



ISSN 1229-8565 (print)

한국지역사회생활과학회지

Korean J Community Living Sci

<http://doi.org/10.7856/kjcls.2017.28.4.515>

ISSN 2287-5190 (on-line)

28(4): 515~524, 2017

28(4): 515~524, 2017

건조방법에 따른 적겨자잎의 이화학적 성분 및 항산화효과 비교

이 주 민[†]

조선대학교 식품영양학과

Physicochemical Characteristics and Antioxidant Effects of Red Mustard (*Brassica juncea* L.) Leaf Using Different Drying Methods

Joomin Lee[†]

Dept. of Food and Nutrition, Chosun University, Gwangju, Korea

ABSTRACT

This research investigated the physicochemical properties and antioxidant activities of hot air-dried red mustard (*Brassica juncea* L.) leaf (HR) and freeze-dried red mustard leaf (FR). Crude protein content was highest in FR, and crude fat and carbohydrate contents were highest in HR. However, moisture and crude ash contents were not significantly different between the two drying methods. Total free sugars were higher in HR compared with FR. Sucrose, fructose, and glucose were the major free sugars in both HR and FR. Contents of essential and non-essential amino acids were higher in HR compared with FR. The major organic acid of FR was malic acid, and the major organic acid of HR was malic acid. The contents of saturated and unsaturated fatty acids were higher in HR than in FR. Total mineral contents were higher in FR (10,187.22 mg%) compared with HR (9,815.80 mg%). Major minerals were K, Ca, and Na in the two drying methods. The contents of vitamins C and E in HR were higher than those in FR. Total polyphenol contents showed no significant difference between the two methods. However, total flavonoid contents in HR were higher than in FR. The IC₅₀ values of FR and HR in ABTS assay were 0.89 mg/mL and 0.65 mg/mL, respectively. The results of all experiments suggest that HR and FR can be natural candidates as a rich source of antioxidants for further chemical investigation.

Key words: *Brassica juncea* L, physiological activities, drying method, antioxidant activity

I. 서론

우리나라는 최근 노년인구의 증가와 생활수준의 향상으로 인해 건강한 삶의 유지와 바른 먹거리에 대한

관심이 증가하고 있다. 우리나라의 식문화는 점차 건강식 위주의 식생활로 바뀌고 있으며, 이 중 채소류는 현대인의 건강문제를 일으키는 만성질환의 예방과 치료를 위한 기능성식품으로 주목받고 있다. 한식은 그

This research was supported by grants from National Research Foundation of Korea(NRF-2017R1C1B1007646)

Received: 14 August, 2017 Revised: 21 September, 2017 Accepted: 26 October, 2017

[†]Corresponding Author: Joomin Lee Tel: +82-62-230-7722 E-mail: joominlee@chosun.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기분을 채식에 두고 있으며, 외국과 달리 신선한 채소 그 자체나, 삶아 데쳐낸 형태로 씹을 싸 먹는 식습관이 발달되어 상추, 청경채 등의 씹 채소의 재배가 많고, 엽채류가 많이 이용되고 있어 그 소비량이 많다 (Francis et al, 2012). 또한, 엽채류는 다른 식품에 비해 칼로리는 낮으면서 건강유지에 필요한 중요한 영양소를 많이 포함하고 있어 이에 대한 영양학적 관심이 높아지고 있다(Lee et al, 2016).

십자화과 채소는 항암효과, 당뇨병 및 심혈관계질환의 위험률을 낮춰줄 뿐만 아니라, 강력한 항산화작용을 하는 것으로 알려져 있다(Verhoeven et al. 1996; Deng et al. 2012). 이러한 건강에 이로운 작용은 십자화과 채소에 함유된 여러 가지 영양성분 때문이라 여겨지고 있으며, 특히 십자화과에 많이 존재하는 유황합유 배당체인 glucosinolate는 식품의 조리나 가공 시 조직이 파괴됨에 따라 가수분해 효소인 myrosinase의 작용을 받아 isothiocyanate, nitrile, thiocyanate, indole-3-carbinol, sulforaphane, butenyl isothiocyanate 및 allyl isothiocyanate로 전환되며 항균성, 항암 등의 다양한 생리활성 작용을 한다고 알려져 있다(Heaney & Fenwick 1980; Lund et al. 2001).

겨자채는 쌍떡잎식물로 십자화과(*Brassica juncea*)에 속하며, 청겨자와 적겨자로 구분되어지고 쌈채소의 대표 작물 중에 하나로 재배되고 있다(Lee et al. 2016). 최근 겨자를 이용한 연구로는 김치나 된장 등에 첨가 후의 품질향상 효과(Lim & Song 2010; Pak & Sohn 2013) 등으로, 적겨자 및 이를 이용한 식품학적 소재로서의 연구가 부족하여 많은 연구가 필요한 실정이다. 또한 적겨자의 건조방법에 따른 영양성분 및 생리활성물질에 대한 연구도 미비하여 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다. 따라서 계절의 제약을 받지 않으며 적겨자의 식품소재로서의 이용가치를 높이기 위해 적절한 건조방법의 모색이 필요하다고 여겨진다. 이에 따라 본 연구는 적겨자잎을 열풍건조 및 동결건조하여 이화학적 성분 및 항산화 효과를 비교, 분석하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 적겨자잎은 2016년 7월 광주원에 농협에서 구입하여 사용하였다. 적겨자잎을 세척하여 물기를 제거한 후 실온에서 1차 건조하였고, 동결건조 및 열풍건조로 나누어 2차 건조하였다. 동결건조는 -70°C deep freezer에서 시료를 냉동시킨 후, 동결건조기(ED 8512, Ilshin, Yangju, Korea)를 이용하여 120시간 건조시켰다. 열풍건조는 농산물 열풍건조기(GNO12, Hanil GNCO, Jangseong, Korea)를 이용하여 60°C 에서 48시간 건조하였다. 각각 2차 건조된 시료는 분쇄기(HR1378, Philips, Karner, Slovenia)를 이용하여 100 mesh로 마쇄한 후 분말상태인 적겨자잎을 -70°C deep freezer(MDFU52V, Sanyo, Osaka, Japan)에 보관하여 사용하였다.

2. 시료추출

적겨자잎 100 g에 80% 에탄올을 첨가한 후, 환류냉각관을 부착한 65°C 의 heating mantle(Mtops ms-265, Seoul, Korea)에서 3시간씩 3회 추출하였다. 추출한 적겨자잎 추출액은 Whatman filter paper(Whatman No.2)를 이용하여 여과하였다. 여액을 40°C 수욕 상에서 rotary vacuum evaporator(EYELA VACUUM NVC-1100, Tokyo, Japan)로 용매를 제거하고 감압·농축한 다음 동결 건조시켰으며, 시료의 산화 방지를 위해 -70°C 에 냉동 보관하면서 본 실험에 사용하였다.

3. 일반성분 분석

건조된 적겨자잎 분말의 일반성분은 Association of Official Analytical Chemists(A.O.A.C.) 방법(2005)에 따라 실시하였다. 수분함량은 105°C 상압건조법, 조지방은 Soxhlet법, 조회분은 550°C 회화법으로 분석하였다. 조단백질은 원소분석기를 이용하여 전질소량을 정량하고 질소계수 6.25를 곱하여 분석하였으며, 탄수화물은 100에서 수분, 조단백질, 조지방, 조회분의 값을

제한 값으로 하였다.

4. 지방산 분석

지방산 분석은 Wungaarden의 방법(1967)에 따라 시행하였고, 시료의 전처리는 다음과 같다. 시료 5 g을 chloroform-methanol로 추출·여과한 후 감압·농축시킨 지방질 약 100 mg에 1N-KOH·ethanol 용액 4 mL를 가하여 유지방올이 없어질 때까지 교반시켰다. 14% BF₃-Methanol 5 mL를 가하고 환류냉각기를 연결하여 80℃에서 5분 동안 가열하여 메칠화 하였다. 그 후, NaCl 포화용액 3 mL와 hexane 1 mL를 가하여 시험관에 옮겨 정치하였고 상층을 분취하여 무수 Na₂SO₄ 용액을 넣어 수분을 제거하여 gas chromatography (GC-10A, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 분석하였다.

5. 유기산 분석

시료 0.5 g을 취하여 삼각플라스크에 넣어 증류수 20 mL를 가한 후, 80℃로 맞춘 water bath에서 4시간 교반·추출하였다. 추출한 용액을 whatman membrane filter(0.45 μm)로 여과한 후 30 mL 정용하여 Ion Chromatography(DX-600, Dionex, Sunnyvale, CA, USA)로 분석하였다.

6. 비타민 분석

비타민 A, C, E의 분석은 식품공전법(Korea Food and Drug Association 2005)의 방법에 따라 시행되었다. 비타민 A와 E의 분석은 시료 4 g과 ascorbic acid 0.1 g에 ethanol 30 mL를 넣어 균질화 한 후 80℃에서 20분간 추출하였다. 그리고 50% KOH 0.25 mL를 첨가한 후 증류수 3 mL와 hexane 5 mL를 가하여 3000 rpm에서 20분간 원심분리 하였다. 상정액에 hexane 5 mL를 가하고 균질화한 후 80℃에서 20분간 추출하여 다시 원심분리 하였다. 상정액과 무수 Na₂SO₄을 첨가하여 탈수시키고 50℃에서 감압 농축하여 methanol로 용해시킨 후 membrane filter(0.45 μm)로 여과하여 HPLC (LC-10 AVP, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 분석하였다. 비타민

C의 분석은 시료 0.2 g에 10% HPO₃ 용액 10 mL를 가하여 추출한 후 3000 rpm에서 20분 동안 원심분리시킨 후, 다시 10% HPO₃ 용액 5 mL를 첨가하여 추출한 후 다시 원심분리하고 상등액을 합하여 membrane filter (0.20 μm)로 여과하여 HPLC(LC-10Avp, Shimadzu, Tyoko, Japan)로 분석하였다.

7. 구성 아미노산 분석

분해관에서 시료 0.5 g을 건조시켜 6N HCl 3 mL를 취하고 탈기하여 121℃에서 24시간 동안 가수분해한 후 여액을 rotary vacuum evaporator(EYELA VACUUM NVC 1100, Tokyo, Japan)로 감압·농축시켰다. Sodium phosphate buffer(pH 7.0) 10 mL로 정용하여 용액 1 mL를 취해 membrane filter(0.2 μm)로 여과하였다. 여과한 용액을 아미노산자동분석기(Biochrom20, Pharmacia, Cambridge, England)로 정량 분석하였다.

8. 무기질 분석

무기질 분석은 A.O.A.C. 방법(2005)에 따라 실시하였다. 시료 0.5 g, 20% HNO₃ 10 mL와 60% HClO₄ 3 mL를 취하여 투명해질 때까지 가열하여 0.5 M HNO₃로 정용하였다. 분석항목별 표준용액으로 혼합하고 vial병에 8 mL씩 취하여 표준용액으로 하였고 0.5 M HNO₃를 대조군으로 하여 유도결합플라즈마 분광분석기(ICP-OES, PerkinElmer, Norwalk, USA)으로 분석하였다.

9. 총 polyphenol 함량

적거자잎 에탄올 추출물의 총 polyphenol 함량은 Folin-Denis법(1912)에 따라 측정하였다. 적거자잎 추출물과 Folin reagent를 각각 0.5 mL씩 담아 실온에서 3분간 정치한 다음 10% Na₂CO₃ 0.8 mL을 첨가한 후 40분간 정치하였으며, UV-spectrophotometer(Biorad, Hercules, CA, USA)를 사용하여 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 tannic acid를 이용한 표준검량곡선을 적용하여 시료 중의 총 polyphenol 함량을 구했다.

10. 총 flavonoid 함량

총 flavonoid 함량은 Davis법을 변형한 Chae et al. (2002)에 따라 측정하였다. 적겨자잎 추출물과 diethylene glycol을 각각 0.5 mL를 첨가한 다음, 1 N NaOH 10 μ L을 넣고 37°C water bath에서 1시간 동안 반응시킨 후 UV-spectrophotometer(Bio-rad, Hercules, CA, USA)로 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 rutin을 이용한 표준검량곡선을 적용하여 시료중의 flavonoid 함량을 구했다.

11. ABTS+ 라디칼 소거능 측정

2,2'-Azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) radical 소거능은 Re et al. (1999)의 방법을 변형하여 다음과 같이 측정하였다. 7 mM ABTS와 2.4 mM potassium persulfate를 혼합하여 암소에서 24시간 방치하여 라디칼의 생성을 유도한 후, 734 nm에서 흡광도 값이 0.7~1.0 정도가 되도록 희석하여 사용하였다. 희석한 ABTS+ 라디칼 용액 100 μ L와 적겨자잎 추출물 100 μ L을 혼합하여 실온에서 7분간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도를 측정하였다.

12. 통계처리

모든 실험은 독립적으로 3회 반복을 통해 얻었으며, 본 실험의 통계처리는 GraphPad Prism 5 program (GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA, USA)을 이용하여 통계적 유의성 검정은 $p < 0.05$ 수준일 때를 기준으로 하였다. 각 시료간의 통계적 유의성은 Student *t*-test를 이용하여 유의성을 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 일반성분 분석

동결건조 및 열풍건조에 따른 적겨자잎의 일반성분 분석은 Table 1과 같다. 동결건조한 적겨자잎의 수분 함량은 4.23%, 조회분 20.66%, 조단백질 43.09%, 조지방

3.25%, 탄수화물 27.00%을 함유하고 있었다. 열풍건조한 적겨자잎의 수분 함량은 4.19%, 조회분 21.30%, 조단백질 37.06%, 조지방 3.57%, 탄수화물 31.78%이었다. 동결건조한 적겨자잎의 조단백질은 열풍건조한 적겨자잎에 비하여 유의적으로 높았고, 조지방과 탄수화물은 동결건조에 비해 열풍건조에서 유의적으로 높은 것으로 나타났다. 십자화과에 속하는 브로콜리 싹을 동결건조하여 분석한 연구와 비교해 보면, 조단백질 22.04%, 조지방 12.80%, 조회분 6.25% 및 탄수화물 56.87%로(Lee et al. 2009), 탄수화물과 조지방을 제외한 조단백질, 조회분이 동결건조한 적겨자잎에서 높게 나타났다. 적겨자잎의 일반 성분을 열풍건조한 십자화과 (청경채, 적채, 겨자잎, 싹케일, 곱슬케일 등)와 비교하였을 경우, 조단백질은 평균 27.08%, 조회분 17.35%, 조지방은 9.05%(Kim et al. 2004)로, 적겨자잎에 비해 조지방은 높았으나, 조회분과 조단백은 낮은 것으로 나타나, 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎이 다른 십자화과 채소와 비교하여 무기질이 풍부한 자원임을 확인할 수 있었다.

Table 1. Proximate compositions of *Brassica juncea* L. treated with freeze dried or hot air dried methods

Composition	(% dry basis)	
	Freeze drying	Hot air drying
Moisture	4.23 \pm 0.20	4.19 \pm 0.04
Crude ash	20.66 \pm 0.17	21.30 \pm 0.43
Crude protein	43.09 \pm 0.86*	37.06 \pm 1.60
Crude fat	3.25 \pm 0.01*	3.57 \pm 0.16
Carbohydrate	27.00 \pm 1.55*	31.78 \pm 0.68

All values are expressed as the mean \pm SD of triplicate determinations.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.001$; Significantly different by Student's *t*-test between freeze drying and hot air drying method

2. 유리당

동결건조 및 열풍건조에 따른 적겨자잎의 유리당 분석은 Table 2와 같다. 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎에서 분석 가능한 유리당은 sucrose, mannose,

fructose, galactose, xylose, glucose로 총 6가지였다. 적겨자잎의 동결건조 및 열풍건조법에 의한 총 유리당 함량은 각각 445.48 mg/100g과 657.43 mg/100g으로 열풍건조에 의한 유리당 함량이 더 높았다. 동결건조와 열풍건조에 따른 적겨자잎의 주요 유리당은 sucrose, fructose, glucose였으며, 이중 동결건조한 적겨자잎에서는 glucose 함량이 168.54 mg/100g로 가장 높았고, 열풍건조한 적겨자잎에서는 sucrose 함량이 532.49 mg/100g로 가장 높게 나타났다. 무순과 유채 싹의 경우는 fructose, glucose, sucrose 3가지만 검출되었다고 보고 하였으며(Kim et al. 1988; Han et al. 2003) 본 연구와는 다소 차이가 있었다. Sucrose, mannose 함량은 동결건조에 비해 열풍건조한 적겨자잎에서 유의적으로 높은 함량을 보였으며, fructose, galactose, xylose, glucose 함량은 열풍건조에 비해 동결건조한 적겨자잎에서 유의적으로 높게 나타났다. 본 연구 결과, 건조법에 따른 각 유리당의 성분의 차이는 건조과정에서 가해진 열에 의해 당 분해의 차이에서 비롯된 것으로 사료된다. 또한 적겨자잎의 총 유리당 함량은 동결건조법에 비해 열풍건조법에서 높게 나타나, 열풍건조에 의한 적겨자잎의 유용한 영양소의 파괴를 최소화하기에 적합할 것으로 사료된다.

Table 2. Contents of free sugar in freeze and hot air dried *Brassica juncea* L.

	(mg/100g)	
Free sugar	Freeze drying	Hot air drying
Sucrose	128.27 ± 2.41**	532.49 ± 7.94
Mannose	0.49 ± 0.02**	3.68 ± 0.07
Fructose	142.73 ± 2.43**	68.70 ± 1.47
Galactose	3.80 ± 0.04**	3.01 ± 0.09
Xylose	1.65 ± 0.06*	1.50 ± 0.02
Glucose	168.54 ± 2.03**	48.05 ± 2.50
Total	445.84	657.43

All values are expressed as the mean ± SD of triplicate determinations.

*p<0.05, **p<0.001; Significantly different by Student's t-test between freeze drying and hot air drying method

3. 구성 아미노산 분석

동결건조 및 열풍건조에 따른 적겨자잎의 구성아미노산 함량 분석은 Table 3과 같다. 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎 모두에서 필수아미노산 8종과 비필수아미노산 9종을 포함하여 총 17종의 아미노산이 검출되었다. 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎의 필수아미노산 총 함량은 각각 6123.27 mg/100g과 8317.47 mg/100g이었다. 동결건조한 적겨자잎의 필수아미노산으로는 leucine, valine, lysine 순으로 많이 검출되었으며, 열풍건조의 경우는 valine, leucine, phenylalanine 순으

Table 3. Contents of free amino acids in freeze and hot air dried *Brassica juncea* L.

	(mg/100g)	
Amino acid	Freeze drying	Hot air drying
Essential		
Threonine	45.55 ± 2.89**	854.30 ± 14.23
Valine	1161.39 ± 6.75**	1603.46 ± 19.39
Methionine	29.15 ± 0.95**	81.21 ± 3.00
Isoleucine	810.45 ± 9.89**	966.35 ± 10.52
Leucine	1473.86 ± 18.49	1504.58 ± 27.05
Phenylalanine	947.34 ± 15.14**	1440.50 ± 13.93
Histidine	552.15 ± 10.02**	971.56 ± 12.15
Lysine	1103.38 ± 19.83*	895.51 ± 4.70
Total EAA ¹⁾	6123.27	8317.47
Non-essential		
Aspartic acid	1637.10 ± 32.08**	2558.27 ± 55.52
Serine	369.05 ± 17.28**	1143.49 ± 13.73
Glutamic acid	2841.04 ± 13.60**	6151.77 ± 54.29
Proline	1502.42 ± 35.00**	1904.21 ± 18.28
Glycine	756.80 ± 7.42**	843.33 ± 8.55
Alanine	975.84 ± 27.38**	1265.56 ± 12.70
Cystine	53.82 ± 1.89**	68.70 ± 1.39
Tyrosine	214.69 ± 5.29**	347.56 ± 20.19
Arginine	895.51 ± 4.70**	1520.89 ± 30.04
Total AA ²⁾	9246.27	15803.78
EAA/AA(%)	66.22	52.63

¹⁾Total EAA: Total essential amino acids

²⁾Total AA: Total amino acids

All values are expressed as the mean ± SD of triplicate determinations.

*p<0.05, **p<0.001; Significantly different by Student's t-test between freeze drying and hot air drying method

로 높은 함량을 보였다. 또한, 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎의 비필수아미노산의 총 함량은 각각 9246.27 mg/100g과 15803.78 mg/100g을 나타내었다. 비필수 아미노산 중에는 glutamic acid의 함량이 동결건조 및 열풍건조 적겨자잎에서 가장 높았으며, 동결건조한 적겨자잎은 aspartic acid, alanine 순으로, 열풍건조의 경우 aspartic acid, proline 순으로 높은 함량을 보였다. 동결건조한 적겨자잎에 비해 열풍건조한 적겨자잎의 구성 아미노산 함량이 lysine을 제외하고 모두 유의적으로 높음을 확인하였다. 전체 아미노산에 대한 필수 아미노산 함량 비율이 동결건조한 적겨자잎의 경우는 66.22%, 열풍건조한 적겨자잎은 52.63%로 나타나 영양학적으로 우수함을 보여주었다. 갓김치의 구성 아미노산을 분석한 결과, 필수아미노산인 leucine, valine, lysine과 비필수아미노산인 glutamic acid, aspartic acid, alanine 순으로 많이 검출되어 본 연구결과와 유사함을 보였다(Jang et al. 2016). 십자화과에 속하는 배추의 경우, 구성 아미노산 중에서 비필수 아미노산인 glutamic acid의 함량이 가장 높게 나타나(Seon et al. 2016), 본 연구결과와 유사함을 보여주었다.

4. 유기산 함량 분석

동결건조 및 열풍건조에 따른 적겨자잎의 유기산 함량은 Table 4와 같다. 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎 모두 citric acid, malic acid, succinic acid, formic acid, acetic acid의 총 5가지 유기산이 검출되었다. 총 유기산의 함량은 동결건조한 적겨자잎이 191.47 mg/100g, 열풍건조한 적겨자잎이 329.24 mg/100g이었다. 동결건조에서 검출된 주요 유기산은 citric acid 102.17 mg/100g, malic acid 81.43 mg/100g 이었으며, succinic acid, formic acid, acetic acid 순으로 소량 검출되었다. 이는 Seon et al.(2016)의 동결건조법에 의한 결구배추의 유기산 함량 결과와 유사하였다. 적겨자잎의 열풍건조에 의해 검출된 유기산은 malic acid 168.37 mg/100g, citric acid 132.76 mg/100g, succinic acid 22.06 mg/100g 순으로 나타났다. 본 연구에서는 동결건조에 비해 열풍건조한 적겨자잎에서 모든 유기

산 함량이 유의적으로 높게 나타났으며, 이러한 차이는 열처리한 당이 유기산으로 분해되면서 그로인해 함량이 높게 나타난 것 (Aida et al. 2007)으로 사료된다.

Table 4. Contents of organic acids in freeze and hot air dried *Brassica juncea* L.

Organic acids	(mg/100g)	
	Freeze drying	Hot air drying
Citric acid	102.17 ± 1.48**	132.76 ± 2.64
Malic acid	81.43 ± 2.74**	168.37 ± 2.77
Succinic acid	4.03 ± 0.43**	22.06 ± 2.22
Formic acid	3.20 ± 0.06*	4.53 ± 0.27
Acetic acid	0.64 ± 0.07**	1.52 ± 0.12
Total	191.47	329.24

All values are expressed as the mean ± SD of triplicate determinations.

*p<0.05, **p<0.001; Significantly different by Student's t-test between freeze drying and hot air drying method

5. 지방산 분석

동결건조 및 열풍건조에 따른 적겨자잎의 지방산 분석은 Table 5와 같다. 동결건조와 열풍건조법에 따른 적겨자잎 모두에서 포화지방산 13종, 단일불포화지방산 3종, 다가불포화지방산 3종을 포함하여 총 19종의 지방산이 검출되었다. 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎의 포화지방산은 palmitic acid, heneicosanoic acid, stearic acid 순으로 많이 검출되었다. 또한, heptadecanoic acid, behenic acid, tricosanoic acid, lignoceric acid는 동결건조에 비해 열풍건조한 적겨자잎에서 유의적으로 높은 함량을 나타내었다. 단일불포화지방산의 함량은 palmitoleic acid, oleic acid, nervonic acid가 동결건조에 비해 열풍건조한 적겨자잎에서 유의적으로 높은 함량을 나타내었다. 다가불포화지방산 함량은 동결건조와 열풍건조한 적겨자잎에서 모두 γ -linolenic acid, linoleic acid, linolenic acid 순으로 검출되었고, 이 중 linoleic acid의 함량이 동결건조에 비해 열풍건조한 적겨자잎에서 유의적으로 높은 함량을 보였다. Bhandari et al.(2015)의 연구에 의하면, 브로콜리 및 콜리플라워의 지방산 조성은 palmitic acid, linoleic

acid, linolenic acids 순으로 많이 검출되었고, 단일불포화지방산과 다가불포화지방산의 정도가 3.34~4.67% 또는 47.90~65.89%를 포함하고 있다고 나타나 본 연구결과와 유사성을 보여주었다. 유채박의 지방산 함량은 본 연구결과와 함량의 차이를 보였으나, palmitic acid(3.1%), oleic acid (36.7%), linoleic acid (16.2%) 등이 검출 되었다고 보고하였다(Kim et al. 2013). 본 연구결과, 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎 모두에서 총 지방산의 비율 중 불포화지방산의 비율이 50% 정도를 차지해, 건조법에 상관없이 적겨자잎이 영양학적으로 우수함을 보여주었다고 할 수 있겠다.

Table 5. Contents of free acids in freeze and hot air dried *Brassica juncea* L.

Free acids	(% total fatty acids)	
	Freeze drying	Hot air drying
Caproic acid (C6:0)	0.98 ± 0.04**	0.61 ± 0.05
Caprylic acid (C8:0)	0.35 ± 0.01	0.35 ± 0.02
Luric acid (C12:0)	0.36 ± 0.01	0.35 ± 0.01
Myristic acid (C14:0)	1.42 ± 0.07*	1.21 ± 0.08
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.19 ± 0.01	0.18 ± 0.01
Palmitic acid (C16:0)	21.12 ± 0.53	18.86 ± 0.33
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.42 ± 0.03*	0.53 ± 0.02
Stearic acid (C18:0)	5.16 ± 0.06**	4.01 ± 0.04
Arachidic acid (C20:0)	0.84 ± 0.01	0.83 ± 0.02
Heneicosanoic acid (C21:0)	16.27 ± 0.30	16.23 ± 0.48
Behenic acid (C22:0)	0.43 ± 0.03*	0.53 ± 0.01
Tricosanoic acid (C23:0)	0.53 ± 0.02**	2.34 ± 0.02
Lignoceric acid (C24:0)	0.33 ± 0.04**	0.84 ± 0.02
Saturated	49.29	46.99
Palmitoleic acid (C16:1)	0.24 ± 0.01**	0.35 ± 0.01
Oleic acid (C18:1n9c)	0.69 ± 0.05*	1.13 ± 0.08
Nervonic acid (C24:1)	0.20 ± 0.03*	0.26 ± 0.02
Monounsaturated	1.13	1.77
Linoleic acid (C18:2n6c)	10.71 ± 0.47*	12.84 ± 0.67
Linolenic acid (C18:3n3)	0.25 ± 0.02	0.31 ± 0.04
γ -Linolenic acid (C18:3n6)	38.39 ± 0.74	37.75 ± 1.07
Polyunsaturated	49.59	51.25
Total	100.00	100.00

All values are expressed as the mean ± SD of triplicate determinations.

*p<0.05, **p<0.001; Significantly different by Student's *t*-test between freeze drying and hot air drying method

6. 무기질 분석

동결건조 및 열풍건조에 따른 적겨자잎의 무기질 분석은 Table 6과 같다. 총 무기질 함량은 동결건조한 적겨자잎 10,187.22 mg%, 열풍건조한 적겨자잎 9,815.80 mg%으로 동결건조한 적겨자잎에서 높은 함량을 나타냈다. 동결건조한 적겨자잎의 경우, K 함량이 5463.33 mg%으로 가장 많이 검출되었고, 다음으로 Ca, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu 순이었다. 열풍건조한 적겨자잎의 경우도 K 함량이 6289.00 mg%로 가장 많이 검출되었고 Ca, Na 순으로 높게 나타났다. 순무 싹(Ha et al. 2009)의 무기질 조성과 함량을 측정된 결과, K 882.50 mg%, Mg 342.85 mg%, Ca 274.30 mg%, Na 188.45 mg%, Fe 7.52 mg%, Zn 7.22 mg%, Mn 2.75 mg%, Cu 0.98 mg%의 함량을 나타내어 적겨자잎의 열풍 및 동결건조에 따른 무기질 조성과 다소 차이가 있음을 알 수 있었다. 브로콜리 싹(Lee et al. 2009)의 경우는 K 794.16 mg%, Mg 369.96 mg%, Na 16.24 mg%, Fe 6.61 mg%, Zn 5.43 mg%, Mn 2.36 mg%, Cu 0.34 mg%으로 보고하였다. 고추냉이 잎(Park et al. 2015)의 무기질 함량을 분석한 결과, K 5.96 mg%, Ca 1.79 mg%으로 본 연구결과와 다소 차이를 보였다. 이상의 결과들로 볼 때, 동결 및 열풍건조한 적겨자잎은 다른 십자화과 무기질 함량 보다 Ca의 함량이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다.

Table 6. Contents of minerals in freeze and hot air dried *Brassica juncea* L.

Minerals	(mg%)	
	Freeze drying	Hot air drying
Ca	3881.00 ± 63.32**	2592.00 ± 50.27
K	5463.33 ± 52.73**	6289.00 ± 58.13
Mg	572.67 ± 9.02*	523.56 ± 8.96
Fe	24.14 ± 0.78**	9.30 ± 0.20
Na	232.67 ± 3.21**	395.32 ± 4.86
Mn	4.72 ± 0.02**	3.15 ± 0.08
Cu	0.47 ± 0.02**	0.20 ± 0.04
Zn	8.22 ± 0.22**	3.27 ± 0.07
Total	10,187.22	9,815.8

All values are expressed as the mean ± SD of triplicate determinations.

*p<0.05, **p<0.001; Significantly different by Student's *t*-test between freeze drying and hot air drying method

7. 비타민 분석

동결건조 및 열풍건조에 따른 적겨자잎의 비타민 분석은 Table 7과 같다. 비타민 C는 대표적인 수용성 항산화제이고, 비타민 E는 지용성 항산화제로 lipid peroxidation으로부터 세포막을 보호해주는 역할을 한다(Kim 2011). 동결건조한 적겨자잎의 비타민 C 함량은 492.48 mg/100g, 비타민 E의 함량은 6.59 mg/100g으로 검출되었다. 열풍건조한 적겨자잎의 비타민 C 함량은 552.27 mg/100g, 비타민 E의 함량은 10.84 mg/100g 이었으며, 동결건조에 비해 열풍건조한 적겨자에서 비타민 C와 E의 함량이 유의적으로 높았다. 십자화과 채소인 콜라비(Cha et al. 2013)의 가식부의 비타민 C 함량은 231.36 mg/100g, 비타민 E 함량은 0.17 mg/100g으로, 본 연구에 사용된 적겨자잎의 분석결과와 다소 차이를 나타내었다.

Table 7. Contents of vitamin C and vitamin E in freeze and hot air dried *Brassica juncea* L.

	(mg/100g)	
	Freeze drying	Hot air drying
Vitamin C	492.48 ± 8.98**	552.27 ± 5.08
Vitamin E	6.59 ± 0.30**	10.84 ± 0.39

All values are expressed as the mean ± SD of triplicate determinations.
*p<0.05, **p<0.001; Significantly different by Student's t-test between freeze drying and hot air drying method

8. 총 polyphenol 및 총 flavonoid 함량

동결건조 및 열풍건조에 따른 적겨자잎의 총 polyphenol 및 총 flavonoid 함량은 Table 7과 같다. 동결건조한 적겨자잎의 총 polyphenol 및 총 flavonoid 함량은 각각 234.86 mg/g과 84.81 mg/g이다. 또한 열풍건조한 적겨자잎의 총 polyphenol 및 총 flavonoid 함량은 각각 212.21 mg/g과 125.04 mg/g으로, 총 flavonoid 함량은 동결건조보다 열풍건조한 적겨자잎이 유의적으로 높았다. Shin et al.(2014)은 무순 추출물의 총 polyphenol 함량이 24.40 ± 1.24 mg/g, 콜라비 새싹 추출물의 총 polyphenol 함량은 23.97 ± 0.46

mg/g, 무순 추출물의 총 flavonoid 함량은 15.30 ± 1.35 mg/g, 유채와 콜라비 새싹 추출물이 각각 13.34 ± 0.58 및 13.08 ± 0.37 mg/g으로 보고하였다. polyphenol 화합물은 식물체에 널리 분포되어 있고 다수의 phenolic hydroxyl(-OH)를 포함하여 여러 화합물과 쉽게 결합해 항산화 효과 및 항암, 항균 효과 등을 나타낸다(Cha et al. 1999; Lu & Foo 2000). 플라보노이드(flavonoids)는 polyphenol에 속하는 성분으로, C6-C3-C6를 기본골격으로 하는 페놀계 화합물의 총칭이며, 활성산소종을 효과적으로 제거하는 역할을 한다고 알려져 있다(Kim et al. 2012). 본 연구에서는 적겨자잎이 다른 십자화과 식물에 비해 높은 총 polyphenol 및 총 flavonoid 함량을 보임으로서 항산화제로서 잠재적인 효능가치가 있을 것으로 사료된다.

Table 8. Total polyphenol and total flavonoid contents of freeze and hot air dried *Brassica juncea* L.

	Freeze drying	Hot air drying
Total polyphenol (mg TAE/g)	234.86 ± 2.23	212.21 ± 16.95
Total flavonoid (mg RE/g)	84.81 ± 0.58**	125.04 ± 0.23

All values are expressed as the mean ± SD of triplicate determinations.
*p<0.05, **p<0.001; Significantly different by Student's t-test between freeze drying and hot air drying method

9. ABTS radical 소거능

동결건조 및 열풍건조에 따른 적겨자잎의 ABTS radical 소거능은 Table 7과 같다. ABTS radical 소거능은 potassium persulfate와 ABTS 시약이 반응하여 활성 양이온인 ABTS+이 형성 되며, 시료의 항산화력에 의해 ABTS+가 감소되어 이를 흡광도 수치로 나타내어 항산화능을 확인할 수 있다(Jo et al. 2014). 동결건조한 적겨자잎의 ABTS radical 소거능을 측정된 결과, 0.125 mg/mL, 0.25 mg/mL, 0.5 mg/mL, 1 mg/mL 농도에서 각각 17.85%, 19.92%, 31.60%, 54.28%를 보여주었다.

또한 열풍건조한 적겨자잎을 위와 같은 동일한 농도로 측정하였을 경우, 21.73%, 30.44%, 41.69%, 70.14%의 ABTS radical 소거능을 보여주었다. 위와 같은 결과를 통해, 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎이 농도 의존적으로 항산화 활성이 증가하였음을 확인할 수 있었다. 50% ABTS radical 소거능(IC₅₀)를 계산한 결과, 동결건조 적겨자잎은 0.89 mg/mL, 열풍건조 적겨자잎은 0.65 mg/mL로 동결건조에 비해 열풍건조한 적겨자잎에서 ABTS radical 소거능이 우수한 것으로 나타났다. Jo et al.(2014) 등은 배추 에탈을 추출물의 ABTS radical 소거능이 0.5 mg/mL와 1 mg/mL 농도에서 각각 45.88%, 65.06%로 관찰되어, 본 연구결과와 비슷하거나 다소 높게 보고하였다. 이러한 결과는 동결건조법에 비해 열풍건조법에 의한 적겨자잎의 높은 총 polyphenol 및 총 flavonoid 함량이 항산화 활성에 영향을 주었을 것으로 사료된다.

Table 9. ABTS radical-scavenging activity of freeze and hot air dried *Brassica juncea* L.

Concentration (mg/mL)	ABTS radical scavenging activity (%)	
	Freeze drying	Hot air drying
0.125	17.85 ± 2.70	21.73 ± 1.75
0.250	19.92 ± 0.64	30.44 ± 2.33
0.500	31.60 ± 0.66	41.69 ± 0.82
1.000	54.28 ± 0.82	70.14 ± 0.38
IC50 (mg/mL)	0.89	0.65

All values are expressed as the mean ± SD of triplicate determinations.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 적겨자잎을 이용하여 열풍건조와 동결건조법에 따른 이화학적 성분, 총 polyphenol, 총 flavonoid 함량 및 항산화력을 비교 분석하였다. 건조방법에 따른 적겨자잎의 일반성분을 분석한 결과, 조단백질은 동결건조 적겨자잎에서, 조지방과 탄수화물 함량은 열풍건조 적겨자잎에서 유의적으로 높게 나타

났다. 그러나, 수분과 조회분은 건조방법에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 적겨자잎의 유리당 함량은 건조방법에 상관없이 sucrose, fructose, glucose 함량이 높았으며, 총 유리당 함량은 열풍건조한 적겨자잎에서 높았다. 적겨자잎의 구성아미노산 중, 열풍건조는 leucine, 동결건조는 valine의 필수아미노산 함량이 가장 높았으며, 비필수아미노산은 열풍건조와 동결건조 모두에서 glutamic acid가 가장 높았다. 또한, 총 비필수아미노산 및 필수 아미노산의 함량 모두 열풍건조한 적겨자잎에서 높게 나타났다. 유기산은 총 5가지가 검출되었으며, 총 유기산의 함량은 동결건조한 적겨자잎(191.47 mg/100g)보다 열풍건조한 적겨자잎 (329.24 mg/100g)에서 높은 함량을 보였다. 동결건조 및 열풍건조한 적겨자잎의 주된 유기산은 각각 citric acid와 malic acid였다. 적겨자잎의 주요 지방산은 건조방법에 상관없이 palmitic acid, oleic acid, γ -linolenic acid였으며, 단일불포화지방산 및 다가불포화지방산의 총 함량은 동결건조보다 열풍건조한 적겨자잎에서 높게 나타났다. 건조방법에 따른 적겨자잎의 주요 무기질은 K, Ca, Na 순으로 높은 함량을 나타냈으며, 총 무기질 함량은 동결건조한 적겨자잎 10,187.22 mg%, 열풍건조한 적겨자잎 9,815.80 mg%로 동결건조한 적겨자잎에서 높은 함량을 나타냈다. 비타민 C와 E의 함량은 동결건조 적겨자잎에 비해 열풍건조 적겨자잎에서 모두 유의적으로 높았다. 총 polyphenol 함량은 건조방법에 따른 유의적인 차이는 없었으며, 총 flavonoid 함량은 동결건조한 적겨자잎보다 열풍건조한 적겨자잎에서 유의적으로 높았다. 적겨자잎의 50% ABTS radical 소거능(IC₅₀)값은 동결건조 적겨자잎 0.89 mg/mL, 열풍건조 적겨자잎 0.65 mg/mL로 열풍건조한 적겨자잎의 ABTS radical 소거능이 더 우수한 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 적겨자잎의 건조방법에 따른 이화학적 성분 및 영양성분의 변화를 살펴본 결과, 열풍건조한 적겨자잎의 유리당, 아미노산, 유기산, 비타민 C와 E의 함량 등이 동결건조법에 비해 높게 나타났다. 따라서, 적겨자잎을 이용한 열풍건조법의 이용이 원가가 저렴하고

건조시간이 짧아며 영양성분의 손실을 최소화할 수 있는 방법으로 적합하다고 여겨진다.

References

- Aida TM, Tajima K, Watanave M, Saito Y, Kuroda K, Nonaka T, Hattori H, Smith Jr RL, Arai K(2007) Reactions of d-fructose in water at temperature up to 400°C and pressures up to 100 MPa. *J Supercrit Fluid* 42(1), 110-119
- AOAC(2005) Official methods of analysis, 18th ed. Association of official analytical chemists, Washington, DC, USA
- Bhandari SR, Kwak JH(2015) Chemical composition and antioxidant activity in different tissues of *Brassica* vegetables. *Molecules* 20(1), 1228-1243
- Cha JY, Kim HJ, Chung CH, Cho YS(1999) Antioxidative activities and contents of polyphenolic compound of *Cuchrania tricuspidata*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28(6), 1310-1315
- Cha SS, Lee MY, Lee JJ(2013) Comparison of physicochemical composition of kohlrabi flesh and peel. *Korean J Food Preserv* 20(1), 88-96
- Chae SK, Kang GS, Ma SJ, Bang KW, Oh MW, Oh SH(2002) Standard food analysis, Paju: Jigu- Moonwha Sa, 381-382
- Deng GF, Lin X, Xu XR, Gao LL, Xie JF, Li HB(2012) Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 vegetables. *J Funct Foods* 5(1), 260-266
- Folin O, Denis W(1912) On phosphotungsticphosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12(2), 239-249
- Francis GA, Gallone A, Nychas GJ, Sofos JN, Colelli G, Amodio ML, Spano G(2012) Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce. *Crit Rev Food Sci Nutr* 52(7), 595-610
- Ha JO, Ha TM, Lee JJ, Kim AR, Lee MY(2009) Chemical components and physiological functionalities of *Brassica campestris* ssp rapa sprouts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38(10), 1302-1309
- Han JH, Moon HK, Kim JK, Kim JY, Kang WW(2003) Changes in chemical composition of radish bud (*Raphanus sativus* L.) during growth stage. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19(5), 596-602
- Heaney RK, Fenwick GR(1980) The analysis of glucosinolates in *Brassica* species using gas chromatography. Direct determination of the thiocyanate ion precursors, glucobrassicin and neoglucobrassicin. *J Sci Food Agric* 31(6), 593-599
- Jang HL, Park SY, Lee JH, Hwang MJ, Choi YM, Kim HR, Hwang JB, Seo DW, Kim SH, Nam JS(2016) Changes in nutritional composition and physicochemical properties of mustard leaf (*Brassica juncea*) kimchi during fermentation. *Korean J Food Nutr* 29(5), 706-715
- Jo HJ, Chung KH, Yoon JA, Song BC, An JH (2014) Free radical-scavenging activities of amaranth (*Amaranthus* spp. L.) seed extracts. *Food Eng Prog* 18(2), 116-123
- Kim DJ, Kim JM, Hong SS(2004) The composition of dietary fiber on brassica vegetables. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33(4), 700-704
- Kim EJ, Choi JY, Yu MY, Kim YK, Lee SH, Lee BH(2012) Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 44(3) 337-342
- Kim IS, Kwon TB, Oh SK(1988) Study on the composition change of free sugars and glucosinolates of rapeseed during germination. *Korean J Food Sci Technol* 20(2), 194-199
- Kim SM, Na MS(2013) Physicochemical properties and antioxidative activities of rapeseed meal. *KSBB J* 28(2), 92-98
- Kim YH(2011) Clinical application of antioxidants. *Surg Metab Nutr* 2(1), 11-15
- Korea Food and Drug Association(2005) Food standards codex. Korean Foods Industry Association, Seoul, Korea, 367-368, 383-385
- Lee JJ, Lee YM, Kim AR, Lee MY(2009) Physicochemical composition of broccoli sprouts. *J Life Sci* 19(2), 192-197
- Lee SY, Weon HY, Kim JJ, Han JH(2016) Biocontrol of leaf mustard powdery mildew caused by *erysiphe cruciferam* using *lacillus velezensis* YP2. *Korean J Pestic Sci*(20), 369-374
- Lim SI, Song SM(2010) Changes in characteristics of low-salted kochujang with licorice (*Glycyrrhiza glabra*), mustard (*Brassica juncea*), and chitosan during fermentation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(4), 560-566
- Lu Y, Foo LY(2000) Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple pomace. *Food Chem* 68(1), 81-85
- Lund EK, Smith TK, Clarke RG, Johnson IT(2001) Cell death in the colorectal cancer cell line HT29 in response to glucosinolate metabolites. *J Sci Food Agric* 81(9), 959-961
- Pak HO, Sohn CY(2013) The quality characteristics of kimchi added vinegar, mustard and leaf vegetables. *Korean J Food Nutr* 26(4), 841-849
- Park SJ, Lee HY(2015) Component analysis and antioxidant activity of *Wasabi japonica* Matsum leaves. *Korean J Medi Crop Sci* 23(3), 207-213
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C(1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26(9-10), 1231-1237
- Seon GU, Hwang IW, Chung SK(2016) Physicochemical composition of head-type kimchi cabbage leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45(6), 923-928
- Shin GH, Lee YJ, Kim JH, Kim YH, Kim DB, Lee JS, Lim JH, Lee OH(2014) Antioxidant activities of commonly used *Brassica* spp. sprout vegetables in Korea. *Korean J Food Preserv* 21(4), 587-592
- Verhoeven DT, Goldbohm RA, van Poppel G, Verhagen H, van den Brandt PA(1996) Epidemiological studies on *Brassica* vegetables and cancer risk. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 5(9), 733-748
- Wungaarden DV(1967) Modified rapid preparation fatty acid esters from liquid for gas chromatographic analysis. *Anal Chem* 39(7), 848-850