea Soybean Digest 2: 16-19 (1985)
- Cho JS. Changes in dietary culture of soybean. Korea Soybean Digest 19: 34-54 (2002)
- Korea Rural Economic Institute. Food balance sheet. Seoul, Korea. pp. 212-213 (2006)
- Rho JH, Lee SM, Kim YB, Lee TS. Discriminating domestic soybeans from imported soybeans by 20 MHz Pulsed NMR. Korean J. Food Sci. Technol. 35: 653-659 (2003)
- Kwon YK, Cho RK. Identification of geographical origin of sesame seeds by near infrared spectroscopy. J. Korean Agric. Chem. 41: 240-246 (1998)
- Noh BS, Ko JW, Kim SY, Kim SJ. Application of electronic nose in discrimination of the habitat for special agricultural products. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 1051-1057 (1998)
- Noh BS, Ko JW. Discriminant of the habitat for agricultural products by using electronic nose. Food Eng. Prog. 1: 103-106 (1997)
- Rho JH, Lee SM. Discriminating the geographical origin of sesame seeds by low field NMR. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 1062-1066 (2002)
- Lim JG, Kim CS, Lee SJ, Kim SM. Internal quality evaluation and age identification of fresh Korean ginseng using magnetic resonance imaging. J. Korean Soc. Agric. Machinery 28: 157-166 (2003)
- Lim JG, Kim CS, Kim SM. Analysis of internal quality and magnetic resonance characteristics of red ginseng using PCA. J. Korean Soc. Agric. Machinery 28: 261-268 (2003)
- Lim JG, Kim SM. Analysis of magnetic resonance characteristics of images of Korean red ginseng using PCA. J. Korean Soc. Agric. Machinery 28: 253-260 (2003)
- Lim JG, Kim CS, Kim SM. Relationship between internal quality and magnetic resonance characteristics in red ginseng. J. Biosystems Eng. 7: 376-381 (2002)
- Lee JG, Lim JG, Kim SM, Kim CS. Nuclear magnetic resonance characteristics of Korean red ginseng. J. Biosystems Eng. 6: 255-260 (2001)
- Cho SI. Measurement of moisture and oil contents in agricultural products using NMR. National Agricultural Mechanization Research Institute. Gyeonggi, Korea. pp. 59-90 (1988)
- AOAC. Official Methods of Analysis. 15<sup>th</sup> ed. Method 925.09. The Association of Official Analytical Chemistry, Washington DC, USA (1990)
- SAS Institute, Inc. SAS User's Guide. 5<sup>th</sup> ed. Statistical Analysis System Institute, Cary, NC, USA (1985)
- Rho SH, Kim SR, Kim KT, Kim SS. Isoflavone, phytic acid and oligosaccharide contents of domestic and imported soybean cultivars in Korea. Korean J. Food Nutr. 17: 229-235 (2004)
- Jeong SS, Cho KK, Choi SY, Yoon JS. Studies on the identification of geographical origins of agricultural products. Experiment Research Institute, Seoul, Korea. pp. 41-46 (1995)