

각종 유식물체, 채소 및 가공식품 중의 글루타치온 함량

김주성¹ · 심이성² · 김명조^{1,3*}

¹강원대학교 한방Bio연구소, ²서울시립대학교 환경원예학과, ³강원대학교 농업생명과학대학 식물자원응용공학부

Glutathione Content in Various Seedling Plants, Vegetables, and the Processed Foods

Ju-Sung Kim¹, Ie-Sung Shim², and Myong-Jo Kim^{1,3*}

¹Oriental Bio-herb Research Institute, Kangwon National University

²Department of Environmental Horticulture, University of Seoul

³Division of Bio-resources Technology, Kangwon National University

Abstract In this study, we investigated the levels of glutathione (GSH) and its oxidized form (GSSG) in more than 40 kinds of plant materials including seedling plants, grains, vegetables, and processed foods. The glutathione contents in the seedling plants were ranged from 0 to 120 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$. In addition, the different levels of glutathione were observed within the same family and between species. In the case of marketed grains and vegetables, azuki and kidney beans of leguminosae contained the high levels of glutathione, whereas glutathione was scarcely detected in the processed bean foods (bean paste, soybean sauce, etc.). Overall, a higher GSH content in food may contribute to a higher added value.

Key words: grain, GSSG, homoglutathione, leguminosae

서론

글루타치온(γ -L-glutamyl-L-cysteinyl-glycine)은, 3개의 아미노산, 글루타민산(Glu), 시스테인(Cys), 그리고 글리신(Gly)으로 구성된 트리펩티드로, ATP에 의존한 연속 2단계에 의해 생성이 된다. 첫 단계에서, γ -glutamylcysteine synthetase(E.C. 6.3.2.2, γ -ECS)는 글루타민산과 시스테인을 이용하여 디펩티드인 γ -glutamylcysteine을 합성하며, 두번째 단계에서 γ -glutamylcysteine은 GSH synthetase(E.C. 6.3.2.3, GSHS)에 의해 글리신과 결합하여 글루타치온이 된다. 글루타치온은 인간을 포함한 동·식물(1)은 물론, 미생물(2)의 조직 내에 포함되어 있는 비단백질성 SH화합물로 알려져 있다. 또한, 생물체에서 산화환원 상태의 유지기능을 가지며, 생체 내에서 발생한 과산화물질의 효소 환원반응의 보조효소로서 활동하고, 시스테인의 안정된 세포 내 공급원으로서 영양학적으로도 중요한 역할을 하고 있다(3,4). 게다가, 글루타치온의 SH기는 다양한 유기화합물 및 금속원자들과 효소적 혹은 비효소적으로 결합함으로써, 이들 결합물질의 체외배설과 해독에도 관련되어 있다(5). 식물세포에서 글루타치온은, 유황 신진대사(6), 산화환원 상태(redox)의 유지, 광합성 과정에서 발생하는 산화스트레스에 대한 방어(7) 및 생체이물의 해독기능(8) 등이 있다.

지금까지 글루타치온의 생리·생화학적인 연구 중, 식물에서는 식물체내의 함량(9-12), 식물생활환의 제어(13,14), 그리고 환경스트레스 응답(15-17)에 있어서의 메커니즘 등이 연구되었다. 동물에서는 주로 쥐를 이용한 생체실험(항산화(18), 항암(19), 알츠하이머병(20), 지질과산화(21) 등), 혈액중의 함량(22) 등이 있으며, 인간에 있어서는 고기보다 과일이나 야채의 글루타치온 흡수가 좋았으며(23), 과일이나 야채 유래의 글루타치온은 구강암 위험을 감소시키는 결과를 가져왔다(24). 또한 정자수가 적은 사람에게 복용시켰을 경우 정자수가 증가하는 효과를(25,26), 고혈압 당뇨병 환자에 있어서는 혈압을 낮추어 주는 효과를 나타냈다(27).

식물 및 미생물 유래의 글루타치온은, 항산화 성분으로서 널리 식품과 의약품 등에 첨가되고 있다. 그러나, 현재까지 생리학적 의미는 크다고 평가되어짐에도 불구하고, 그것에 대한 자세한 정보는 알려져 있지 않은 실정이다. 또한 지금까지 식품 중의 분석 예로는 채소, 과일, 그리고 고기에 대한 보고가 몇 편 보고되어 있는 실정이다(11,12). 본 실험은, 다양한 식물의 과·종간에서의 글루타치온 함량의 차이, 그리고, 유식물체, 채소 및 가공식품 중의 글루타치온 함량을 조사하였으며, 야채로서 스프라우트(싹 채소)의 이용가능성도 고찰하였다.

재료 및 방법

실험재료

Table 1에서 벼과 식물(실험실 보유)을 제외한 종자는 종묘회사(Takii Co., Kyoto, Japan)로 부터 구입을 하였다. 흑토와 모래(7.5:2.5, v/v)에 완숙퇴비를 섞은 포트(18.5 cm×5.7 cm×18 cm)에서 종자를 15일간 유리온실 내 자연광 조건하에서 생육시켜 지상부를 실험재료로 이용하였으며, 재배조건은 동일하게 하였다. Table

*Corresponding author: Myong-Jo Kim, Division of Bio-resources Technology, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon 200-701, Korea

Tel: 82-33-250-6413

Fax: 82-33-253-6413

E-mail: kimmjo@kangwon.ac.kr

Received June 15, 2009; revised July 13, 2009;

accepted July 13, 2009

2, 3에 사용된 곡류(쌀, 보리, 대두, 팥 및 강낭콩), 채소 및 가공식품은 식료품 가게에서 구입하였다. 채소는 수돗물에 씻은 후 증류수로 행구어 수분을 제거한 것을 곡물은 세정과정을 거치지 않고 10 g을 분쇄기에 갈아 일부를 실험에 이용하였다. 가공식품은 내용물을 그대로 분석에 이용하였다. 분석은 각 시료 별 3반복하였다.

글루타치온 추출 및 정량

글루타치온의 추출은, Gronwald 등의 방법(28)에 준하여 행하였다. 0.5 g의 샘플을 액체질소에 동결시킨 후, 막자 사발을 이용하여 분쇄하고, 5%의 trichloroacetic acid(TCA)를 5 mL 첨가 후, 균질기로 균질화하였다. 8,000×g에서 10분간 4°C에서 원심분리한 후, 상층액을 2매의 미라크로스(miracloth)를 이용하여 여과 시킨 후 여액을 2 mL씩 나누어 총글루타치온(GSH+GSSG)과 산화형 글루타치온(GSSG) 함량을 측정하였다.

총글루타치온 정량용 추출액은 동량의 diethyl ether를 첨가하여 TCA를 제거하는 작업을 3회 반복하였다. 남은 분획물은 질소가스를 이용하여 여분의 diethyl ether를 제거하였다. 산화형 글루타치온 함량 측정은 추출액에 동량의 N-ethylmaleimide(NEM) 용액(5 mM EDTA·2 Na을 포함한 0.1 M 인산칼륨완충액, pH 7.5로 용해)을 첨가하여 환원형 글루타치온(GSH)을 제거한 후, 동량의 diethyl ether를 첨가하여 TCA와 NEM을 제거하는 작업을 3회 반복하였다.

산화형 글루타치온 함량 측정은 Ellman의 방법(29)에 준하여 행하였다. 항온수 순환 셀홀더를 부착한 분광광도계(UV-1700, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여, NADPH와 glutathione reductase 존재 하에서 GSH과 GSSG의 리사이클링법에 의해 DTNB(5,5'-dithiobis-(2-nitrobenzoic acid); Ellman's reagent)로부터 5-mercapto-2-nitrobenzoic acid(TNB)의 생성속도를 37°C에서 단위 시간당 흡광도 변화(412 nm)를 측정하였다. DTNB액을 제외한 반응액을 37°C에서 5분간 전배양 시킨 후, DTNB액을 첨가하여 반응을 시작하였다. 글루타치온 함량은 표준품을 이용하여 검량선으로부터 산출하였으며, GSH는 총글루타치온으로부터 GSSG량을 빼어 산출하였다.

결과 및 고찰

식품으로부터 건강의 유지, 증진 및 회복을 달성하기 위하여, 만성 퇴행성질환의 예방과 치료에 관련된 연구가 증가하고 있다. 우리들이 흔히 먹는 채소라던가 곡물로부터 기능성 성분이 높은 물질을 탐색하고, 그것들을 기능성 식품(신선식품과 가공식품)으로서 이용하는 것은 농산물의 효율적인 활용과 건강 증진에 기여하는 면에서 의미가 크다고 생각한다. 그러므로, 항산화, 항암, 그리고 항지질산화에 효과가 있다고 보고된 글루타치온의 함량을 40여종의 유식물체, 채소, 그리고 가공식품을 이용하여 조사하였다.

유식물체 중 글루타치온 함량은, 0-120 µmol/100 g의 범위였으며, 샘플간 현저한 차이를 나타냈다(Table 1). 벼과의 보리와 콩과의 대두, 팥 및 강낭콩은 다른 작물에 비해 높은 글루타치온 함량을 나타냈다. 같은 벼과 식물 중에서도 중간에 있어서 커다란 차이를 보여 보리가 다른 벼과 작물보다 글루타치온 함량이 높았다. 또한 품종간에도 크게 차이를 보였으며, 보리 중에서도 진양(41.6 µmol/100 g)에서 가장 높은 글루타치온 함량을 나타냈다. 콩과 작물에 있어서도 글루타치온 함량은 중간에서 크게 다른 현상을 보였다. 콩과 식물은 다른 과 식물보다 비교적 높은 글루타치온 함량을 나타냈으며, 그 중에서도 강낭콩(119.86 µmol/

100 g)이 가장 높았다. 유채과에서도 비슷한 경향을 나타냈으며, 청경채(35.29 µmol/100 g)에서 글루타치온 함량이 높았다. 환원형 글루타치온/산화형 글루타치온 비율(GSH/GSSG)은 0.4(부추)에서 12.9(우엉)까지 폭넓게 분포하였다. 이러한 차이는 본 실험에서는 동일 조건에서 배양하였으나, 각 식물의 생육조건이 다르기 때문에 온실의 생육환경에 따른 스트레스에 의해 생긴 것인지 아니면 식물 고유의 글루타치온 함량에 의한 것인지는 앞으로 검토가 필요하리라 생각된다.

시판 곡물과 채소의 글루타치온 함량을 측정하였다(Table 2). 5종류 곡물의 글루타치온 함량은 4-564 µmol/100 g dry weight (D.W.)였다. 콩과 3종류(대두, 팥, 그리고 강낭콩)는 벼과 곡물(4-7 µmol/100 g D.W.)보다 높은 글루타치온 함량을 나타냈으며, 특히, 팥(517.35 µmol/100 g D.W.)과 강낭콩(564.03 µmol/100 g D.W.)에서 높았다. 또한, 콩과의 풋콩(27.59 µmol/100 g)과 숙주나물(44.97 µmol/100 g)도 높게 나타났다. 콩과에는 글루타치온보다 호모글루타치온(gamma-L-glutamyl-L-cysteinyl-beta-alanine)이 많이 존재한다고 보고되었다(30,31). Klapheck(30)에 의하면, 대두에서 호모글루타치온은 뿌리에 있어서 유리 치올기(-SH)의 95% 이상, 잎과 종자에 있어서는 유리치올기의 99%를 구성하고 있다고 보고하였다. 또한, 호모글루타치온도 글루타치온과 동일한 역할을 가지고 있다고 보고하였다(32). 본 실험에서 측정한 것은 총글루타치온이지만, 측정된 총글루타치온의 대부분은 호모글루타치온일 것으로 생각된다. 유채과에서는 브로콜리와 청경채에서 높았고, 브로콜리(62.26 µmol/100 g)는 무(6.34 µmol/100 g)와 비교하여 10배 정도 높은 값을 나타냈다. 그 밖에도, 백합과의 아스파라거스(37.8 µmol/100 g), 가지과의 고추(27.8 µmol/100 g)에서 높았으며, 국화과 상추에서는 검출되지 않았다. 본 실험의 결과는 Mills 등(11)의 결과와 비교해 볼 때, 환원형 글루타치온의 함량 차이는 적었으나, 산화형 글루타치온량의 차이가 많이 났다. 총글루타치온에 대한 환원형 글루타치온의 비율은 0.54에서 1까지 분포하였다. 일반적으로 환원형 글루타치온의 총글루타치온에 대한 비율은 0.9 이상이라고 보고되었다(33). Foyer 등(33)의 보고와 차이가 있는 것은 유통 및 저장 중 환원형 글루타치온의 함량이 소실되었기 때문이라고 생각된다.

벼과 보리는 유식물체(41.6 µmol/100 g)와 곡물(7 µmol/100 g D.W.) 모두 다른 벼과 식물보다 높은 글루타치온 함량을 나타냈다. 이것은 보리의 식량자원으로서의 이용뿐만 아니라 유식물체의 이용성(예를 들어, 채소, 생즙 및 분말)이 높음을 시사하고 있다. 유채과의 경우 유식물체와 성체의 글루타치온 함량은 거의 나타나지 않았기 때문에, 글루타치온을 목적으로 이용할 경우 어린 묘일 때 수확하는 것이 이상적(재배기간의 단축 및 주년 재배 가능)이라고 여겨진다. 그러나, 개인에 의한 기호성이 다르기 때문에, 스프라우트(싹 채소) 및 성체시의 경제적·효율적인 이용시기 및 이용방법에 대한 연구가 강하게 요구된다. 유채과의 브로콜리 및 가지과의 고추의 경우, 유식물체보다 가식부(꽃 또는 열매)가 높은 글루타치온 함량을 나타내어 이용부위에 따라 글루타치온 함량의 차이가 있음을 나타내었다(11).

식물의 유식물체, 곡물, 및 채소를 이용한 실험결과 콩과 식물의 글루타치온 함량이 가장 높았기 때문에 콩을 이용한 가공식품의 글루타치온 함량을 측정하였다(Table 3). 측정결과, 고추장과 된장에서 글루타치온이 소량 검출되었으나, 미소(일본식 된장), 낫또(일본식 청국장), 그리고 간장에서는 검출되지 않았다. 가공식품에는 거의 함유되어 있지 않았지만, 예외적으로 고추장에서 소량 검출된 것은 가공시 첨가되는 다른 식물재료(고춧가루 또는 맥아 등) 때문이지 않을까 생각된다. 또한 가공이나 저장

Table 1. The levels of reduced and oxidized glutathione in seedling plants of various species

Family	Samples	Total GSH	GSH	GSSG	GSH/ GSSG
		μmole per 100 g fresh weight			
Gramineae	<i>Oryza sativa</i> cv. Koshihikari (paddy rice)	20.15±1.65	6.94±1.58	6.61±0.03	1.05
	<i>O. sativa</i> cv. Kiyohatamochi (upland rice)	22.42±0.99	6.24±0.34	8.09±0.29	0.77
	<i>Triticum aestivum</i> (<i>vulgare</i>) cv. Olmil (wheat)	25.68±0.84	10.10±0.44	7.79±0.17	1.30
	<i>Hordeum vulgare</i> cv. Jinyang (malting barley)	41.60±1.52	21.61±1.20	9.99±0.12	2.16
	<i>H. vulgare</i> cv. Olbori (barley)	32.16±1.08	13.44±0.90	9.36±0.25	1.44
	<i>H. vulgare</i> cv. Hinchalsalbori (naked barley)	32.52±1.00	14.06±0.78	9.23±0.05	1.52
	<i>Avena sativa</i> (oat)	20.69±0.23	6.18±0.40	7.26±0.16	0.85
	<i>Zea mays</i> cv. Habantan (maize)	2.43±0.25	1.45±0.18	0.49±0.05	2.96
	<i>Sorghum bicolor</i> cv. MairoSORUGO (indian millet)	2.80±0.10	1.89±0.05	0.45±0.01	4.15
	<i>Echinochloa oryzicola</i> Vasing (early water grass)	3.52±0.79	1.68±0.50	0.92±0.05	1.83
	<i>E. crus-galli</i> Beauv. var. <i>formosensis</i> Ohwi	2.35±0.26	1.09±0.18	0.63±0.03	1.73
Leguminosae	<i>Glycine max</i> cv. Enreidaizu (soybean)	76.25±1.62	36.37±0.44	19.94±0.46	1.82
	<i>Phaseolus angularis</i> (azuki bean)	55.85±1.48	34.86±0.50	10.49±0.43	3.32
	<i>P. vulgaris</i> cv. Mirunamame (kidney bean)	119.86±1.46	80.50±1.34	19.68±0.44	4.09
	<i>Pisum sativum</i> (pea)	38.19±0.76	21.84±0.39	8.17±0.20	2.67
Cruciferae	<i>Raphanus sativus</i> var. (young radish)	5.83±0.51	4.12±0.30	0.86±0.11	4.82
	<i>Brassica campestris</i> subsp. <i>napus</i> var. <i>pekinensis</i>	25.44±0.30	11.50±1.19	6.97±0.34	1.65
	<i>B. campestris</i> (komatsuna)	20.33±0.26	6.98±0.06	6.68±0.05	1.05
	<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i> (cabbage)	8.05±0.90	6.15±0.69	0.95±0.07	6.47
	<i>B. chinensis</i> (qing jin cai)	35.29±1.68	18.13±1.16	8.58±0.17	2.11
	<i>B. oleracea</i> (kale)	5.67±1.27	1.62±0.48	1.89±0.13	0.80
	<i>B. oleracea</i> var. <i>italica</i> (broccoli)	29.72±1.70	20.97±0.91	4.16±0.74	4.79
<i>B. oleracea</i> var. <i>botrytis</i> (cauliflower)	19.20±0.60	15.27±0.36	1.97±0.04	7.77	
Compositae	<i>Chrysanthemum coronarium</i> (crown daisy)	2.00±0.21	1.23±0.19	0.39±0.01	3.19
	<i>Lactuca sativa</i> cv. Regatsu (lettuce)	1.25±0.16	0.65±0.14	0.30±0.01	2.17
	<i>L. sativa</i> cv. Cheongchima (leaf lettuce)	1.72±0.18	1.00±0.18	0.36±0.00	2.78
	<i>Arctium lappa</i> (burdock)	7.08±1.74	6.13±1.28	0.48±0.09	12.91
Liliaceae	<i>Allium tuberosum</i> (leek)	16.36±0.47	2.66±0.34	6.85±0.04	0.39
	<i>A. fistulosum</i> (welsh onion)	4.75±0.60	3.17±0.51	0.79±0.03	4.01
Labiatae	<i>Perilla ocymoides</i> (perilla)	0.87±0.30	0.42±0.18	0.23±0.02	1.87
	<i>P. frutescens</i> (perilla)	1.05±0.07	0.48±0.03	0.29±0.02	1.68
Malvaceae	<i>Malva verticillata</i> (marsh mallow)	1.73±0.08	0.97±0.06	0.38±0.01	2.55
Polygonaceae	<i>Fagopyrum esculentum</i> (buckwheat)	11.74±0.64	9.58±0.46	1.08±0.04	8.87
Umbelliferae	<i>Cryptotaenia japonica</i> (mitsuba)	0.24±0.40	0.05±0.45	0.10±0.02	0.53
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i> (red pepper)	3.54±0.25	2.41±0.19	0.56±0.02	4.27
Chenopodiaceae	<i>Spinacia oleracea</i> (spinach)	19.45±1.71	5.21±1.34	7.12±0.06	0.73

Data were represented as the mean±SD of triplicate.

중에 글루타치온이 소실될 가능성도 시사된다. 된장이나 간장의 제조방법은 대부분 같기 때문에 사용되는 콩의 품종, 발효균, 제조기술 및 첨가물의 차이도 하나의 요인일 것으로 추측된다.

앞으로, 식물의 성장에 따른 글루타치온 함량의 변화 및 식물체의 글루타치온 함량을 증가시키는 방법에 대하여 새로운 연구를 필요로 한다. 또한, 다양한 식품 재료에 관하여 조사하고, 글루타치온의 식품에 있어서의 가치 및 기능에 관한 연구도 필요하리라 본다.

요 약

40종류 이상의 식물의 유식물체, 채소 그리고 가공식품의 글

루타치온과 그의 산화형 글루타치온(GSSG)함량을 측정하였다. 유식물체를 이용한 실험에서 총글루타치온 함량은, 100 g(생체중)당 0-120 μmol의 범위였으며, 같은 과, 종 및 품종에 있어서도 현저한 차이를 나타내었다. 특히, 시판되고 있는 곡물과 채소를 이용한 실험에서는 콩과의 팥과 강낭콩에서 높은 글루타치온 함량을 나타내었다. 콩을 이용한 가공식품(고추장, 된장, 간장 등)에서는 글루타치온 함량이 거의 검출되지 않았다. 식품에 있어서 고농도의 글루타치온은 식품의 높은 부가가치가 되리라 생각된다.

Table 2. The levels of reduced and oxidized glutathione derived from different plant foodstuffs

Family	Samples	Total GSH	GSH	GSSG	GSH/(GSH +GSSG)
		μmole per 100 g dry weight			
Gramineae	<i>O. sativa</i> cv. Koshihikari (rice): Cereal	4.07±0.52	3.85±.30	0.11±0.19	0.95
	<i>H. vulgare</i> L. (barley): Cereal	7.92±0.76	6.16±0.63	0.88±0.06	0.78
Leguminosae	<i>G. max</i> L. (soybean): Cereal	106.38±1.53	66.30±1.53	20.04±0.00	0.62
	<i>P. angularis</i> L. (azuki bean): Cereal	517.35±1.94	409.78±1.75	53.79±0.10	0.79
	<i>P. vulgaris</i> L. (kidney bean): Cereal	564.03±1.26	503.80±0.75	30.11±0.96	0.89
Family	Samples	Total GSH	GSH	GSSG	GSH/(GSH +GSSG)
		μmole per 100 g fresh weight			
Leguminosae	<i>G. max</i> L. (soybean): Bean sprouts	15.52±1.59	15.52±1.59	ND ¹⁾	1.00
	<i>P. radiatus</i> L. (mung bean): Bean sprouts	44.97±1.46	44.97±1.46	ND	1.00
	<i>P. sativum</i> L. (pea): Pods	11.76±1.08	11.11±0.11	0.33±0.50	0.94
	<i>G. max</i> L. (soybean): Pods	27.59±1.70	22.62±1.41	2.49±1.39	0.82
Cruciferae	<i>B. oleracea</i> var. <i>botrytis</i> (cauliflower)	20.64±0.86	12.58±1.27	4.03±0.23	0.61
	<i>B. oleracea</i> var. <i>italica</i> (broccoli)	62.26±1.53	34.83±2.25	13.71±1.45	0.56
	<i>B. chinensis</i> L. (qing jin cai)	39.75±1.10	21.47±0.68	9.14±0.88	0.54
	<i>B. campestris</i> subsp. <i>napus</i> var. <i>pekinensis</i>	17.91±0.40	12.58±0.23	2.66±0.28	0.70
	<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i> L. (cabbage)	16.60±1.74	11.35±1.07	2.62±0.34	0.68
	<i>R. sativus</i> var. (radish)	6.34±1.32	6.30±1.32	0.02±0.00	0.99
Liliaceae	<i>A. tuberosum</i> L. (leek)	7.83±0.32	7.83±0.32	ND	1.00
	<i>A. sativum</i> L. (garlic)	4.38±0.18	4.38±0.18	ND	1.00
	<i>A. cepa</i> L. (onion)	1.58±0.24	1.58±0.24	ND	1.00
	<i>A. officinalis</i> L. (asparagus)	37.80±1.77	35.94±0.69	0.93±1.21	0.95
Compositae	<i>L. sativa</i> cv. Regatsu (lettuce)	ND	ND	ND	
	<i>L. sativa</i> L. (leaf lettuce)	0.06±0.04	0.06±0.04	ND	1.00
	<i>A. lappa</i> L. (burdock)	0.11±0.04	0.11±0.04	ND	1.00
Zingiberaceae	<i>Z. officinale</i> ROSC (ginger)	5.71±0.66	5.71±0.66	ND	1.00
	<i>Z. mioga</i> L. (myoga)	5.46±0.67	5.22±0.61	0.12±0.03	0.96
Solanaceae	<i>S. tuberosum</i> L. (potato)	19.77±1.57	19.77±1.57	ND	1.00
	<i>C. annuum</i> L. (red pepper)	27.80±1.99	17.71±1.68	5.05±0.62	0.64
Chenopodiaceae	<i>S. oleracea</i> L. (spinach)	13.28±1.44	10.58±1.39	1.35±0.31	0.80
Umbelliferae	<i>D. carota</i> var. (carrot)	0.53±0.01	0.53±0.01	ND	1.00
Convolvulaceae	<i>I. batatas</i> Lam. var. <i>edulis</i> Makino (sweet potato)	0.40±0.15	0.40±0.15	ND	1.00
Malvaceae	<i>A. esculentus</i> L. (okra)	15.27±1.30	11.43±2.13	1.92±0.43	0.75

Data were represented as the mean±SD of triplicate. ¹⁾ND: not detected.

Table 3. The levels of reduced and oxidized glutathione of processed foods derived from soybean

Samples	Total glutathione	Reduced GSH	Oxidized GSSG
	μmole per 100 g fresh weight		
Gochujang	1.31±0.04	1.31±0.04	ND ¹⁾
Doenjang	0.20±0.03	0.20±0.03	ND
Miso	ND	ND	ND
Natto	ND	ND	ND
Soybean sauce	ND	ND	ND

Data were represented as the mean±SD of triplicate. ¹⁾ND: not detected

문헌

1. Cooper AJL. Glutathione in the brain: disorders of glutathione metabolism. pp. 1195-1230. In: The molecular and genetic basis of neurological disease. Rosenberg RN, Prusiner SB, DiMauro S, Barchi RL, Kunk LM. (eds.) Butterworth-Heinemann, Boston, MA, USA (1997)
2. Penninckx MJ, Elskens MT. Metabolism and functions of glutathione in micro-organisms. Adv. Microb. Physiol. 32: 239-240 (1993)
3. Higashi T, Tateishi N, Naruse A, Sakamoto Y. A novel physiological role of liver glutathione as reservoir of L-cysteine. J. Biochem. 82: 117-124 (1977)
4. Reed DJ, Beatty PW. Biosynthesis and regulation of glutathione:

- Toxicological implications. Vol. 2, pp. 213-241. In: Reviews in Biochemical Toxicology. Hodgson E, Bend JR, Philpot RM. (eds). Elsevier/North Holland, Inc., New York, NY, USA (1980)
5. Jakoby WB. The glutathione *S*-transferases: A group of multifunctional detoxification proteins. *Adv. Enzymol.* 46: 383-414 (1978)
 6. Dalton TP, Shertzer HG, Puga A. Regulation of gene expression by reactive oxygen. *Annu. Rev. Pharmacol.* 39: 67-101 (1999)
 7. Smirnova GV, Muzyka NG, Glukhovchenko MN, Oktyabrsky ON. Effects of menadione and hydrogen peroxide on glutathione status in growing *Escherichia coli*. *Free Radical Bio. Med.* 28: 1009-1016 (2000)
 8. Wang W, Ballatori N. Endogenous glutathione conjugates: Occurrence and biological functions. *Pharmacol. Rev.* 50: 335-356 (1998)
 9. Kakinuma M, Park CS, Amano H. Distribution of free L-cysteine and glutathione in seaweeds. *Fish. Sci.* 67: 194-196 (2001)
 10. Lee JE, Ahn YO, Kwon SY, Lee HS, Kim SW, Park IH, Kwak SS. Glutathione contents in various plant cell lines. *Korean J. Plant Tissue Culture* 27: 57-61 (2000)
 11. Mills BJ, Stinson CT, Liu MC, Lang CA. Glutathione and cyst(e)ine profiles of vegetables using high performance liquid chromatography with dual electrochemical detection. *J. Food Compos. Anal.* 10: 90-101 (1997)
 12. Wierzbicka GT, Hagen TM, Jones DP. Glutathione in food. *J. Food Compos. Anal.* 2: 327-337 (1989)
 13. Noctor G, Gomez L, Vanacker H, Foyer CH. Interactions between biosynthesis, compartmentation and transport in the control of glutathione homeostasis and signalling. *J. Exp. Bot.* 53: 1283-1304 (2002)
 14. Ogawa K. Glutathione-associated regulation of plant growth and stress responses. *Antioxid. Redox Sign.* 7: 973-981 (2005)
 15. Barabás KN, Szegletes Z, Pestenác A, Fülöp K, Erdei L. Effects of excess UV-B irradiation on the antioxidant defence mechanisms in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *J. Plant Physiol.* 153: 146-153 (1998)
 16. Shalata A, Mittova V, Volokita M, Guy M, Tal M. Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: The root antioxidant system. *Physiol. Plantarum* 112: 487-494 (2001)
 17. Wildi B, Lütz C. Antioxidant composition of selected high alpine plant species from different altitudes. *Plant Cell Environ.* 19: 138-146 (1996)
 18. Valls V, Peiro C, Muñoz P, Saez GT. Age-related changes in antioxidant status and oxidative damage to lipids and DNA in mitochondria of rat liver. *Process Biochem.* 40: 903-908 (2005)
 19. Castro B, Alonso-Varona A, del Olmo M, Bilbao P, Palomares T. Role of gamma-glutamyltranspeptidase on the response of poorly and moderately differentiated rhabdomyosarcoma cell lines to buthionine sulfoximine-induced inhibition of glutathione synthesis. *Anti-cancer Drugs* 13: 281-291 (2002)
 20. Tchaikovskaya T, Fraifeld V, Urphanishvili T, Andorfer JH, Davies P, Listowsky I. Glutathione *S*-transferase hGSTM3 and ageing-associated neurodegeneration: relationship to Alzheimer's disease. *Mech. Ageing Dev.* 126: 309-315 (2005)
 21. Sugihara N, Tsuruta Y, Furuno K. Effect of potassium sorbate on cellular GSH level and lipid peroxidation in cultured rat hepatocytes. *Biol. Pharm. Bull.* 21: 524-526 (1998)
 22. Steghens JP, Flourie F, Arab K, Collombel C. Fast liquid chromatography-mass spectrometry glutathione measurement in whole blood: Micromolar GSSG is a sample preparation artifact. *J. Chromatogr. B* 798: 343-349 (2003)
 23. Flagg EW, Coates RJ, Eley JW, Jones DP, Gunter EW, Byers TE, Block GS, Greenberg RS. Dietary glutathione intake in humans and the relationship between intake and plasma total glutathione level. *Nutr. Cancer* 21: 33-46 (1994)
 24. Flagg EW, Coates RJ, Jones DP, Byers TE, Greenberg RS, Gridley G, McLaughlin JK, Blot WJ, Haber M, Preston-Martin S, Schoenberg JB, Austin DF, Fraumeni Jr. JF. Dietary glutathione intake and the risk of oral and pharyngeal cancer. *Am. J. Epidemiol.* 139: 453-465 (1994)
 25. Lenzi A, Culasso F, Gandini L, Lombardo F, Dondero F. Placebo-controlled, double-blind, cross-over trial of glutathione therapy in male infertility. *Hum. Reprod.* 8: 1657-1662 (1993)
 26. Lenzi A, Picardo M, Gandini L, Lombardo F, Terminali O, Passi S, Dondero F. Glutathione treatment of dyspermia: Effect on the lipoperoxidation process. *Hum. Reprod.* 9: 2044-2050 (1994)
 27. Ceriello A, Giugliano D, Quattraro A, Lefebvre PJ. Anti-oxidants show an anti-hypertensive effect in diabetic and hypertensive subjects. *Clin. Sci.* 81: 739-742 (1991)
 28. Gronwald JW, Fuerst EP, Eberlein CV, Egli MA. Effect of herbicide antidotes on glutathione concentration and glutathione *S*-transferase activity of sorghum shoots. *Pestic. Biochem. Phys.* 29: 66-76 (1987)
 29. Ellman GL. Tissue sulfhydryl groups. *Arch. Biochem. Biophys.* 82: 70-77 (1959)
 30. Klapheck S. Homoglutathione: isolation, quantification and occurrence in legumes. *Physiol. Plant.* 74: 727-732 (1988)
 31. Tausz M, Pilch B, Rennenberg H, Grill D, Herschbach C. Root uptake, transport, and metabolism of externally applied glutathione in *Phaseolus vulgaris* seedlings. *J. Plant Physiol.* 161: 347-349 (2004)
 32. Bergmann L, Rennenberg H. Glutathione metabolism in plants. pp. 109-123. In: Sulphur Nutrition and Sulphur Assimilation in Higher Plants: Regulatory and Environmental Aspects. De Kok LJ, Stulen I, Rennenberg H, Brunold C, Rauser WE. (eds). SPB Academic Publishing, Hague, The Netherlands (1993)
 33. Foyer CH, Souriau N, Perret S, Lelandais M, Kunert KJ, Pruvost C, Jouanin L. Overexpression of glutathione reductase but not glutathione synthetase leads to increases in antioxidant capacity and resistance to photoinhibition in poplar trees. *Plant Physiol.* 109: 1047-1057 (1995)