

질소 안정동위원소 자연존재비($\delta^{15}\text{N}$)를 이용한 유기벼와 일반벼 판별법 탐색*

이효원** · 이상모***

Studies on Discrimination between Organic Rice and Non-organic Rice using Natural Abundance of Stable Isotope Nitrogen($\delta^{15}\text{N}$)

Lee, Hyo-Won · Lee, Sang-Mo

To investigate the possibility of discrimination between organic and non-organic rice using stable isotope nitrogen of natural abundance, organic rice of 17 samples and non-organic rice of 13 samples grown at adjoining organic rice field were collected in 2008. Rice was grinded into brown rice, milled rice and hull, and samples were analysed for nitrogen and $\delta^{15}\text{N}$ at NICEM. Authors also made inquiries about N source for both farmers who conduct organic- and non-organic rice cultivation. In order to know whether the $\delta^{15}\text{N}$ can be used in discrimination between organic and non-organic rice, discriminant analysis were made with SPSS and logistic method.

1. Organic farmers used manure, rice bran, used mushroom culture, fermented fertilizer (company products), and oil cake, but non-organic farmers applied compound fertilizer. Rice straws were remained in organic rice field while moved out in non-organic field.
2. There were difference in $\delta^{15}\text{N}$ among organic rice and its byproduct(7.760‰ in hull, 6.720‰ in rice), but significant difference was not found between them. And the trend was same between province. Non-organic rice showed similar results.
3. Significant difference of $\delta^{15}\text{N}$ were found between organic rice and non-organic rice ($p<0.01$) and between hull of organic rice and that of non-organic rice hull ($p<0.05$). $\delta^{15}\text{N}$ seemed to be useful criteria for discrimination of organic and

* 본 논문의 질소안정성 동위원소를 연구 분석하는데 도움을 준 서울대학교 농생명과학공동기기원(NICEM)에 깊은 감사를 표합니다.

** 한국방송통신대학교 자연과학대학 농학과 교수(hyowon@knu.ac.kr)

*** 서울대학교 농업생명과학대학 교수

non-organic rice.

4. When applied discrimination analysis of SPSS and logistic, there were significant difference between organic rice, non-organic rice and its byproducts except brown rice and hull in SPSS method. Hull can be used as the most useful component for unknown sample prediction with 83.3% probability.

Key words : *organic rice, $\delta^{15}N$, isotopic stable nitrogen, brown rice, milled rice, hull, SPSS, logistic, discrimination analysis, natural abundance*

I. 서 론

생산성을 중시한 관행농업의 단작, 화학비료 및 농약의 과다 투입, 경운에 의한 표토유실 및 유전자 변형작물의 이용이 계속되는 과정에서 염류집적, 생태계 교란, 수질 오염 및 농산물의 안정성에 대한 의구심이 증가하면서 유기농산물의 수요가 증가하고 있다. 이런 상황에서 정부와 지자체의 노력으로 매년 10% 이상 유기농산물 생산량과 인증농가가 증가되었고(이, 2009) 이들은 전체농산물의 약 11.9%(조와 유, 2009)에 달한다. 그러나 설문조사결과 유기농산물에 대한 신뢰는 49.8%로 낮으며(김 등, 2008) 응답자의 47.9%가 더 저렴해야 한다고 했으며 유기농산물의 충성도를 높이기 위해서는 생산자표시, 성분표시에 대한 신뢰도를 높이는 것이 무엇보다 필요하다고 지적하였다(조와 유, 2009). 또한 친환경농산물 구입의향에 유의미한 영향을 미치는 변수로는 품질의 사후관리, 포장재 개선, 학력, 고향 등으로 나타나 품질관리가 판매에 영향을 미친다는 보고도 있다.(김과 이, 2008) 그간 농산물의 원산지 식별이나 혼입량 측정 그리고 진위성 판별은 주로 근적외선 분광법에 의해 시행되어왔다. 즉 조 등(1991)은 분말고추 중의 씨앗 및 꼭지혼입량을 이 방법으로 측정하여 1.76%의 측정오차로 혼입여부를 측정할 수 있다고 하였다.

그 밖에 일본차와 국산차(Kim et al)에 대한 반별시험결과 97.87%의 시료가 성공적으로 판별될 수 있었다고 보고하였다. 한편 이 등은(2009) 유기벼와 관행벼를 판별하기 위한 방법으로 NIRS를 이용하였으나 이 방법은 유기벼와 유기쌀의 판별방법으로 적절하지 않다고 하였다. 그 이유로는 근적외분광법이 농산물의 분자결합 관능기(C-H, O-H, N-H, S-H)들이 근적외선 대역에서 흡광하여 이들의 연속적인 진동에 따른 흡광에 의해 스펙트럼을 얻게 되나 작물이 합성한 단백질이 화학비료와 유기비료 중 어떤 질소원을 사용했는지를 구분할 만큼의 상세한 정보를 제공할 수 없기 때문이라고 추론 하였다.

한편 1940년대 동위체의 발견이후 1950~1960년대에는 자연에 존재하는 물질의 동위체자연존재비가 다른 것이 확인되었고 또 반응의 기질과 생성물의 차이로부터 동위체 분별의 크기가 보고되었다. 1970~1980년대에 걸쳐서 다수의 시료가 보고되고 δ 값의 변동이나 폭 또는 변동의 규칙성이 평가되게 되면서 δ 값을 [자연을 측정], [자연의 물질 추적]하기 위한

인덱스(index)로 이용하게 이르게 되었다(米山忠克, 1987). 이를 위해 이용되는 동위원소 안정성 성분으로는 탄소와 질소, 산소, 수소, 유황이 있다. 질소의 경우 경질소(^{14}N)과 중질소(^{15}N)의 두 가지가 있으며, 공기 질소는 주로 경질소로 구성되며 경질소의 비율은 99.6337%, 중질소는 0.3663%이다.

토양이나 식물체의 질소의 자연존재비(N natural abundance; ($^{15}\text{N}/^{15}\text{N}+^{14}\text{N}$, $\delta^{15}\text{N}$ = 단위 ‰))는 질소원에 따라 상이한 값을 갖는다. 신선한 공기의 질산태 질소는 -9.3 ± 3.4 , 암모니아 가스는 -10.0 ± 2.6 이며 우분퇴비 20톤/ha를 밭에 시용했을 때 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 6.9‰를 나타냈고 채소 재배지에서 계분퇴비를 40톤/ha 이상 투입했을 때는 11.7‰였다. 논에서 유안(황산암모늄)을 100kg 시용한 경우 3.0‰였고 유기물 13%인 퇴비를 질소기준 40kg를 시용했을 때 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 7~11‰였다고 한다(米山忠克, 1987). 그 뒤의 후속연구에 의하면 필리핀 미작연구소의 논에서 토층 0~10cm의 N‰가 7.6이었고 이 때 벼는 9.2‰를 나타내었다. 벼의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 토양의 종류나 토양비옥도에 따라 다르다고 보고한 바 있다(米山忠克, 笹川英夫, 1994).

한편 식물 질소의 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 변동은 (1)식물이 획득 흡수한 N손실의 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 변동 (2)식물이 흡수·대사하는 반응에 대한 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 값의 동위원소 분별의 결과에서 생기는 생성물과 잔유물의 $\delta^{15}\text{N}$ 값 변동에 기인한다(米山忠克 등, 2002). 또한 고 등(2005)은 화학비료 및 가축분뇨의 질소자연존재비는 $-3.7\sim +2.3$ ‰ 및 $+12.5\sim 26.7$ ‰였다고 보고한 바 있다.

한편 최 등(2002)은 옥수수를 포트에 재배한 후 70일 이후의 잎과 종실의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 돈분을 시용한 처리구가 암모니아를 시용한 처리구보다 유의적으로 높았다고 보고 한 바 있다. 또한 윤 등(2006)도 배추를 각종 시비처리를 한 후 60일간 재배하여 그 잎의 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 조사하여 발표하였다. 그들에 의하면 퇴비 처리구가 화학비료 시용구보다 유의적으로 높았다고 하였다. 또 화학비료를 처리했을 때의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 대부분 5‰ 이하의 값을 나타냈으나 시중에 유통되는 17개의 유기농산물 중 5개 품목이 이에 해당한다고 하였다(노 등, 2004). 일본의 미시다 등(2007)은 가축퇴비를 계속한 시용한 구는 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 증가한 반면 무시용구는 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 감소한다고 하였다. 그러나 본 연구는 유기질 시용구는 그 생산물의 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 증가할 것으로 가정하고 유기재배지역과 관행화학비료 시용구에서 벼시료를 수집하여 벼와 그 부산물의 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 비교하여 유기 및 관행벼의 판별지표로 사용할 수 있을지를 검토하기로 하였다.

따라서 본 연구는 소비자에게 유기농산물에 대한 신뢰를 줄 수 있는 방법을 모색하고자 질소 안정동위원소 자연 존재비($\delta^{15}\text{N}$)를 이용하여 유기벼와 일반벼의 판별방법을 개발하기 위해 본 실험을 실시하게 되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시료채취지역

2008년 생산된 유기벼를 전국에 걸쳐 유기벼와 그 근처에서 재배되는 일반벼를 짝으로 구하려 시도하였으나 실제 수집한 것은 유기벼 시료 17개와 일반벼 13개였다. 유기벼는 경기도는 안성지역 3곳을 비롯한 5곳, 충청도는 증평과 청주를 비롯한 5곳, 경상도는 달성과 상주를 비롯한 5곳, 그리고 강원도는 2지역이었다. 이를 지도상으로 표시하면 <Fig. 1>과 같다. 시료수집지역은 도에서 유기벼를 집단적으로 재배하는 곳을 선택하였다.

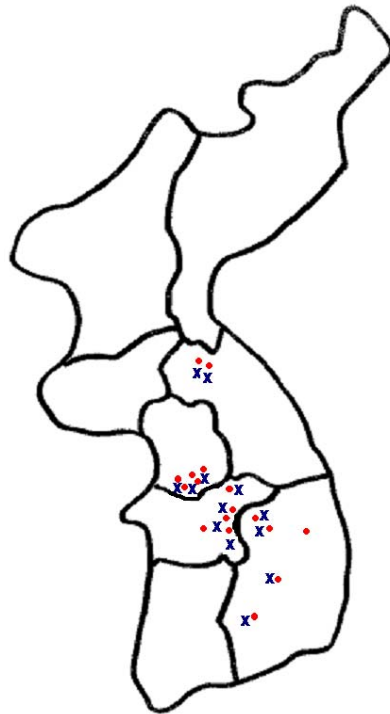


Fig. 1. Map of sampling sites(○ : Organic, X : Non-organic)

2. 품종

이들 농가가 파종한 품종은 지역에 따라 다양하였다. 가장 많이 사용한 품종은 추정으로 12농가였고 그 밖에 고시가리, 응광, 다마금, 백진수, 일품 등이 재배된 것으로 파악되었다.

3. 시용한 유기 및 화학비료원 조사

시료 제공 농가와 인터뷰를 통하여 어떤 종류의 유기 및 유기질 비료를 사용하는 가를 조사하였고 그 결과는 <Table 1>과 같다. 정확한 비료 사용량을 알고자 하였으나 눈대중으로 사용하거나 대략적인 수치만을 제시하는 경우가 많아 설문을 중심으로 데이터화 하는데 어려움이 있었다.

Table 1. Fertilizer input between organic and non-organic rice by farmers

Farming method	Non-organic farming	Organic farming
N source	Chemical	Organic
Kind	Compound (17-17-17 / N-P-K) fertilizer	Rice bran, Fermented fertilizer, Used mushroom culture, Manure, Oil cake
Fertilizing method	Basal, top, top dressing at ripening stage	Basal dressing(mostly)
Amount	9kg/1,000m ²	Variable
Straw	Removed	Remained at field

4. 시료의 분석

시료의 질소 및 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 분석하였다. $\delta^{15}\text{N}$ 값 측정하기 위하여 전국 각지에서 수집된 시료를 실험용 도정기(SY94-RAT 2400, 쌍용기계)를 사용하여 왕겨와 현미, 백미(90%로 정미)로 도정한 후 분쇄기(FOSS ANALYTICAL AB, CE/093)로 분쇄한 것을 시료로 이용하였다. 분석 총 점수는 120개(각 30점)였다. 질소와 질소자연존재비($\delta^{15}\text{N}$)는 서울대학교 농업과학공동기기센터(NICEM)에서 안정성 동위원소비 질량분석기(VG Optima IRMS, Micromass, UK)를 이용하여 분석하였다.

일반적으로 대기 중의 질소 동위원소는 ^{14}N 이 99.64%로 현저하게 많고 ^{15}N 은 0.366%로 극미량이나 자연적인 조건하에서는 $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 비율이 271:1로 거의 일정하게 나타나게 된다. 질소의 반응과정에서 반응물에서 생성물로 전환되는 원소의 동위원소 존재비 차이가 적기 때문에 동위원소 농도는 백분율(%)이 아닌 천분율편차(‰)로 나타내며, 델타(δ)표시법을 적용하여 다음과 같이 표시하게 된다(Kreitler, 1975; Hauck 등, 1994).

$$\delta X_{(\text{sample})} = [(R_{(\text{sample})} - R_{(\text{standard})} / R_{\text{standard}}] \times 1000$$

여기서, δX = 동위 원소 농도

$$R = {}^{15}\text{N} / {}^{14}\text{N} \text{ 비}$$

Standard = 대기 중 질소

전술한 전처리 과정 후 질량분석기를 이용하여 질소 가스의 질량비 분석에 앞서 국제원자력기구에서 공인된 표준물질(IAEA-N2 및 IAEA-N3)을 이용하여 동위원소 검량식을 작성하였으며, 동일한 시료를 대상으로 3반복 분석한 결과 본 연구에 사용된 질량분석기의 정밀도와 재현성은 공히 0.5%로 나타났다.

5. 통계분석

유기벼 및 일반벼의 부산물이 질소안정동위원소 자연존재비($\delta^{15}\text{N}$)를 이용하여 판별이 가능한지를 규명하기 위하여 두 가지의 판별분석식에 대입하여 이용하였고 이 때 적용한 방법은 SPSS와 로지스틱 회귀분석이었다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 유기 및 일반벼 재배농가의 비료 사용현황

유기벼 재배농가가 사용한 질소원 비료원은 농가에 따라 다양하여 일률적으로 규정하기 어려웠다. 유박, 균배양체, 퇴비, 버섯배지, 쌀겨를 사용하였으나 어떤 농가는 전혀 유기질 비료를 사용하지 않았다고 대답한 농가도 있었다.

사용방법으로는 기비로만 시용한 농가가 대부분이었지만 이삭거름으로 40~50kg/1,000m²를 시용한 경우도 있었다. 사용량은 유박인 경우 120kg~300kg/1,000m² 사이였고, 균배양체는 최소 40kg에서 최대 300kg/1,000m²의 범위였다. 40kg만을 시용한 농가인 경우에는 동계작물로 호밀을 재배한 후 그것을 논에 다시 환원한 경우였다. 이들이 사용한 유박의 질소 함량은 4~5%였고 균배양체는 2.5%인 것으로 조사되었다.

전혀 시비를 하지 않은 경상도의 한 농가는 양파의 후작물로 벼를 재배하여 이전에 충분한 시비를 하였고 따라서 추가적인 시비의 필요성을 느끼지 않았기 때문이라고 답했다. 농가에 따라서는 이양 후 쌀겨를 300kg/1,000m²를 시용한 쌀겨농법을 채용한 농가도 있었다.

한 가지 특징은 조사대상 17 유기농가 중 한 농가를 제외하고는 대부분 벼짚을 논에 환

원하였으나 일반벼 재배농가는 판매한 경우가 많았다. 일반벼 재배농가는 복합비료(21-17-17/N-P-K) 9kg/1,000m² 중 4.5kg는 기비로, 2.7kg는 새끼치기 거름으로, 나머지 1.8kg는 이삭 비료로 사용하는 방식으로 시비한 경우가 대부분이었다.

2. 유기 및 일반벼의 지역별 질소 및 질소안정동위원소 자연 존재비($\delta^{15}\text{N}(\%)$)

유기쌀과 그 부산물의 질소 및 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 <Table 2>에서 보는 바와 같다. 평균 질소함량은 경기 0.787%, 충청 0.722%, 경상 0.729%, 강원 및 기타 지역은 0.817%로 강원지역의 질소 함량이 높았다. 한편 벼와 그 부산물의 평균 질소함량은 벼 0.715%, 현미 1.013%, 백미 0.952%, 왕겨 0.339%로 현미가 가장 높고 왕겨가 가장 낮았다. 지역 간에 벼와 그 부산물에 대한 통계적 유의차는 나타나지 않았다.

표준 편차는 벼의 경우 현미에서 0.045로 가장 높았고 왕겨에서 0.008로 가장 낮았다. 또한 질소자연존재비($\delta^{15}\text{N}$)는 경기 7.015%, 충청 7.030%, 경상 7.450%, 강원 6.675%로 경상도 벼 제품이 가장 높은 반면 강원이 가장 낮았다. 벼와 그 부산물의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 벼 6.728%, 현미 6.785%, 백미 6.723%, 왕겨 7.935%로 백미가 가장 낮고 왕겨가 가장 높았다. 지역간 유기벼와 그 부산물 사이의 통계적 유의성은 나타나지 않았다.

Table 2. N and $\delta^{15}\text{N}$ content of organic rice and its byproducts between provinces (N = % $\delta^{15}\text{N}$ = %)

		Organic rice and its byproducts				means of N	means of $\delta^{15}\text{N}$	SEM ¹⁾
		Gyeonggi	Chungcheong	Gyeongsang	Gangwon			
Rice	N	0.795	0.731	0.696	0.782	0.751	-	0.021
	$\delta^{15}\text{N}$	6.720	6.500	7.140	6.550	-	6.728	0.314
Brown rice	N	1.075	0.981	0.861	1.136	1.013	-	0.042
	$\delta^{15}\text{N}$	6.820	6.620	7.100	6.600	-	6.785	0.352
Milled rice	N	0.924	0.855	1.010	1.017	0.952	-	0.045
	$\delta^{15}\text{N}$	6.760	6.620	7.360	6.150	-	6.723	0.269
Hull	N	0.353	0.321	0.350	0.333	0.339	-	0.008
	$\delta^{15}\text{N}$	7.760	8.380	8.200	7.400	-	7.935	0.295
means of N		0.787	0.722	0.729	0.817	0.764	-	-
means of $\delta^{15}\text{N}$		7.015	7.030	7.450	6.675	-	7.043	-

¹⁾ Standard error of means

일반벼의 질소함량 및 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 분석결과는 <Table 3>과 같다. 즉 벼와 현미, 백미, 왕겨의 평균질소함량은 0.816%였고, 벼는 0.849%, 현미는 1.128%, 백미는 0.917%, 왕겨는 0.317%로 현미가 가장 높고 왕겨가 가장 낮았다. 각 생산지별로 볼 때 경기 0.816%, 충청 0.742%, 경상 0.730%, 강원 0.679%였고, 지역 평균은 0.742%였다. 경기도산 일반 쌀이 0.816%의 질소함량을 나타내어 가장 높았고 강원도산이 0.679%로 가장 낮았다. 유기벼와 마찬가지로 벼 제품 간, 지역 간 유의성은 나타나지 않았다.

Table 3. N and $\delta^{15}\text{N}$ content of non-organic rice and its byproducts between provinces (N = %, $\delta^{15}\text{N}$ = ‰)

		Non-organic rice and its byproducts				means of N	means of $\delta^{15}\text{N}$	SEM ¹⁾
		Gyeonggi	Chungcheong	Gyeongsang	Gangwon			
Rice	N	0.849	0.844	0.861	0.869	0.856	-	0.030
	$\delta^{15}\text{N}$	4.233	4.100	6.975	4.300	-	4.902	0.750
Brown rice	N	1.128	0.900	0.822	0.882	0.933	-	0.054
	$\delta^{15}\text{N}$	4.733	4.775	7.125	4.650	-	5.321	0.635
Milled rice	N	0.971	0.906	0.863	0.660	0.850	-	0.057
	$\delta^{15}\text{N}$	5.300	4.175	6.600	5.650	-	5.431	0.737
Hull	N	0.317	0.320	0.373	0.304	0.328	-	0.014
	$\delta^{15}\text{N}$	5.667	5.425	6.825	5.950	-	5.967	0.751
means of N		0.816	0.742	0.730	0.679	0.742	-	-
means of $\delta^{15}\text{N}$		4.983	4.619	6.881	5.138	-	5.405	-

¹⁾ Standard error of means

본 실험에서 나타난 유기벼의 질소함량은 일반벼보다 낮았다. 즉 김 등(2009)에 의하면 6kg/1,000m² 질소 시용시 단백질 함량은 7.44%(N 1.1424%)였고, 19kg/1,000m²의 질소를 시용했을 때 7.56%(N 1.5424%) 나타냈다. 박 등(1991)도 7kg~12kg/1,000m²의 질소를 시용했을 때 역시 비슷한 값인 단백질 함량 7.6%(N, 1.216%) 및 질소함량 1.216~1.328%를, 안 등(2005)도 단백질 함량 7.0%(N, 1.12%) 및 1.12% 내외의 질소함량을, 그리고 박경배(1994)도 박과 유사하여 본 조사 결과보다 높았다. 이러한 결과는 다른 보고자들이 단백질을 구할 때 질소함량을 구한 다음 여기에 계수를 곱하여 단백질을 구하게 되는 데 이 때 곱하는 계수의 차이에 의한 것으로 사료된다.

한편 질소자연존재비($\delta^{15}\text{N}$)의 경우 벼는 4.902‰, 현미 5.32‰, 백미는 5.431‰, 왕겨는 5.967‰로, 왕겨가 가장 높고 벼가 가장 낮게 나타났다. 지역 간 질소자연존재비는 경기 4.983‰, 충청 4.619‰, 경상 6.881‰, 강원 5.138‰로 경상도 지역이 가장 높고, 충청지역이 가장 낮았다.

식물체의 ^{15}N 농도는 식물이 흡수동화하는 질소의 $\delta^{15}\text{N}$ 값과 식물체에서의 질소의 대사 전류에 대한 동위원소 분별에 의해 결정된다고 하였다(米山忠克, 1987). 벼 부산물의 부위별 통계적 유의차가 없었던 것은 다른 이의 연구결과와 일치하였다. 즉, 기비와 추비를 모두 퇴비로 처리한 후 60일 이후의 배추 잎의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 유의적인 차이가 없었다는 노 등(2004) 연구와 같은 결과였다. 화학비료만을 시비한 일반벼의 경우 질소자연존재비는 4.619~6.881‰ 범위였는데(米山忠克, 1987) 이는 본 실험결과와 동일하였다. 본 실험의 결과는 Yun (2006)이 화학비료를 시비한 60일째의 배추 잎 4‰보다 높았다.

식물기관간의 $\delta^{15}\text{N}$ 값 차이는 일반적으로 작으나 어떤 종의 두과식물의 경우 질소고정 부위에 있는 근류와 그 이외의 기관에서는 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 크게 차이가 난다고 발표하였는데 즉 콩은 그 알곡이 0.1‰, 지상부는 -2.0‰, 근류는 +9.6‰이었다(steel etc, 1983). 이는 지역별로 생산된 벼와 그 부산물의 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 차이가 나는 그들 토양의 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 각기 다르기 때문 일 것으로 사료된다. 우리나라에서는 각 지역의 중질소자연존재비에 대한 연구가 많지 않으나 미국의 경우 그 값이 6.3‰이고 범위가 -1.0~17.0‰였다고 하며(Cheng 등, 1964) 캐나다의 평균 9.4‰, 벨기에는 3.0‰이었다(米山忠克, 1987). 일본의 논토양에서 61점을 조사한 결과 3.2‰였으며 그 범위는 0.1~6.8‰였다.

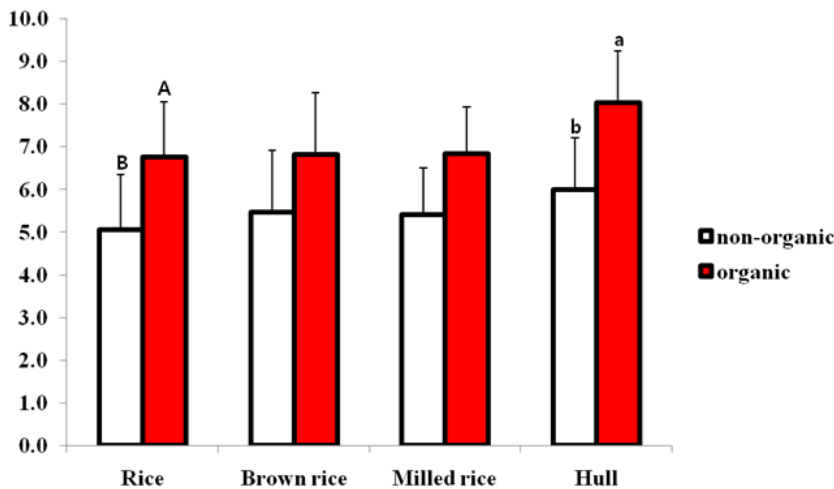


Fig. 2. $\delta^{15}\text{N}$ content of organic and non-organic rice and its by-product

※ The different letters are significantly different at 1%(capital) and 5%(small letter)

<Fig. 2>은 유기벼와 일반벼의 부산물의 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 비교하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 유기벼의 질소자연존재비의 평균값은 7.043‰이고 일반벼는 5.405‰로 유기벼가 일반벼보다 약 1.638‰이 더 높은 것으로 나타났다. 벼와 그 부산물의 유기 및 일반벼의 값 차이는 벼에서 1.882‰, 현미 1.464‰, 백미 1.292‰, 왕겨는 1.968‰이었다. 즉 왕겨가 가장 큰 차이를 보여 유기 왕겨와 일반벼 왕겨 사이에는 통계적 유의성이 있는 것으로 계산되었다. 벼와 ($p<0.05$), 왕겨($p<0.01$)에서 유의적인 차이가 관찰되었다.

본 실험의 결과는 유기작물은 유기물을 사용하여 질소자연존재비($\delta^{15}\text{N}$)가 20% 이상 증가할 수 있는 반면 관행농산물은 대기질소를 고정된 화학비료를 사용하게 되어 유기와 일반농산물 사이에 차이가 생긴다는 주장(노 등, 2004)과 일치한다. 미국에서의 연구결과에 의하면 유기질비료는 10.2‰인 반면(Chien 등, 1977) 일본에서의 NH_4^+ 값은 -0.7‰였다(무명씨, 1985).

4. 판별분석

판별분석은 측정된 연수를 이용하여 각 개체들이 2개 이상의 그룹 중 어느 그룹에 속하는지를 판명하는 분석 방법이며(김 등, 2008), SPSS 방법으로 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 유의성을 검정하였을 때 벼는 $p=0.029$ 로 통계적 유의성이 확인되었고 이때의 모형은 $y=0.494x + -2.937$ 이었다. 이모형으로 판별하면 약 73.333%가 옳게 분류되며 왕겨도 유의성이 있고 이 때 모형은 $y=0.0511 \times -3.571$ 였다. 이 판별함수를 모델로 했을 경우 약 70.0%가 옳게 분류될 수 있다는 것이 확인되었다. 그러나 백미와 현미는 두 그룹 유기벼와 일반벼 사이에 통계적 유의성이 없는 것으로 검정되었다.

Table 4. P values between organic and non-organic rice component by $\delta^{15}\text{N}$ value with SPSS and logistic method

Rice constituent	Statistic and lysis	SPSS	Logistic
Rice		$p=0.029$	$p=0.017$
Brown rice		$p=0.059$	$p=0.043$
Milled rice		$p=0.056$	$p=0.038$
Hull		$p=0.010$	$p=0.007$

로지스틱 회귀법을 이용한 경우는 벼는 유의 확률이 $p=0.017$ 이고 80%가 옳게 분류되며, 왕겨는 83.3%가 바르게 분류될 수 있어 4가지 벼 부산물 중 가장 정확하게 분류될 수 있는

부산물로 판정되었다. 현미나 백미도 유기벼와 일반벼간에 통계적 유의성이 존재하는 것으로 계산되었다.

IV. 적 요

본 실험은 질소안정동위원소존재비($\delta^{15}\text{N}$)를 이용하여 유기벼와 일반벼의 판별 가능성을 탐색하기 위하여 실시하였다. 시료는 전국에 걸쳐 유기벼 17점, 그리고 유기벼 재배 인근 지역에서 일반벼 13점을 수집하여 2008년 11월부터 2010년 1월까지 설문 및 분석 작업을 수행하였다. 벼는 벼와 현미, 백미, 왕겨로 도정한 다음 이들의 질소 및 질소안정동위원소 자연존재비($\delta^{15}\text{N}$)를 분석하였다. 이 성분이 두 그룹의 간의 판별에 이용될 수 있을지를 검증하기 위하여 판별분석을 적용, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 유기벼 농가가 사용한 질소원은 퇴비, 쌀겨, 균배양체, 버섯배지, 유박이었고 사용량은 농가에 따라 큰 차이가 있었고, 벼짚은 모두 논에 환원하였다. 그러나 일반벼 농가는 복합비료를 쓰고 벼짚은 회수하여 판매한 경우가 많았다.
2. 유기벼의 벼와 현미, 백미, 왕겨의 중질소자연존재비의 차이가 가장 컸으나 통계적 유의성은 없었고 지역간의 차이도 유의성이 없었다. 일반벼에서도 유기벼와 같은 경향이였다.
3. 유기벼와 일반벼의 질소안정동위원소존재비는 유의한 차이가 있었고($p < 0.01$) 이러한 차이는 유기 및 비유기 왕겨에서도 나타났다($p < 0.05$). $\delta^{15}\text{N}$ 값은 유기벼 및 비유기벼 판별의 지표로 유용한 것으로 사료된다.
4. 판별분석 SPSS와 Logistic을 적용하였을 때 현미와 백미를 제외하고 모두 유의한 차이가 있었다. 판별에는 왕겨가 가장 유용하였고, 미지시료의 83.3%가 바르게 분류될 수 있는 것으로 나타났다. SPSS방법은 벼와 왕겨, Logistic 방법은 네 가지 구성성분 모두 유의하게 나타났으나 그 중 검정값이 가장 높게 나타난 것은 왕겨로 83.3%가 바르게 분류될 수 있음이 확인되었다.

[논문접수일 : 2009. 1. 29. 논문수정일 : 2010. 4. 16. 최종논문접수일 : 2010. 4. 20]

참 고 문 헌

1. 고한중·최홍림·김기연. 2005. 질소 동위원소비를 이용한 관행농업과 유기농업에서의

- 질 산태 질소 오염원 규명. 동물자원지 43(3): 481-490.
2. 김상오·김민희·심재한. 2008. 소비자의 친환경농산물 인식 및 구매행동에 대한 이해. 한국유기농업학회지 16(1): 21-42.
 3. 김정일·최해춘·김광호·안종국·박노봉·박동수·김춘송·이지윤·김제규. 2009. 질소 시비 조건에 따른 벼 품종의 미질과 식미특성 반응. 한작지 54(1): 13-23.
 4. 김충실·이상호. 2008. 친환경농산물의 신뢰제고에 따른 소비의향분석. 한국유기농업학회지 16(3): 275-286.
 5. 노희명·류순호·이상모·윤석인·최영대·노영동·송관철, 김유학·한경화·류지혁. 2004. 질소동위원소비 분석을 이용한 유기농산물 판별기술개발. ARPC.
 6. 朴政和·金靜逸·吳龍飛·吳潤鎭·朴來敬. 질소시비량이 미질에 미치는 영향. 1991. 한국작물학회 추계학술대회.
 7. 朴慶培. 벼栽培樣式別 被覆尿素 複合肥料의 施用量이 生育 및 米質에 미치는 영향. 韓土肥誌 27(3): 226-231.
 8. 안종용·이병진·김상열·황동용·김준환·오성환·구연충. 2005. 질소시비량과 재식밀도에 따른 미질의 변화. 작물학회지 추계학술발표.
 9. 이용구·김성수·김현중. 2008. 다변량분석 입문. KNOU PRESS.
 10. 이효원. 2009. 유기농업원론. 에피스테메.
 11. 조래광·손미령·안재진. 1991. 근적외 분광분석법에 의한 분말고추중의 씨앗 및 꼭지 혼입량의 신속한 측정. KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. 23(4): 447-451.
 12. 조제억·유덕기. 2009. 친환경농식품의 고객충성도 및 구매특성에 관한 연구. 한국유기농업학회지 17(3): 273-289.
 13. 米山忠克. 1987. 土壤-植物系炭素, 窒素, 水素, イイウオの安定同位體自然存在比 : 變異, 意味, 利用. 日本土壤肥料學雜誌 58(2): 252-268.
 14. 米山忠克·笹川英夫. 1994. 土壤-植物系炭素, 窒素, 水素, イイウオの安定同位體自然存在比 : 1987以後降の研究の進歩. 日本土壤肥料學雜誌 65(5): 585-589.
 15. 米山忠克·森田明雄·山田 裕. 2002. 土壤-植物系炭素, 窒素, 水素, イイウオの安定同位體自然存在比の利用 : 1994年以後降の研究の展開. 日本土壤肥料學雜誌 73(3): 331-342.
 16. Cheng, H. H., J. M. Bremner, and A. P. Edwards. 1964. Variations in nirtogen-15 abundance in soils. *ibid.* 146. 1574-1575.
 17. Chien, S. h., G. Shearer, and D. H. Kohl. 1977. The Nitrogen isotope effect associated with nitrate loss from waterlogged soils. *Soil S ci. Am J.* 41: 63-69.
 18. Hauck, R. D., J. J. Meisinger, and R. L. Mulvaney, 1994. Methods of soil analysis, part 2. Microbiological and biochemical Properties. Soil science society of America. SSSA book series, 5: 907-950.

19. Kim, Young-Soo, Christopher Scotter, Margaret Voyiagis and Martin Hall. 1997. Potential of NIR spectroscopy for discriminating geographical origin of green tea from Korea and Japan. *Foods and biotechnology*. 6(2): 74-78.
20. Kreitler, C. W. 1975. Determining the source of nitrate in ground water by nitrogen isotope Studies. Austin, Univ. of Texas, Bureau of economic geology, Report of investigations. 83: 1-57.
21. Lee, Hyowon, Jin H.Yun, Soonwook Kwon, and Changho Kim. 2009. Potential of predicting to discriminate organic rice by using NIR spectroscopy. 2009 한국작물학회 추계 학술발표회.
22. Nishid Mizuhiko, Kaori Iwaya, Hirokazu Sumida and Naoto Kato. 2007. Changes in natural N abundance in paddy soils under different, long-term soil management regimes in the Tohoku region of Japan. *Soil Science and Plant Nutrition* 53: 310-317.
23. Seok-In Yun, Hee-Myong Ro, Woo-Jung Choi, and Scott X. Chang. 2006. Interactive effects of N fertilizer source and timing of fertilization leave specific N isotopic signatures in Chinese cabbage and soil. *Soil biology & Biochemistry* 38: 1682-1689.
24. Steele, K. W., P. M. Bonishy, R. M. Daniel, and G. W. Hara. 1983. Effect of rhizobial strain and host plant on nitrogen isotopic fractionation in Legumeo. *ibid.* 72: 1001-1004.
25. Wara, E., R. Imaizumi, and Y. Takai. 1984. Natural Abundance of ^{15}N in soil organic matter with special reference to paddy Soil in Japan: Biogeochemical implication on the nitrogen cycle. *Geochem. J.* 18: 109-123.
26. Woo-Jung Choi, Sang-Mo Lee, Hee-Myong Ro, Kyong-Cheol Kim, and Sun-Ho Yoo. 2002. Natural ^{15}N abundances of maize and soil amended with urea and composted pig manure. *Plant and soil* 245: 223-232.