

수분 스트레스가 벼의 성분에 미치는 영향

남경희 · 김창기*

한국생명공학연구원 바이오평가센터

Effects of water stress on chemical composition of rice grains

Kyong-Hee Nam, Chang-Gi Kim*

Bio-Evaluation Center, Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology, Cheongju 363-883, Korea

Received on 21 September 2014, revised on 5 November 2014, accepted on 5 November 2014

Abstract : Drought is one of the major abiotic constraints limiting quantity and quality of rice grain. In order to elucidate the effects of drought on chemical compositions of rice grain, seedlings were cultivated in a rainout shelter controlled with well-watered or water-deficit conditions. After harvesting, the key components including proximates, amino acids, fatty acids, minerals, and vitamins of rice grains were analyzed. Drought stress increased the amounts of methionine, phenylalanine, linoleic acid, linolenic acid, calcium, potassium, vitamin B₁, and vitamin E in rice grains, whereas it decreased the contents of lignoceric acid. Particularly, drought stress caused a marked increase in vitamin E content. These results indicate drought significantly influence the chemical compositions of rice grains.

Key words : Composition, Drought, Rainout shelter, Rice

I. 서론

쌀은 전 세계 인구의 절반 이상이 주식으로 사용하는 세계 3대 곡물 중 하나이며, 우리나라의 경우 전체 식품 에너지 공급량의 약 27%를 차지하고 있는 주요 식량자원이다 (FAOSTAT, 2012; KREI, 2012). 쌀의 구성성분은 탄수화물이 70% 이상으로 대부분을 차지하고 있으며, 그 외 단백질과 지방, 소량의 비타민과 무기질, 식이섬유 등이 함유되어 있다. 쌀의 영양성분에 대한 분석은 영양적 가치와 품질 확인뿐 아니라 식품의 안정성 확보에서도 중요하다.

가뭄은 쌀의 생산량과 품질을 감소시키는 중요한 환경요인이다. 세계 인구증가와 기후변화에 따른 농업용수의 고갈은 특히 개발도상국의 쌀 생산성을 감소시키고 있다. 이러한 가뭄의 영향은 가뭄이 발생하는 시기와 강도에 따라 다르게 나타나며, 그 중 개화기에 일어난 가뭄은 벼의 수량을 크게 떨어뜨리는 것으로 조사되었다(Pantuwan et al., 2002). 뿐만 아니라, 가뭄은 쌀의 영양성분에도 영향을 미

친다. 최근 Nam 등(2014)에 의하면 가뭄 환경에서 쌀은 조단백질과 아미노산, 지방산, 무기질 등의 함량이 변화하며, 가뭄에 대한 저항성이 있는 벼는 일반 벼와 비교하여 가뭄환경에서 구리와 칼륨의 함량이 증가하였다.

가뭄 환경에서 자란 벼의 생육 및 생리적 변화를 관찰하는 연구는 다수 보고되고 있으나(O'Toole and Cruz, 1980; Lafitte et al., 2007), 이들 벼의 영양성분의 변화에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 가뭄이 벼의 성분변화에 미치는 영향을 알아보고자 일반 환경과 가뭄 환경에서 자란 벼를 대상으로 일반성분 및 아미노산, 지방산, 무기질, 비타민의 조성을 비교 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 벼의 재배 및 가뭄스트레스 처리

실험에 사용된 일품벼는 충북농업기술원으로부터 분양 받았다. 2012년 6월에 종자를 소독한 뒤 육묘하였으며, 7월에 한국생명공학연구원 격리포장에 조성된 가뭄모의시

*Corresponding author: Tel: +82-43-240-6543

E-mail address: cgkim@kribb.re.kr

설 내에 손이양 하였다. 3 m × 1.8 m 크기의 실험구를 가뭄처리구와 적정관수처리구로 나누어 3반복 난괴법으로 배치하였으며, 각 실험구에 총 114주의 벼를 30 cm × 15 cm의 재식밀도로 하여 3주 1분씩 모내기하였고, 2012년 11월에 수확하였다. 논토양 적정 시비량(10 a)인 N : P : K = 4.6 : 5.4 : 5.2 kg을 기준으로 5월 19일에 밑거름을 시비하였으며, 분얼비는 10 a 당 N : P : K = 1 : 0.5 : 1 kg을 시비하였다. 잡초방제를 위한 제초제 사용은 하지 않았으며, 손제초로 관리하였다.

적정관수구와 가뭄처리구에 식물체를 정식한 후 2주간 관행농법에 의한 관수를 실시하였다. 벼의 분얼 시작을 기점으로 가뭄스트레스 처리구에 단수를 시작하였으며 적정관수구는 매일 30분간 점적관수 시스템을 이용하여 관수하였다. 가뭄처리구는 2012년 8월 8일부터 8월 16일까지 적정처리구와 같이 관수를 하였고, 8월 18일부터 다시 단수하였다. 적정관수구는 2012년 10월 9일에 최종적으로 관수를 중단하였다. 가뭄모의시설은 강우센서가 강우를 감지하게 되면 자동으로 천창과 측창이 닫히도록 설계되어 있으며, 콘크리트 저장조 안에 토양을 채워 넣은 뒤 식물을 재배하도록 되어 있어서 지하수 및 지표수의 유입 역시 차단할 수 있도록 되어 있다.

2. 성분 분석

수확한 벼는 도정하여 현미를 제조하였으며, 이를 분쇄기로 균질하게 분쇄하여 성분 분석용 시료로 사용하였다. 시료의 일반성분은 AOAC법에 따라 분석하였다. 즉, 수분은 상압 가열 건조법, 조단백질은 Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분은 직접 회화법으로 각각 분석하였다. 탄수화물은 100에서 조단백질, 조지방 및 회분의 함량을 뺀 값으로 구하였다. 아미노산 조성은 식품공전 방법에

따라 아미노산 자동분석기와 high performance liquid chromatography (HPLC)를 사용하여 분석하였다(MFDS, 2011). 지방산 조성은 AOAC법에 따라 시료의 지방을 추출한 후 Gas Chromatography (GC)로 분석하였다(AOAC official method 996.06, 2005). 무기질은 식품공전 방법에 따라 inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)와 UV/VIS spectrophotometer로 분석하였다(MFDS, 2011). 비타민 B군(B₁과 B₂)은 Martins-Junior 등(2008)의 방법에 따라 분석하였고, 비타민 E는 AOAC 방법(AOAC official method 992.03, 2006)에 따라 분석하였다.

통계처리는 Statistica (version 8.0, USA)를 사용하여 t-test를 실시하였으며, 5% 유의수준에서 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

일품 벼의 일반성분은 수분, 조단백질, 조지방, 조회분, 조섬유, 탄수화물 모두 적정처리구에서 수확한 것과 가뭄처리구에서 수확한 것 사이에 유의한 차이가 없었다(Table 1).

18종의 아미노산의 조성을 분석하여 전체적으로 보았을 때 glutamic acid의 함량이 가장 높게 나타났으며 그 다음이 aspartic acid, arginine, leucine 순으로 나타났다(Table 2). Methionine과 phenylalanine은 가뭄처리구에서 유의하게 높았다. Nam 등(2014) 역시 가뭄처리구에서 재배한 벼에서 phenylalanine 함량이 증가함을 보고한 바 있다. 나머지 16종의 아미노산의 함량은 가뭄처리에 따른 영향을 받지 않았다.

총 13종의 지방산이 분리되었으며, 가뭄처리에 관계없이 linoleic acid의 함량이 가장 높게 나타났으며 그 다음이 oleic acid, palmitic acid 순이었다(Table 3). 13종의 지방산 중 linoleic acid, linolenic acid 및 lignoceric acid는 가뭄

Table 1. Proximate compositions (% dry weight) for brown rice from Ilpum grown in well-watered and water-deficit systems. Data are means (n=3)±standard deviations. P-values are from Student's t-tests.

Component	Well-watered	Water-deficit	P-values
Moisture	8.86±0.15	8.87±0.22	0.934
Crude protein	8.73±0.59	9.18±0.24	0.287
Crude fat	2.45±0.43	2.48±0.78	0.956
Crude ash	1.77±0.12	1.80±0.07	0.755
Crude fibre	1.32±0.27	1.07±0.06	0.197
Carbohydrates	87.0±0.9	86.5±0.5	0.436

Table 2. Amino acid compositions (g/100 g) for brown rice from Ilpum grown in well-watered and water-deficit systems. Data are means (n=3)±standard deviations. P-values are from Student's t-tests.

Component	Well-watered	Water-deficit	P-values
Alanine	0.49±0.04	0.52±0.03	0.329
Arginine	0.74±0.06	0.72±0.06	0.699
Aspartic acid	0.80±0.07	0.85±0.03	0.267
Cysteine	0.07±0.00	0.09±0.01	0.096
Glutamic acid	1.47±0.13	1.58±0.07	0.273
Glycine	0.36±0.02	0.37±0.02	0.583
Histidine	0.19±0.03	0.22±0.01	0.140
Isoleucine	0.33±0.02	0.35±0.02	0.182
Leucine	0.69±0.05	0.74±0.04	0.227
Lysine	0.33±0.03	0.35±0.02	0.595
Methionine	0.16±0.00	0.18±0.01	0.037
Phenylalanine	0.41±0.04	0.49±0.02	0.044
Proline	0.36±0.02	0.40±0.05	0.341
Serine	0.41±0.04	0.44±0.02	0.385
Threonine	0.27±0.02	0.26±0.02	0.811
Tryptophan	0.11±0.03	0.10±0.00	0.608
Tyrosine	0.22±0.01	0.19±0.02	0.076
Valine	0.55±0.04	0.59±0.04	0.256

Table 3. Fatty acid compositions (% of total fatty acids) for brown rice from Ilpum grown in well-watered and water-deficit systems. Data are means (n=3)±standard deviations. P-values are from Student's t-tests.

Component	Well-watered	Water-deficit	P-values
12:0 Lauric	0.06±0.02	0.05±0.02	0.516
14:0 Myristic	0.97±0.05	0.85±0.06	0.072
16:0 Palmitic	22.8±1.5	21.3±0.4	0.186
16:1 Palmitoleic	0.13±0.01	0.08±0.07	0.308
18:0 Stearic	1.69±0.09	1.81±0.07	0.149
18:1 Oleic	29.4±0.9	29.5±0.2	0.950
18:2 Linoleic	41.1±0.5	42.5±0.3	0.014
18:3 Linolenic	1.81±0.07	1.94±0.02	0.033
20:0 Arachidic	0.46±0.04	0.50±0.02	0.230
20:1 Gadoleic	0.40±0.01	0.41±0.01	0.413
22:0 Behenic	0.28±0.01	0.26±0.01	0.077
24:0 Lignoceric	0.68±0.01	0.60±0.01	0.001
24:1 Nervonic	0.29±0.02	0.27±0.03	0.285

처리에 따른 통계적인 유의차를 나타내었다. Linoleic acid와 linolenic acid의 함량은 적정관수구에 비해 가뭄처리구에서 높게 나타났으며 lignoceric acid는 가뭄처리구에서 낮게 나타났다. 가뭄처리구에서 재배한 벼의 linoleic acid와 linolenic acid의 함량이 증가한 것은 Nam 등(2014)의 연구 결과와 일치하는 것이다.

칼슘, 마그네슘, 인, 칼륨, 구리, 철, 망간, 나트륨, 아연 등 총 9종의 무기질이 분석되었으며, 이 중 칼슘과 칼륨 함량이 적정관수구에 비해 가뭄처리구에서 유의하게 높게 나타났다(Table 4). 이는 가뭄 처리한 밀에서 칼륨 함량이 증가함을 보고한 Ashraf 등(1998)의 연구결과와 일치한다. 식물체에서 칼륨은 팽압을 유지하고 가뭄 조건에서 증

Table 4. Mineral compositions for brown rice from Ilpum grown in well-watered and water-deficit systems. Data are means (n=3)±standard deviations. P-values are from Student's t-tests.

Component	Well-watered	Water-deficit	P-values
Ca (mg/g)	0.10±0.00	0.13±0.01	0.002
Cu (µg/g)	2.47±0.35	4.33±1.72	0.139
Fe (µg/g)	16.5±7.0	18.3±5.7	0.748
K (mg/g)	3.26±0.04	3.72±0.27	0.042
Mg (mg/g)	1.50±0.11	1.66±0.13	0.176
Mn (µg/g)	41.9±4.0	44.8±6.7	0.561
Na (µg/g)	8.33±1.52	8.97±1.70	0.656
P (mg/g)	0.73±0.29	0.75±0.24	0.935
Zn (µg/g)	27.4±2.8	32.0±1.2	0.056

Table 5. Vitamin compositions (µg/g) for brown rice from Ilpum grown in well-watered and water-deficit systems. Data are means (n=3)±standard deviations. P-values are from Student's t-tests.

Component	Well-watered	Water-deficit	P-values
B1	2.10±0.30	3.07±0.06	0.005
B2	0.83±0.06	1.00±0.20	0.238
E	13.1±1.8	51.9±4.4	<0.001

산을 감소시키며, 칼슘 역시 가뭄 스트레스의 신호 전달 등 식물의 가뭄저항성과 밀접한 관련을 갖는다(Hu and Schmidhalter, 2005).

비타민 B₁과 비타민 E 함량은 적정관수구에 비해 가뭄처리구에서 유의하게 높게 나타났으며, 비타민 B₂ 함량은 가뭄처리의 영향을 받지 않았다(Table 5). 특히 비타민 E는 가뭄처리구에서 약 4배 이상 증가하였는데, 이는 농촌진흥청에서 제공하는 식품성분표의 14-18.2 µg/g 보다 더 높은 수치이다(RDA, 2011). Britz와 Kremer (2002)는 대두 종자의 α-tocopherol 함량이 가뭄에 의해 2-3배 증가하였으며, 일기와 기후 조건이 토코페롤의 농도 변화에 큰 영향을 미친다고 주장하였다. 비타민 E는 생체막을 보호해주는 항산화 물질로 가뭄에 의해 비타민 E의 함량이 증가된 것은 흥미로운 결과이다.

이상과 같이 일반 환경과 가뭄 환경에서 자란 일품벼의 일반성분 및 아미노산, 지방산, 무기질, 비타민의 조성을 비교한 결과 methionine과 phenylalanine, linoleic acid, linolenic acid 칼슘, 칼륨, 비타민 B₁, 비타민 E 함량은 가뭄에 의해서 증가한 반면, lignoceric acid 함량은 가뭄에 의해 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 중견연구자 지원사업(과제번호:20110028162)과 KRIBB 기관고유사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC. 2006. Official Methods of Analysis (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA.
- Ashraf MY, Ala SA, Bhatti AS. 1998. Nutritional imbalance in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes grown at soil water stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 20(3):307-310.
- Britz SJ, Kremer DF. 2002. Warm temperatures or drought during seed maturation increase free α-tocopherol in seeds of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(21):6058-6063.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2012. FAOSTAT Database. <http://faostat.fao.org/>.
- Hu Y, Schmidhalter U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168(4):541-549.
- Korea Rural Economic Institute (KREI). 2012. Food Balance Sheet. Seoul, Korea. (in Korean)

- Lafitte HR, Yongsheong G, Yan S, Li ZK. 2007. Whole plant response, key processes, and adaptation to drought stress: the case of rice. *Journal of Experimental Botany* 58(2): 169-175.
- Nam KH, Kim DY, Shin HJ, Nam KJ, An JH, Paek IS, Park JH, Jeong SC, Kim HB, Kim CG. 2014. Drought stress-induced compositional changes in tolerant transgenic rice and its wild type. *Food Chemistry* 153(1):145-150.
- Martins-Junior HA, Wang AY, Alabourda J, Pires MAF, Vega OB, Lebre DT. 2008. A validated method to quantify folic acid in wheat flour samples using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 19(5):971-977.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2011. Korean Food Code. Cheongwon, Korea. (in Korean)
- O'Toole JC, Cruz RT. 1980. Response of leaf water potential stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. *Plant Physiology* 65(3):428-432.
- Pantuwan G, Fukai S, Cooper M, Rajatasereekul S, O'Toole JC. 2002. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowlands. 2. Selection of drought resistant genotypes. *Field Crops Research* 73(2):169-180.
- RDA (Rural Development Administration). 2011. Food Composition Table, 8th ed. Suwon, Korea. (in Korean)