



Research Article

Comparison of quality characteristics of *tofu* made from three soybean cultivars grown in different regions of Korea

재배 지역에 따른 주요 콩 제조 두부의 풍미 및 품질 특성

Eunyeong Sim*, Hye-Sun Choi, Hye-Young Park, Hong-Sik Kim, Areum Chun

심은영* · 최혜선 · 박혜영 · 김홍식 · 천아름

Post-Harvest Technology Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16613, Korea

농촌진흥청 국립식량과학원 수확후이용과

Abstract This study examined the physicochemical properties, flavor, and quality characteristics of *tofu* made from three Korean soybean cultivars (*Daewonkong*, *Seonpung*, *Seonyu2ho*) grown in three different regions (Suwon, Gimje, Daegu) using instrumental analyses. To assess factors impacting *tofu*'s taste, aroma, and texture, we analyzed the amino acid and fatty acid compositions of the soybeans, along with the taste and aroma characteristics of *tofu*. Results revealed a correlation between soybean protein content and *tofu* hardness, with significant compositional differences based on cultivation region; soybeans from Gimje, in particular, showed a higher crude fat content. Using an electronic nose, 41 to 57 volatile compounds were identified across *tofu* samples, with 2-methylbutane and acetaldehyde as dominant components. Correlation analysis showed positive associations between acetaldehyde and palmitic acid and between 2-methylbutane and oleic, eicosanoic, total, and unsaturated fatty acids. SPME-GC-MS analysis identified 37 volatile active compounds, including alcohols, aldehydes, esters, furans, hydrocarbons, and ketones, with 1-hexanol and 1-octen-3-ol present at significantly higher levels across samples. Among the SPME-GC-MS results, *Seonyu2ho-tofu* samples exhibited notably higher alcohol levels. Both cultivar and environmental factors substantially influenced *tofu*'s physicochemical quality and sensory attributes. Since sensory panel evaluations were not conducted, future studies should incorporate panel assessments to further explore correlations between sensory perceptions and instrumental measurements.

Keywords *tofu*, flavor, texture, soybean quality, cultivar



OPEN ACCESS

Citation: Sim E, Choi HS, Park HY, Kim HS, Chun A. Comparison of quality characteristics of *tofu* made from three soybean cultivars grown in different regions of Korea. Food Sci. Preserv., 31(6), 1020-1032 (2024)

Received: October 08, 2024

Revised: November 29, 2024

Accepted: November 29, 2024

***Corresponding author**

Eunyeong Sim
Tel: +82-31-695-0612
E-mail: silvery1225@korea.kr

Copyright © 2024 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

콩(*Glycine max*(L.) Merr.)은 원래 동북아시아가 원산지이나 전세계적으로 다양한 품종이 많이 재배되고 있다. 콩은 식물성 단백질의 대표 급원으로 다른 식물성 단백질원인 소맥배아, 참깨, 김, 다시마 등에 비해 양적, 질적인 면에서 우수하다(Hong 등, 1990; Kim, 2002; Kim 등, 1990). 콩의 대표 가공품인 두부는 한국, 중국, 일본 및 동남아시아 등에서 주로 널리 섭취되는데 단백질, 식이섬유, 필수 아미노산, 콩 사포닌, 이소플라본을 많이 함유하고 있다(Adamiec 등, 2001; Kim, 2002). 풍부한 영양가, 다양한 질감, 독특한 풍미로 인해 최근 몇 년 동안 미국, 유럽 등 서양국가에서도 점점 더 인기를 얻고 있다. 두부의 수율, 물성뿐만 아니라 풍미(맛과 향)도 소비자 기호도의 중요성이 알려져 있으며, 국가 및 개인 간 기호도 차이가 확인되었지만(Yang 등, 2016), 두부 풍미에 영향을 끼치는 다양한 인자 구명에 대한 연구는 아직 부족한 상황이다. 지금까지 진행된 두부 연구로 콩 원료에 따른 두부의 특성 차이(Lee와 Hwang, 2014), 콩 저장에 따른 특성 변화와 두유 및 두부

특성 변화(Kong 등, 2008), 7S 및 11S의 비율이 다른 3 품종 제조 두부의 수율·기계적 특성(Ji 등, 1999), 응고제에 따른 두부 특성(Hong 등, 2012; Obatolu, 2008) 등이 있다. 두부는 일반적으로 콩을 수침, 마쇄, 가열하여 여과, 응고 후에 압착하여 생산하거나 생콩을 마쇄, 가열, 응고 및 압착하여 제조한다. 두부응고제는 $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, $CaSO_4$, 조제해수 $MgCl_2$, Glucono-delta-lactone 등이 있는데, 우리나라 두부 제품은 조제해수 $MgCl_2$ 를 가장 많이 사용하며, 세계적으로 많이 활용되는 응고제는 $MgCl_2$ 와 $CaSO_4$ 가 있다. 국내에서는 정책적으로 콩의 논 재배 면적을 확대하고 있으며 이에 따라 재배 환경에 따른 콩과 가공품의 품질 차이 구명에 관심이 증가하고 있다. 품종, 재배환경 및 기술 등이 모두 복합적으로 원료 산물의 품질을 결정짓지만 가공품인 두부 특성에 어떤 영향을 얼마만큼 주는지에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. 콩 품종 중 대원콩은 우리나라에서 가장 많이 심겨지는 보급종 품종으로 두부 및 장류용으로 활용되고 있다. 선풍은 두부 수율이 높고 두부 가공적성이 우수한 품종으로 최근에 많이 보급 중이고 논 재배도 많이 진행되고 있다. 선유2호는 최근 육성된 콩 품종으로 생육기간이 다른 콩(125-130일)에 비해 15-20일이 짧은 단기성으로 작부체계상 2모작 등으로 유리하다. 재배지역별 특성으로는 수원과 대구는 각각 우리나라를 대표하는 위도 차이가 나는 중부와 남부의 시험포장이 있는 지역이고, 김제는 논 수리시설의 기반이 갖춰진 지역으로서 논 타작물 정책지원에 따른 논콩의 대표 주산지라 할 수 있다. 원료 콩, 제조 공정 및 두부응고제는 두부 품질(수율, 맛, 향, 조직감 등)에 결정적 영향을 주는데 이에 따라 본 연구에서는 밭(수원, 대구)과 논 환경(김제)에서 재배한 3개 콩 품종인 대원콩, 선유2호, 선풍으로 제조한 두부의 품질 특성(감각특성 포함)을 기기적으로 분석하였고, 원료콩의 이화학 특성과의 상관관계를 분석하였다. 본 연구에서 도출한 결과는 다양한 콩 자원을 활용하여 두부 제품을 개발하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 실험에서는 2021년 국립식량과학원 밭 환경인 수원(37.2639°N, 127.0286°E) 및 대구(35.8714°N, 128.6014°E)와 논 환경 김제(35.8033°N, 126.8803°E)의 3개 포장에서 각각 생산된 대원콩, 선풍, 선유2호 3개 대두 [*Glycine max*(L.) Merr.] 품종을 시험재료로 사용하였다. 두부응고제로는 식품첨가물용 염화마그네슘(Magnesium chloride hexahydrate, Comsience Co., Gwangju, Korea)을 사용하였고, 분석 시약들은 분석등급의 것을 사용하였다. 블렌더(SMX-350SKH, Shinil, Seoul, Korea)를 이용하여 분말화 한 시료를 100 mesh 체로 걸러 분석 시험에 사용하였다.

2.2. 콩 일반성분 분석

AOAC(2012) 방법에 따라 수분함량은 105°C 상압가열건조법, 조단백질은 Micro Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet법, 조회분은 550°C 회화법으로 측정하였다. 콩가루 0.5 g을 단백질 분해관에 넣고 황산 10 mL와 촉매제를 분해기(Tecator™ Digestor auto, Foss, Hillerød, Denmark)로 420°C에서 1시간 동안 분해하였다. 상온에서 충분히 냉각시킨 후 단백질 분석기(Kjeltec™ 8400, Foss)를 이용하여 조단백질 함량을 측정하였고 질소계수인 5.71을 곱하여 그 값을 산출하였다. 조지방 함량은 Soxhlet 자동 추출장비(Soxtherm sox416, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, Germany)를 이용하여 정량하였다. 분쇄 시료 2 g을 원통 거름관에 담아 탈지면으로 막고 비등석, n-헥산 140 mL를 첨가하여 187°C에서 30분간 가열하고, 1시간 동안 추출하였다. 지방 추출 후 수기를 105°C에서 1시간 동안 건조 후 방냉하여 함량을 구하였다. 조회분은 항량을 구한 도가니에 시료 3 g을 칭량한 후 550°C에서 3시간 회화 후 방냉하여 함량을 산출하였다. 탄수화물은 100에서 수분, 조단백, 조지방, 조회분의 합산 값을 감산하여 계산하였다.

2.3. 콩 저장단백질 조성 분석

탈지콩 분말 0.05 g을 0.03M Tris-HCl 1 mL에 반응시킨 후 30분간 Votex 후 일정시간 방치하였다. 그 후 4°C에서 30분간 15,000 rpm의 속도로 분리하여 추출 한 상등액을 저장단백질 조성 분석의 재료로 활용하였다. Gel-dye mix, Destaining, Denaturing solution(Agilent Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA) 및 샘플과 ladder를 각각 준비하였다. 단백질 230 (P230) 키트는 Agilent Technologies(Waldbronn, Germany)에서 구입하였고 저장단백질 조성 분석은 Agilent 2100 Bioanalyzer(Agilent Technologies Inc.)로 분석하였다. 모든 화학 물질은 분석 등급이었으며, 칩은 해당 키트 프로토콜(Citation2-4)에 따라 준비했다. 각 시료별 단백질 샘플 4 μ L를 2 μ L의 Denaturing solution(환원제로 DTT를 포함하거나 포함하지 않음)과 혼합하였다. 단백질 용액과 ladder를 95°C에서 5분간 두었다가 84 μ L 증류수를 추가하여 희석한 후 단백질 칩에 6 μ L를 넣어 분석하였고, Agilent 2100 Expert 소프트웨어(Agilent Technologies Inc.)를 데이터 분석에 사용했다.

2.4. 콩 아미노산 분석

본 연구에서 분석한 개별 아미노산은 isoleucine, leucine, lysine, methionine, cysteine, phenylalanine, tyrosine, threonine, valine, histidine, arginine, alanine, aspartic acid, glutamic acid, glycine, proline, serine.으로 총 17종이었으며, tryptophan을 제외한 아미노산 조성은 Kim 등(2014)의 연구를 일부 수정하여 분석하였다. 80 mg의 콩 분말을 30 mL의 6 mol/L HCl

과 혼합한 후, 혼합물을 질소 가스로 1분 동안 퍼지하고 110°C에서 22시간 동안 가수분해했다. 그 후, 가수분해물의 용매를 증발시키고, 이를 6 mol/L HCl 50 mL에 재용해시켰다. 혼합물을 0.45 µm 실린지 필터로 여과하였고, 이 용액의 일부를 메틸알코올 활성화 Sep-Pak C18 카트리지(Waters, Milford, MA, USA)를 이용하여 각종 불순물 잔여물을 제거한 후 아미노산 분석에 사용하였다. 콩의 아미노산 조성은 아미노산 분석기(L-8900; Hitachi-Hitech, Tokyo, Japan)를 사용하여 분석하였는데, 희석된 샘플 20 µL를 시스템에 주입하고 이온 교환 컬럼 #2622SC PF(4.6×60 mm; Hitachi HPLC Packed Column, Hitachi High-Tech Science Corp., Tokyo, Japan)를 통과시켰다. 컬럼의 온도는 57°C였고 완충액의 유속은 0.4 mL/min이었다. 분석하는 동안 반응기의 온도는 135°C로 유지되었고, 컬럼 압력은 7.0-7.3 MPa였다. 니히드린의 유속은 0.35 mL/분이었으며, 컬럼 압력은 0.7-0.8 MPa였다. 또한, 아미노산 분석을 위한 이동상으로는 PH1, PH2, PH3, PH4, PH-RG, R-3, C-1, 니히드린 용액, 완충액(Fujifilm Wako Pure Chemical, Osaka, Japan)을 사용하였고, 아미노산 표준물질로는 아미노산 보정 혼합물(Ajinomoto-ta-kara, Kusatsu, Japan)을 사용했다.

2.5. 콩 지방산 분석

콩 분말 0.2 g을 Teflon cap이 있는 4 mL 바이알에 넣고, Methylation mixture[MeOH:Benzen:DMP(2,2-Dimethoxy-propane):H₂SO₄=39:20:5:2]를 2 mL, heptane 1 mL를 넣어 흔든 후 80°C에서 2시간 추출하였다. 추출 후 상온 냉각하여 형성된 두 층 중 상층액 1 mL을 추출 후 gas chromatography(GC)로 분석하였다. GC(Agilent 7890A, Agilent, Santa Clara, CA, USA), 컬럼은 DB-23(120 mm×0.25 mm×0.25 mm, Agilent), 유속은 2 mL/분, injector 온도는 250°C, Detector는 FID(280°C, H₂ 35, Air 350, He 30mL/분), 오븐 조건은 초기온도 80°C에서 1.5분 유지 후 분 당 30°C로 승온시켜 110°C에서 2분간 유지시켰다. 그 후 분 당 15°C로 200°C까지 승온시켜 8분간 유지 후, 분 당 1°C로 215°C까지 올린 후 8분간 유지시켰다. 마지막 분 당 2°C로 250°C까지 올린 후 3분간 반응시켰고 총 분석시간은 62분이었다. 주입량은 1 µL(split ratio 10), 표준품과 내부표준품은 각각 Supelco 37 component FAME Mix(Supelco, Bellefonte, PA, USA), Pentadecanoic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

2.6. 두부 제조

실험용 두부 제조에는 정선한 완전립 콩을 사용하였고, 선행 연구(Sim, 2020)를 바탕으로 예비실험을 통해 설정된 온추출 방식의 표준공정으로 제조하였다. 원료 콩 100 g에 300 mL의 증류수를 가한 후 4°C에서 16시간 수침하고 남은 물은 버린 후

1,700 mL 증류수를 다시 넣고 기타액체가열기(RFM-1000, Joyoung Onondo Small Household Appliances Co., Hangzhou, China)로 약 30분간 마쇄 및 가열하였다. 마쇄한 두유액을 면포에 거른 후 여액을 모두 압착기로 압착시킨 후 걸러진 콩물을 용기에 담아 온도를 체크하며 80°C에서 MgCl₂(Magnesium chloride hexahydrate, Comscience Co.) 5 g을 넣고 75°C까지 잘 응고되게 하였다. 응고물은 두부 성형틀(가로 9 cm×세로 7 cm×높이 5 cm)의 크기에 맞추어 넣고, 지름 12 cm 높이 3 cm의 1 kg 무게의 누름돌을 이용하여 20분간 압착시켰다.

2.7. 두부 휘발성 향기성분 분석(E-nose)

두부 시료의 휘발성 향기 성분은 전자센서인 전자코 시스템(HERACLES II E-Nose, Alpha MOS, Toulouse, France)을 사용하였다. 두부 샘플 4 g을 전자코 분석용 headspace vial에 넣고 50°C에서 10분간 교반하면서 휘발성 향기 성분을 바이알에 포화시켰다. 휘발성 향기 성분은 전자코 시스템에 부착된 자동 시료 채취기를 통하여 포집되었고, 포집된 기체 2,000 µL을 휘발성 향기 성분을 주사기를 이용하여 취한 후 전자코에 장착된 gas chromatography injection port에 주입하였다. 전자코 분석 컬럼은 MXT-5 컬럼(Alpha MOS), 분석조건은 2 mL/min의 수소가스 유량, acquisition duration은 108초, trap absorption temperature는 50°C, trap desorption temperature는 240°C로 하였다. 오븐 온도는 50°C로 5초 간 유지 후, 3°C/s의 속도로 270°C까지 승온 후 30초 동안 유지되었다. 탄소수에 기반한 둔 retention index는 Kovat's index library(Alpha MOS)를 이용하여 분리된 피크의 성분을 동정하였고, 각 샘플은 3 반복을 기본으로 하였다.

2.8. 두부 휘발성 향기성분 분석(SPME-GC-MS)

두부의 휘발성 화합물은 Sim 등(2021)의 선행연구를 참고하여 SPME-GC-MS를 사용하여 분석하였다. 15 mL SPME 앰버 바이알에 두부 샘플 3 g, NaCl 3 g과 내부 표준물질인1,2,3- trichloropropane (Sigma-Aldrich) 4 µL를 넣은 후 Polytetrafluoroethylene-silicone septum가 있는 플라스틱 캡으로 덮은 다음 70°C에서 10분 동안 반응시켰다. 휘발성 65 µm DVB/PDMS(Supelco, Bellefonte, PA, USA) 화합물은 섬유 바늘을 바이알에 30분 동안 넣고 지속적으로 가열하고 교반하여 추출한 후 섬유 바늘을 GC 주입구에 5분 동안 즉시 탈착했다. 분석 장비는 Thermo Scientific(Waltham, MA, USA)의 GC-MS/MS(SPME)를 사용하였고, 삼중 사중극자 질량 분석기는 TSQ 8000, 가스 크로마토그래프는 Trace 1310, 컬럼은 DB-Wax(60 m×0.25 mm, 0.50 µm; Agilent Technologies Inc.)를 사용하였다. 분석 조건은 주입구 온도가 250°C였고, 운반가스는 헬륨을 2.0 mL/min의 유속으로 사용했으며, 오븐 온도는 초기온도 40°C로 유지 후, 나

중에 4°C/min으로 230°C까지 올린 다음, 230°C에서 5분간 유지하였다. 질량 공급된 온도는 250°C로 설정하였고, 이송 라인 온도는 230°C로 설정하였다. 모든 질량 스펙트럼은 40-250 m/z의 스캔 범위를 갖는 전체 스캔 모드를 사용하여 70 eV에서 전자 충격(EI) 모드에서 수집되었다. 각 화합물의 입시 식별을 위해 표준과의 보유 지수를 비교하고 NIST 2011 프로그램(Gaithersburg, MD, USA) 표준 MS 라이브러리 데이터베이스 Search 2.0 소프트웨어(Agilent Technologies, Inc.)를 사용하여 검색하고 식별된 휘발성 화합물의 정량화(상대적 함량은 내부 표준품에 의해 결정되었다. 콩 종류별 두부의 휘발성 향기 성분의 클러스터 분석 결과는 히트맵으로 제시하였다.

2.9. 두부 맛 분석(E-tongue)

두부의 맛 성분 패턴은 전자혀 시스템(ASTREE, Alpha MOS)을 이용하여 분석하였다. 전자혀 시스템은 인간이 기본적으로 느끼는 맛인 신맛(SRS-sourness), 짠맛(STS-saltiness), 감칠맛(UMS-umami), 단맛(SWS-sweetness), 그리고 쓴맛(BRS-bitterness)과 관련된 5가지 센서와 보조 센서 2가지(GPS-metallic, SPS-spiciness)로 구성되어 있다. 두부 샘플 20 g에 3차 증류수 80 g을 넣고 블렌더(SMX-350SKH, Shini)로 2분 간 마쇄 후 원심분리 한 상등액을 Whatman No. 2 필터지로 필터 후 전자혀 분석용 바이알에 담아 맛 분석 시료로 사용하였다. 제조된 시료액은 전자혀 시스템의 샘플러에 장착한 후, 센서를 2분간 시료액에 침지를 통한 접촉으로 개별 맛 성분에 대한 강도를 측정하였다. 분석 과정에서 시료 간의 오염을 최소화하기 위해 매 분석 시 정제수로 각 센서의 세척을 진행하였다. 샘플 당 6 반복씩 진행하였으며, 결과값은 맛 성분에 대한 맛 패턴으로 나타내었다(Boo 등, 2020).

2.10. 두부 수율, 색도 및 물성 분석

두부의 수율은 투입 콩 대비 완성 두부의 무게를 %로 표기하였고 수분 함량을 제외한 건량기준 함량도 제시하였다. 두부 수분함량은 AOAC(2012) 방법에 따라 두부 10 g을 105°C 상압 가열건조법으로 측정하여 계산하였다. 명도(L값), 적색도(a값), 황색도(b값)는 색차계(CR-300, Minolta Co., Osaka, Japan)를 사용하여 측정하였고, 색도 측정에 사용된 표준백판은 L값 98.82, a값 -0.09, b값 -0.37이었다. 두부는 단면을 반듯하게 수직 절단 후 절단면의 색도를 측정하였다. 두부의 조직감은 물성 측정기(TA XT Plus, Stable Micro System, London, UK)를 사용하여 Pre-test speed 5.0 mm/sec, Post-test speed 200 mm/min, Strain 60%, Number of cycles 2, Probe diameter 7.5 mm의 조건으로 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 응집성(cohesiveness), 씹힘성(chewiness)을 측정하였다. 조직감 측정에 사용한 시료는 두부 슬라이서로 1.5 cm 간격으로 일정하게 절단한 두부를

1.5 cm×1.5 cm×3 cm 크기로 자른 후 8회 반복 측정된 평균값을 사용하였다.

2.11. 통계 분석

모든 데이터는 3회 반복 측정하였고 mean±SD로 표기하였다. 얻어진 결과를 SPSS package(version 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 Duncan's multiple range test를 통하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성 있는 그룹간의 차이를 검정하였으며, 상관관계는 Pearson의 상관계수로 나타내었다. 휘발성 향기 성분 계층적 군집분석은 R software package(R foundation, Vienna, Austria) version 4.1.1 기반의 Metaboanalysis 프로그램을 활용하였으며 결과는 히트맵으로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 콩 일반성분 조성

2021년 국립식량과학원 3개 지역(수원, 대구, 김제)에서 생산된 3개 콩 품종(대원콩, 선유2호, 선풍)의 일반성분 함량 분석 결과는 Table 1과 같다. 조단백질 함량이 35.26(선유2호, 대구)-38.69(대원콩, 대구) g/100 g 범위를 보였다. 단백질 함량과 두부 경도와의 상관성이 확인되었고($r=0.774^*$), 이는 선형연구와도 일치하는 결과였다(Sim 등, 2020). 지역별 콩 단백질 함량 분석 결과, 수원산 세 품종은 통계적 유의차가 없었고, 나머지 두 지역(대구, 김제)에서는 대원콩의 단백질 함량이 다른 품종에 비해 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 단, 대구지역에서는 선풍의 단백질 함량이 대원콩 수준으로 높았다. 조지방은 여러 무기 성분들을 포함하는 것으로 5.85(대원콩, 김제)-6.41(선유2호, 대구 및 수원) g/100 g 범위를 보였으며 9개 콩 시료 중 재배지역에 관계없이 선유2호의 함량이 나머지 두 품종에 비해 높았다. 조지방 및 조탄수화물 함량은 각각 21.38(대원콩, 대구)-24.17(선유2호, 김제) g/100 g 및 25.70(대원콩, 김제)-29.57(선유2호, 대구) g/100 g의 범위를 나타내었다. 김제 지역에서 재배한 콩은 품종에 관계없이 조지방 함량이 다른 두 지역보다 높았고($p < 0.05$), 조탄수화물 함량은 다른 두 지역보다 낮았다. 같은 품종이라고 할지라도 재배환경에 따라 토양 조건, 일조량 및 강수량 등의 차이로 인해 이화학 성분의 차이가 발생할 수 있음을 확인하였다.

3.2. 콩 저장 단백질 비율

콩 단백질의 대부분인 70-80%는 글리시닌(Glycinin, 11S)과 콩글리시닌(β -Conglycinin, 7S)으로 구성되어 있으며 이러한 두 종류의 저장 단백질은 열에 의해 변성되면서 두부 구조와 질감을 형성하고 두부 맛과 향에 중요한 영향을 미친다. Guo와 Ono(2005) 및 Utsumi와 Kinsella(1985)의 연구에서는

Table 1. Proximate composition of three soybean cultivars grown in three different regions

Growing region	Cultivar	Proximate composition (g/100 g, Dry Basis)				
		Crude protein	Crude fat	Crude ash	Carbohydrate	Moisture
Suwon	<i>Daewonkong</i>	36.34±0.25 ^{1)c2)}	22.50±0.07 ^c	6.35±0.08 ^a	34.81±0.35 ^{ab}	6.25±0.07 ^c
	<i>Seonyu2ho</i>	36.54±0.79 ^c	23.33±0.20 ^c	6.41±0.06 ^a	33.73±0.76 ^{cdc}	5.56±0.09 ^c
	<i>Seonpung</i>	36.26±0.10 ^c	23.45±0.10 ^{bc}	6.21±0.04 ^b	34.09±0.09 ^{bcd}	5.90±0.03 ^d
Daegu	<i>Daewonkong</i>	38.69±0.28 ^a	21.38±0.10 ^g	5.86±0.07 ^d	34.06±0.39 ^{bcd}	6.32±0.00 ^c
	<i>Seonyu2ho</i>	35.26±0.51 ^d	22.81±0.21 ^d	6.41±0.09 ^a	35.52±0.50 ^a	5.95±0.13 ^d
	<i>Seonpung</i>	38.15±0.35 ^a	21.85±0.17 ^f	5.98±0.07 ^c	34.02±0.24 ^{bcd}	6.28±0.09 ^c
Gimje	<i>Daewonkong</i>	37.46±0.05 ^b	23.66±0.24 ^b	5.85±0.06 ^d	33.02±0.21 ^e	7.33±0.07 ^a
	<i>Seonyu2ho</i>	36.38±0.20 ^c	24.17±0.18 ^a	6.13±0.05 ^b	33.32±0.40 ^{dc}	6.18±0.19 ^c
	<i>Seonpung</i>	36.07±0.41 ^c	23.63±0.16 ^{bc}	5.89±0.01 ^{cd}	34.41±0.54 ^{bc}	6.89±0.03 ^b
Mean		36.79	22.98	6.12	34.11	6.29

¹⁾All values are mean±SD (n=3).

²⁾Different superscript letters (^{a-g}) in the same column indicate significant differences (p<0.05) by Duncan’s multiple range test.

저장 단백질의 조성 과 두부 경도가 상관성이 있다고 하였다. 7S 단백질(β -Conglycinin)은 낮은 응고 강도로 부드럽고 연한 텍스처를 만들고, 수용성이 높아 두부를 더 부드럽고 촉촉하게 만든다. 반면, 11S 단백질(Glycinin)은 더 단단하고 밀도 높은 조직감을 형성해 두부를 단단하고 견고한 식감으로 만드는데 기여한다고 알려져 있다(Wang 등, 2018). 그럼에도 불구하고, 다른 연구에서는 두부의 저장 단백질 비율과 두부의 물성이 상관 관계가 없다고 하였다(Cai와 Chang, 1999; Mujoo 등, 2003; Skurray 등, 1980). 9개 콩의 11S/7S 비율 분석결과는 Fig. 1과 같았다. 대원콩(수원, 대구, 김제)의 11S/7S 비율이 각각 1.92, 1.30, 1.56로 분석되었고 두부 경도와 의 상관성을 확인할 수 없었다. 이는, 두부가 순수 단백질 분리물로만 제조한 것이 아니기 때문으로 판단되었다. 두부 향기특성 관련 7S 저장단백질은 휘발성 화합물과 상대적으로 낮은 응고 강도로 결합하여 더 많은 지방과 휘발성 성분들이 두부 매트릭스에 남아 향을 발현할 가능성

이 예측되었고 관련한 추가연구가 필요할 것으로 판단되었다.

3.3. 콩 아미노산 함량

단백질과 아미노산 함량은 분석법 차이 및 유리 아미노산의 존재 등으로 일부 차이가 확인되었다(Table 2). 총 아미노산 함량은 대원콩(김제), 대원콩(대구) 및 선풍(대구)이 나머지 품종(재배지)에 비해 통계적으로 높았다(p<0.05). Im 등(2016)이 수행한 조리방법에 따른 콩의 아미노산 함량 분석 결과, 원료콩(생콩)과 조리콩(삶은콩, 볶은콩)의 아미노산 함량은 수치적으로는 미미하나, 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 두부는 비지를 제거하는 공정을 포함하므로 원료 콩과 두부 분석결과는 차이가 예상되었다. 두부의 주재료인 콩의 아미노산 함량은 glutamic acid가 7,775(대원콩, 김제)-7,106(선풍, 김제) mg/100 g으로 가장 높았고, aspartic acid, leucine, arginine, lysine 순으로 높았으며, methionine과 cysteine은 가장 낮은 함량을 나타

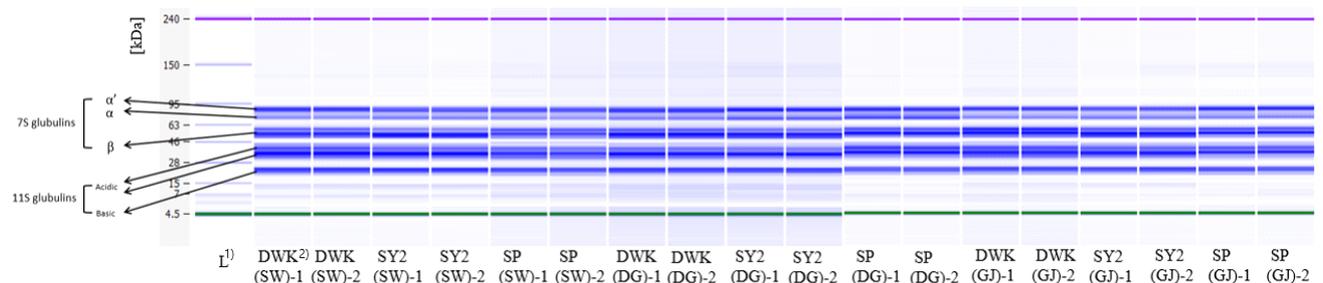


Fig. 1. Electrophoresis profile of glycine and β -conglycinin of soybean cultivars. ¹⁾L, ladder. ²⁾Cultivar: *Daewonkong* (DWK), *Seonyu2ho* (SY2), *Seonpung* (SP); Growing region: Suwon (SW), Daegu (DG), Gimje (GJ).

Table 2. Amino acid content of three soybean cultivars grown in three different regions

Growing region	Cultivar	Amino acid (mg/100 g)								
		Asp ¹⁾	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Cys	Val	Met
SW ³⁾	DWK ²⁾	4,521.9 ^{4)bc5)}	1,588.5 ^{abc}	1,950.7 ^{bc}	7,162.9 ^b	1,670.8 ^{abc}	1,751.0 ^{abcd}	497.8 ^{ns}	1,750.2 ^{ns}	237.1 ^{bc}
	SY2	4,416.7 ^c	1,511.3 ^c	1,950.3 ^{bc}	7,238.9 ^b	1,627.5 ^{bc}	1,718.2 ^{cd}	510.2	1,768.2	186.9 ^d
	SP	4,492.3 ^{bc}	1,587.0 ^{abc}	1,986.7 ^{abc}	7,253.9 ^b	1,650.7 ^{bc}	1,742.1 ^{bcd}	624.9	1,758.3	227.8 ^{bc}
DG	DWK	4,756.3 ^a	1,638.7 ^a	2,043.2 ^{ab}	7,662.0 ^a	1,747.9 ^a	1,825.2 ^{ab}	518.5	1,837.8	238.5 ^{bc}
	SY2	4,388.0 ^c	1,506.8 ^c	1,928.7 ^{bc}	7,241.4 ^b	1,618.4 ^c	1,697.2 ^d	514.1	1,774.2	212.8 ^{cd}
	SP	4,680.0 ^{ab}	1,616.3 ^{ab}	2,017.9 ^{abc}	7,681.2 ^a	1,709.7 ^{ab}	1,803.0 ^{abc}	553.3	1,819.5	214.3 ^{cd}
GJ	DWK	4,759.3 ^a	1,655.0 ^a	2,094.6 ^a	7,775.9 ^a	1,746.2 ^a	1,836.3 ^a	534.9	1,814.4	270.1 ^a
	SY2	4,417.2 ^c	1,503.7 ^c	1,917.3 ^c	7,252.9 ^b	1,628.5 ^{bc}	1,727.5 ^{cd}	540.7	1,790.4	229.0 ^{bc}
	SP	4,407.8 ^c	1,537.2 ^{bc}	1,923.0 ^c	7,106.1 ^b	1,616.4 ^c	1,716.0 ^{cd}	570.1	1,719.9	244.9 ^{ab}
Mean		4,537.7	1,571.6	1,979.2	7,375.0	1,668.5	1,757.4	540.5	1,781.4	229.0
Growing region	Cultivar	Amino acid (mg/100 g)								Sum
		Ile	Leu	Tyr	Phe	Lys	His	Arg	Pro	
SW ³⁾	DWK ²⁾	1,797.9 ^{bc}	3,117.8 ^{cd}	1,413.4 ^{abc}	1,954.5 ^{cd}	2,534.4 ^{bc}	1,002.6 ^{bc}	2,902.4 ^{bc}	1,943.9 ^{cd}	37,798 ^{bc}
	SY2	1,752.8 ^c	3,131.1 ^{bcd}	1,365.7 ^c	1,973.1 ^{bcd}	2,461.2 ^c	995.3 ^{bc}	2,921.2 ^{bc}	1,950.0 ^{bcd}	37,479 ^{bc}
	SP	1,760.2 ^c	3,121.4 ^{cd}	1,433.0 ^{abc}	1,909.7 ^d	2,562.9 ^{abc}	1,007.7 ^{bc}	2,833.3 ^c	1,935.4 ^{cd}	37,887 ^{bc}
DG	DWK	1,890.7 ^a	3,285.8 ^{ab}	1,484.6 ^{ab}	2,072.9 ^a	2,623.6 ^{ab}	1,058.2 ^a	3,194.6 ^a	2,055.9 ^{ab}	39,934 ^a
	SY2	1,763.3 ^c	3,123.6 ^{cd}	1,370.3 ^c	1,947.8 ^d	2,452.9 ^c	995.8 ^{bc}	2,883.4 ^c	1,940.0 ^{cd}	37,359 ^{bc}
	SP	1,870.7 ^{ab}	3,251.8 ^{abc}	1,449.6 ^{abc}	2,049.5 ^{abc}	2,623.3 ^{ab}	1,026.9 ^{ab}	3,042.7 ^b	2,015.3 ^{abc}	39,425 ^{ab}
GJ	DWK	1,889.1 ^a	3,344.8 ^a	1,494.3 ^a	2,056.4 ^{ab}	2,675.3 ^a	1,059.6 ^a	3,048.3 ^b	2,076.0 ^a	40,131 ^a
	SY2	1,800.9 ^{bc}	3,130.2 ^{bcd}	1,389.0 ^{bc}	1,959.5 ^{bcd}	2,487.7 ^{bc}	1,006.4 ^{bc}	2,939.2 ^{bc}	1,949.7 ^{bcd}	37,700 ^{bc}
	SP	1,757.5 ^c	3,066.6 ^d	1,388.3 ^{bc}	1,921.5 ^d	2,505.3 ^{bc}	971.6 ^c	2,790.9 ^c	1,892.0 ^d	37,135 ^c
Mean		1,809.2	3,174.8	1,420.9	1,982.8	2,547.4	1,013.8	2,950.7	1,973.1	38,313

¹⁾Asp, aspartic acid; Thr, threonine; Ser, serine; Glu, glutamic acid; Gly, glycine; Ala, alanine; Cys, cysteine; Val, valine; Met, methionine; Ile, isoleucine; Leu, leucine; Tyr, tyrosine; Phe, phenylalanine; Lys, lysine; His, histidine; Arg, arginine; Pro, proline.

²⁾Cultivar: *Daewonkong* (DWK), *Seonyo2ho* (SY2), *Seonpung* (SP).

³⁾Growing region: Suwon (SW), Daegu (DG), Gimje (GJ).

⁴⁾All values are mean (n=3).

⁵⁾Different superscript letters in the same column indicate significant differences (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

내었는데 이는 선행연구 결과와도 일치하였다(Hong 등, 1990). 아미노산은 식품의 영양뿐만 아니라 풍미(맛, 향)와도 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 맛을 내는 대표적 아미노산으로는 glutamic acid(감칠맛), glycine(단맛, 감칠맛), alanine(단맛), aspartic acid(감칠맛, 신맛), histidine(쓴맛, 감칠맛), proline(단맛) 등이 있다(Kato와 Rhue, 1987; Kawai 등, 2002; Maga, 1983; Ninomiya, 1998; Solms, 1969; Solms과 Wyler, 1979). 본 연구재료인 콩의 각 아미노산 분석 결과와 두부 전자혀의 맛 분석 결과는 통계적으로 유의한 상관성을 보이지 않았다(data not shown). 총아미노산 함량과 유사하게 대구산 및 김제산 대원콩

의 각 아미노산 함량이 높았고, 선유2호에서는 낮은 것으로 분석되어 품종 및 재배지역에 따른 특성을 확인하였다(Table 2). 다만, 이는 각 맛의 역치값을 고려하지 않은 단순 아미노산의 절대값으로 확인한 것이므로 두부 풍미특성에 영향을 주는 아미노산의 구명과 맛의 역치값에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 확인되었다.

3.4. 콩 지방산 함량

지방(중성지방)은 글리세롤 한 분자에 지방산 세 분자가 결합하여 구성되므로 지방산 구성이 콩과 가공품의 맛과 향에 많

은 영향을 준다고 하였다(Liu, 1997). Table 1의 조지방과의 상관성 분석에서 총 지방산 및 불포화지방산은 각각 정의 상관을 나타내었다($r=0.899^{**}$, 0.836^{**}). Chen 등(2014)의 연구에 따르면 linoleic acid, oleic acid, palmitic acid 및 α -linolenic acid가 콩 oil body에서 주요 지방산을 이루는 성분으로 전체 지방산의 약 96%를 차지한다고 하였는데 본 연구에서도 94.7-96.0% 범위를 나타내어 재배지역 및 품종 간 차이는 있지만 선행연구와 거의 일치함을 확인하였다(Table 3). 특히, 콩의 주요 지방산으로 다중불포화지방산의 주요 구성성분인 linoleic acid와 α -linolenic acid가 산화되어 생성된 aldehyde, alcohol 등의 휘발성 화합물이 두부의 산패취 등을 유발한다고 하였다(Kitamura, 1984). 총 지방산과 불포화지방산은 정의 상관을 나타내었는데($r=0.946^{**}$), 이들의 비율이 두부의 맛과 향에 영향을 줄 것으로 판단되었다. 재배지역별 콩의 총 지방산 함량은 수원산 선풍이 233.58 mg/g으로 나머지 품종에 비해 높았고, 대구산 선유2호가 231.54 mg/g, 김제산 선유2호가 245.70 mg/g을 각각 나타내어 나머지 품종들에 비해 함량이 높았다. 콩의 불포화 지방산 함량은 총 지방산 함량 경향과 일치하였는데 수원산 선풍이 198.85 mg/g, 대구와 김제산 선유2호의 함량이 각각 191.00, 204.67 mg/g으로 나머지 품종들에 비해 높았다. 포화지방산 함량은 재배지역에 관계없이 선유2호가 39.03(수원), 40.54(대구) 및 41.03(김제) mg/g으로 가장 높았고, 대원콩이 34.74(수원), 32.79(대구) 및 34.92(김제) mg/g으로 가장 낮았다. 총 지방산 대비 불포화 지방산의 비율은 재배지역에 관계없이 대원콩이 0.85로 가장 높았고, 선유2호가 0.82-0.83으로 가장 낮았다. 수원산 선풍만 대원콩과 같이 0.85를 나타내었고,

대구산 및 김제산 선풍은 0.83을 나타내어, 같은 품종이라 할지라도 일부 품종에서는 재배환경에 따른 불포화지방산 함량 및 비율 차이를 확인하였다. 이는, 같은 품종의 콩이라도 저온 환경에서는 불포화지방산의 비율이 높아지는 경향이 있다는 선행연구 결과와 일치하는 것이었다(Bellaloui 등, 2013). 다른 두 품종보다 대원콩으로 제조한 두부에서 산패 관련 풍미 특성이 발현될 수 있는 가능성이 높을 것이라 판단되었다.

3.5. 콩 아미노산과 지방산의 주성분 분석

9개 콩의 아미노산과 지방산 함량과 조성에 따른 주성분 분석 결과는 Fig. 2와 같았고, 설명력은 각각 PC1 62.0%, PC2 24.4%이었다. 선유2호는 재배지역과 관계없이 stearic acid(C18:0), oleic acid(C18:1), arachidic acid(C20:0), eicosenoic acid(C20:1), behenic acid(C22:0)이 높았고, 선풍(수원) 콩은 linoleic acid(C18:2), α -linolenic acid(C18:3)이 높았다. 대구에서 단백질 함량이 상대적으로 낮은 선유2호를 제외한 2개 품종(대원콩, 선풍)과 김제산 대원콩(단백질 37%)은 9개 시료 중 단백질 함량이 높은 경향이었는데 PCA 맵 상에서도 대부분 아미노산 방향과 일치하였다. Fig. 3에서는 Fig. 2와 동일 분석항목(지방산, 아미노산 함량 및 조성)을 계층적 군집분석을 통해 나타내었다. 3개의 군집으로 나누면 선유2호는 재배지역에 관계없이 같은 군집으로 분류되었으나 선유2호(김제)가 수원산 및 대구산 선유2호에 비해 특성 차이가 예상되었다. 대원콩의 경우, 수원산은 대구산 및 김제산과는 다른 군집으로 분류되었고, 오히려 수원산 및 김제산 선풍과 특성이 더 가까웠으며, 반대로, 대구산 선풍은 수원산 및 김제산 선풍과는 다른 군집으로 분류되어 대

Table 3. Fatty acid content of three soybean cultivars grown in three different regions

Cultivation Region	Cultivar	Fatty acid content (mg/g)							Total fatty acid content (mg/g)	Un-saturated fatty acid (mg/g)	Saturated fatty acid (mg/g)	Ratio (unsaturated/total)	Ratio (saturated/total)	
		Omega-7		Omega-9		Omega-6	Omega-3	Arachidic acid (icosanoic acid) (C20:0)						
		Palmitic acid (C16:0)	Stearic acid (C18:0)	Oleic acid (C18:1)	Linoleic acid (C18:2)	α -linolenic acid (C18:3)	Eicosenoic acid (C20:1)	Behenic acid (C22:0)						
Suwon	Daewonkong	24.89 ^{d1)}	7.85 ^{cd}	51.53 ^d	123.26 ^b	16.64 ^{dc}	0.79 ^{cd}	0.51 ^{bc}	1.21 ^{de}	226.68 ^{bc}	191.95 ^c	34.74 ^e	0.85 ^a	0.15 ^b
	Seonyu2ho	27.42 ^c	9.17 ^b	63.41 ^b	107.65 ^f	14.50 ^f	0.98 ^{ab}	0.57 ^b	1.46 ^b	225.16 ^c	186.13 ^{dc}	39.03 ^{bc}	0.83 ^b	0.17 ^a
	Seonpung	25.58 ^d	7.33 ^c	45.13 ^f	130.50 ^a	22.76 ^a	0.69 ^d	0.47 ^c	1.14 ^c	233.58 ^b	198.85 ^b	34.73 ^{ef}	0.85 ^a	0.15 ^b
Daegu	Daewonkong	22.71 ^c	8.00 ^c	55.94 ^c	113.14 ^{dc}	14.79 ^{ef}	0.80 ^c	0.51 ^{bc}	1.28 ^{cd}	217.17 ^d	184.38 ^c	32.79 ^f	0.85 ^a	0.15 ^b
	Seonyu2ho	28.89 ^{ab}	9.31 ^{ab}	55.54 ^c	118.25 ^c	16.66 ^{dc}	0.96 ^b	0.54 ^{bc}	1.38 ^{bc}	231.54 ^{bc}	191.00 ^{cd}	40.54 ^{ab}	0.82 ^b	0.18 ^a
	Seonpung	28.00 ^{bc}	6.90 ^f	48.80 ^c	114.91 ^{cd}	17.52 ^{cd}	0.76 ^{cd}	0.47 ^c	1.23 ^{de}	218.60 ^d	181.71 ^c	36.89 ^d	0.83 ^b	0.17 ^a
Gimje	Daewonkong	25.49 ^d	7.50 ^{dc}	51.00 ^d	126.92 ^{ab}	19.74 ^b	0.74 ^{cd}	0.52 ^{bc}	1.20 ^{de}	233.11 ^b	198.18 ^b	34.92 ^e	0.85 ^a	0.15 ^b
	Seonyu2ho	28.77 ^{abc}	9.55 ^a	79.12 ^a	110.30 ^{ef}	14.58 ^f	1.07 ^a	0.68 ^a	1.64 ^a	245.70 ^a	204.67 ^a	41.03 ^a	0.83 ^b	0.17 ^a
	Seonpung	29.73 ^a	6.91 ^f	51.89 ^d	123.29 ^b	18.72 ^{bc}	0.76 ^{cd}	0.52 ^{bc}	1.20 ^{de}	233.02 ^b	194.42 ^{bc}	38.59 ^c	0.83 ^b	0.17 ^a
Mean		26.83	8.06	55.82	118.69	17.32	0.84	0.53	1.30	229.39	192.37	37.03	0.84	0.16

¹⁾Different superscript letters in the same column indicate significant differences ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

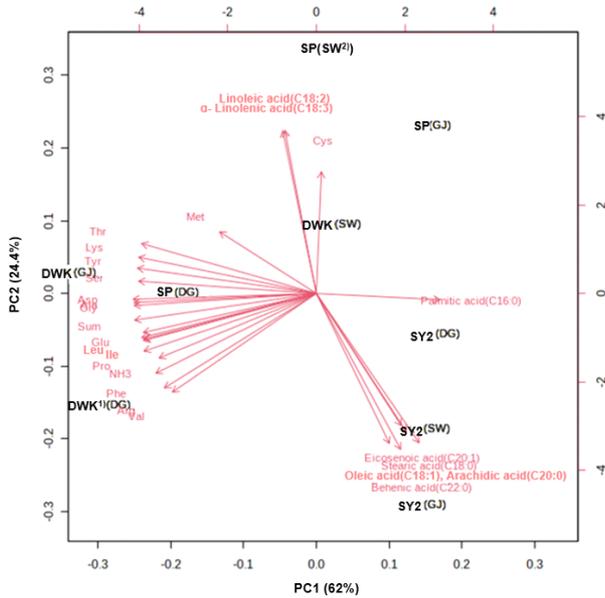


Fig 2. PCA of amino acids and fatty acids of nine soybean cultivars grown in three different regions. ¹Cultivar: *Daewonkong* (DWK), *Seonyo2ho* (SY2), *Seonpung* (SP). ²Growing region: Suwon (SW), Daegu (DG), Gimje (GJ).

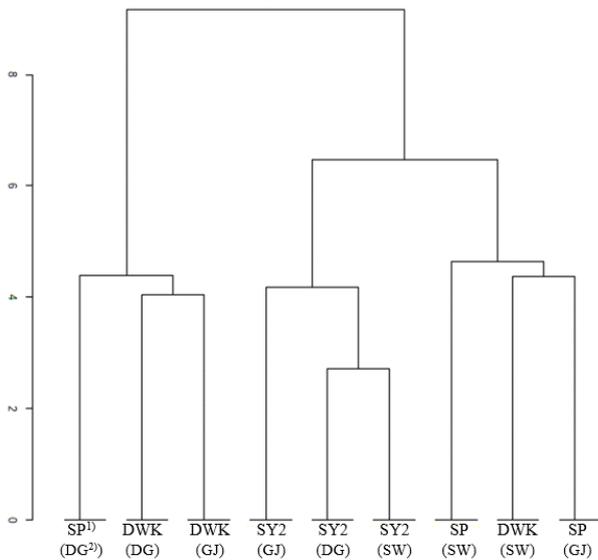


Fig 3. Dendrogram of hierarchical clustering of nine soybean cultivars by amino acid and fatty acid content and composition. ¹Cultivar: *Daewonkong* (DWK), *Seonyo2ho* (SY2), *Seonpung* (SP). ²Growing region: Suwon (SW), Daegu (DG), Gimje (GJ).

구산 및 김제산 대원콩과 같은 군집으로 분류되었다. 2개의 군집으로 나누면 대원콩(수원산 제외)이 나머지 두 품종과는 특성이 다른 것으로 분석되었다. Fig. 2와 Fig. 4의 결과 모두 선

유2호가 같은 군집으로 나뉘었는데, 이는 원료콩의 아미노산 및 지방산 특성과 두부의 향기성분이 관련성이 있는 결과로 판단되었다. 특히, 선유2호 두부에서는 alcohol류의 비율이 다른 성분들에 비해 높은 것으로 확인되었는데, 콩의 지방산 조성과의 관련성이 예상되었다.

3.6. 두부 맛 분석(E-tongue)

전자혀를 이용하여 두부의 맛을 분석한 결과는 Fig. 5와 같았는데, 특히 대원콩(수원) 두부는 9개 샘플 중 신맛, 짠맛, 감칠맛의 센서 강도가 가장 높았다. 두부 풍미(맛, 향)에는 콩의 자당, 사포닌, 피틴산 및 지방산과 아미노산 조성 and lipoxxygenase와 같은 효소 활성 영향을 준다고 하였다. 먼저, 맛을 내는 대표적인 펩타이드와 아미노산으로 glutathione (glutamic acid, cysteine 및 glycine, tripeptide)은 감칠맛(Yamaguchi와 Ninomiya, 2000)을, carnosine(histidine과 β-alanine으로 구성, dipeptide)은 감칠맛과 쓴맛(Abe, 2000)을, carnosine과 유사한 anserine(histidine과 β-alanine으로 구성, dipeptide)은 감칠맛과 쓴맛(Tian 등, 2007)을, valyl-tyrosine(valine과 tyrosine으로 구성, dipeptide)은 쓴맛(Shimizu와 Yano, 1986)을 각각 낸다고 하였다. 수원산 콩의 각 아미노산은 품종에 따른 통계적 유의차를 보이지 않았고 대구와 김제산 대원콩에서 각 아미노산 함량이 높았으며, 선유2호는 낮은 것으로 분석되었는데 센서값과 상관성은 확인되지 않았다(Table 3). 또한, 단맛(glycine, alanine), 감칠맛(glutamic acid) 등의 특정 맛을 낸다고 알려진 아미노산과 전자혀 수치는 상관성이 없었다(data not shown). 포함된 탄수화물 중 일부는 두부의 단맛과 감칠맛 형성에 기여하고, 올리고당과 같은 비전분 다당류는 두부 맛을 부드럽게 하고 식감을 개선하며, 콩의 사포닌이나 피틴산과 같은 항영양소는 두부맛에 쓴맛 또는 떼은맛을 유발할 수 있다고 하였다. 그러나, 본 연구의 시험재료인 9개 콩의 자당, 피틴산과 두부 맛 성분들의 상관성 분석 결과, 통계적으로 유의한 상관성이 확인되지 않았다(data not shown). 이는 기기적인 맛 분석과 이화학 분석 방법의 차이, 맛 분석 결과에 영향을 미치는 이화학 성분 차이 또는 시료 결핍값의 미미한 차이로 인한 가능성 등이 예상되었다. 결과적으로, 전자혀 센서값은 패널로 평가하는 감각평가 결과와 차이가 날 수 있으므로 원료의 이화학 성분 분석뿐만 아니라 감각평가에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각되었다.

3.7. 두부 향기 분석(E-nose 및 SPME-GC-MS)

콩물에서 비지를 제거한 두유를 응고시켜 만드는 두부는 응고 과정에서 콩의 각 성분(단백질, 지방산 등)과 제조 공정이 복합적으로 화학반응하여 특유의 향을 형성하게 된다. 본 연구에서는 전자코와 SPME-GC-MS를 이용하여 휘발성 향기를 각각 분석하였다. 먼저, 전자코를 이용하여 재배지역에 따른

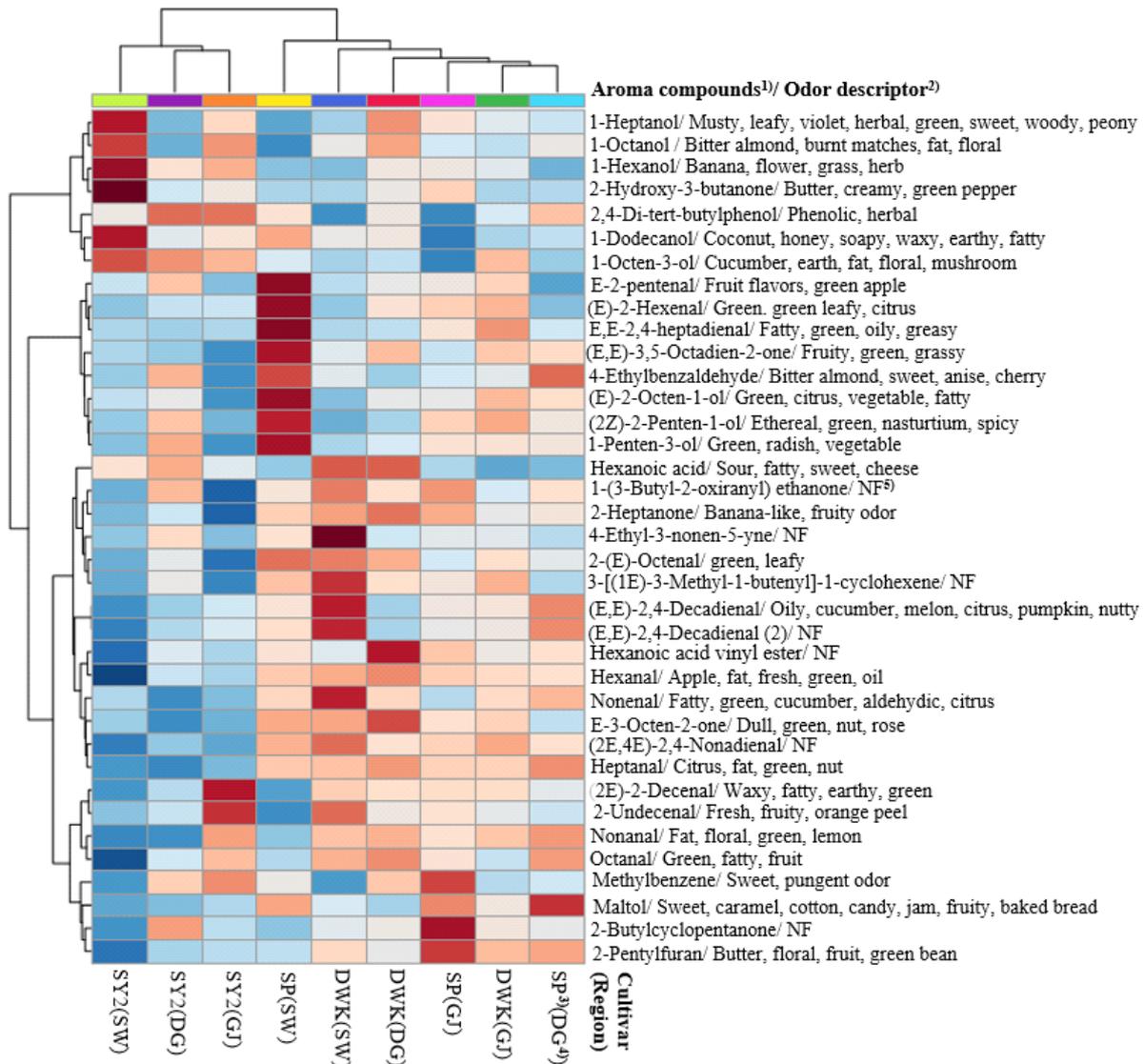


Fig. 4. Hierarchical cluster analysis of volatile aroma compounds and *tofu* samples using GC/MS. ¹⁾Compounds of the aroma on *tofu*. ²⁾Odor description by The Flavor and Extract Manufacturers Association of the United States and The Good Scent Company Information System. ³⁾Cultivar: *Daewonkong* (DWK), *Seonyo2ho* (SY2), *Seonpung* (SP). ⁴⁾Growing region: Suwon (SW), Daegu (DG), Gimje (GJ). ⁵⁾NF, not found.

콩 제조 두부 향기성분을 분석한 결과는 Table 4와 같았다. 9개 시료에서 2-methylbutane과 acetaldehyde가 주요 성분으로 총 41-57종의 휘발성 화합물이 확인되었다. 두 화합물과 전체 향기성분 면적 값은 품종에 관계없이 김제산 콩 제조 두부에서 가장 높았는데, 이와 같은 특성은 김제산 콩의 지방 함량이 나머지 지역 콩에 비해 높은 것과 관련성이 예측되었다(Table 1). 주요 화합물과 지방산의 상관분석 결과, acetaldehyde와 palmitic acid($r=0.711^*$), trichloroethylene과 linoleic acid($r=0.771^*$)의 상관성이 각각 확인되었다. 2-methylbutane은 oleic acid($r=0.671^*$), eicosenoic acid($r=0.761^*$), total fatty acid($r=0.853^{**}$), unsaturated

fatty acid($r=0.759^*$)와 각각 정의 상관이 분석되었다. 반면, SPME-GC-MS를 이용하여 향기성분을 분석한 결과, alcohol 5종, aldehyde 5종, ester 4종, furan 6종, hydrocarbon 5종, ketone 4종, pyridine 2종, phenolic compounds 2종, (E,E)-2,4-decadienal(ketone), 1-hexanol(alcohol), 1-octen-3-ol(alcohol), 2,4-di-tert-butylphenol(alcohol), hexanal(aldehyde), maltol(alcohol) 등 총 37종의 휘발성 화합물이 확인되었고, 전체 향기성분 대비 각 향기성분의 함량 비율을 히트맵으로 나타내었다(Fig. 4). 모든 시료에서 1-hexanol과 1-octen-3-ol이 검출되었고, 각 시료별 다른 화합물에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$). 군집분석

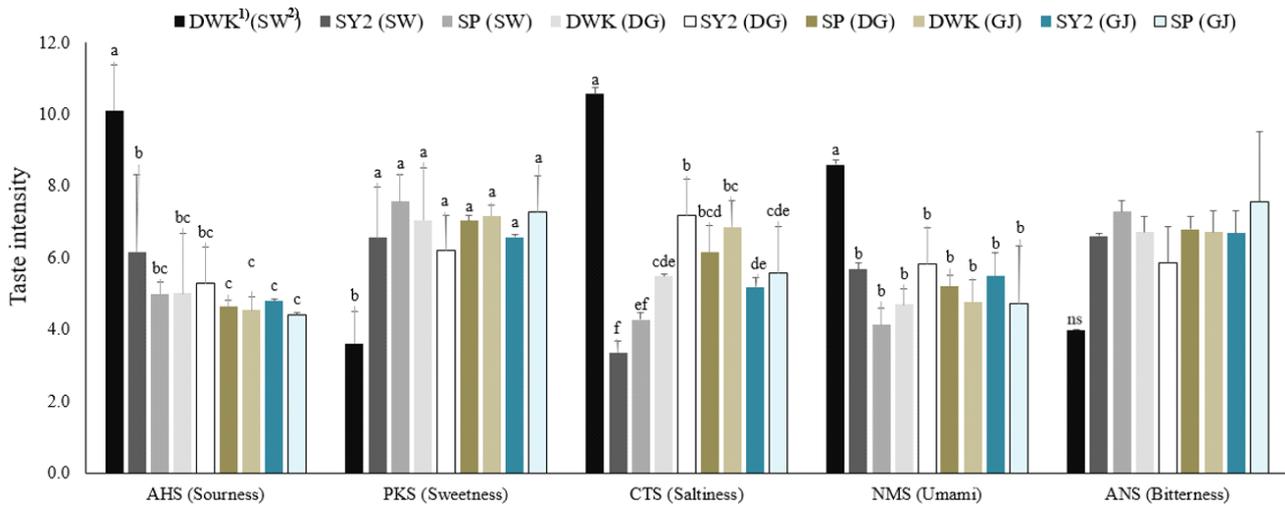


Fig. 5. Tofu taste intensity measured by electronic tongue. ¹Cultivar: *Daewonkong* (DWK), *Seonyo2ho* (SY2), *Seonpung* (SP). ²Growing region: Suwon (SW), Daegu (DG), Gimje (GJ). ³NS, not significant. Mean values with different letters within the same color's bars are significantly different according to Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

Table 4. Volatile aroma components of nine tofu measured by electronic nose

Growing region				Suwon			Daegu			Gimje		
Cultivars				<i>Daewonkong</i> <i>Seonyu2ho</i> <i>Seonpung</i>			<i>Daewonkong</i> <i>Seonyu2ho</i> <i>Seonpung</i>			<i>Daewonkong</i> <i>Seonyu2ho</i> <i>Seonpung</i>		
RT	Compounds		Odor description	(Unit: peak area)								
12.14	Acetaldehyde	Ethanol	floral, green	1,331.70	2,890.00	2,109.70	2,172.10	2,717.80	4,238.70	2,682.60	7,729.50	6,454.10
13.01	2-Methylbutane	Dimethyl sulfide	sulfurous	2,881.50	3,712.00	4,098.30	3,683.00	4,394.10	3,233.80	4,614.10	6,749.10	5,187.20
22.82	Trichloroethylene	Heptane	sweet, ethereal	1,035.00	776.3	1,249.10	968.4	1,186.90	804.7	1,317.60	1,005.20	991.8
27.77	2-Methylthiophene	Methyl 2-methylbutanoate	meaty, roasted	332.9	322.1	2,806.00	3,191.00	3,323.40	1,170.60	1,570.20	4,863.20	4,535.00
30.15	Octane	(E)-4-octene	gasoline	1,889.60	451.2	1,022.00	1,730.50	2,683.60	651.6	3,152.90	392.5	202.2
35.53	Dibutyl ether	1-Hexanol	ethereal, herbal	389.6	514.1	731.2	570.4	525.8	689.4	535.4	1,551.60	1,338.70
42.60	beta-Pinene		woody, green, pine	376.4	339.5	351.2	313.7	313.7	303.2	285.5	313.9	258.9
44.71	Octamethylcyclotetrasiloxane		odorless	1,361.40	1,043.10	1,372.60	1,189.30	1,080.80	881.6	1,068.30	1,091.70	1,170.10
47.15	Methyl cyclohexanecarboxylate		fruity	385	313.7	296.6	253.6	262.8	241.1	196.4	219.3	157.9
57.82	Pyridine		sickening, sour	431.3	221.8	189.9	200.3	195.3	193.5	192	243.9	217.8
63.68	Tridecane		green	560.6	133.6	92.3	76.9	72.6	54.9	ND	52.7	53.4
69.32	Tetradecane		mild waxy	716.6	277.9	113.9	96.9	90.9	180.1	123.4	110.3	97
Sum				11,691.60	10,995.30	14,432.80	14,446.10	16,847.70	12,643.20	15,738.40	24,322.90	20,664.10

(텐드로그램)에서는 지역에 관계없이 선유2호 콩 품종으로 만든 두부의 휘발성 향기 화합물이 같은 군으로 분류되었다(Fig.

4). 대표 화합물로 1-hexanol은 신선한 풀향, 식물성 향을 내며 linoleic acid(C18:2) 또는 α -linolenic acid(C18:3)의 산화과정

에서 생성된다. 또한, 1-octen-3-ol은 버섯향이 나거나 흙내를 내는데 α -linolenic acid(C18:3)에서 유래할 수 있다. Maltol은 단향, 카라멜 향과 유사한 향을 내는데, 열처리 과정에서 당과 아미노산의 반응인 마이야르 반응을 통해 생성될 수 있고 두부의 고소한 맛과 향에 기여할 수 있다. 그러나, 두부의 매트릭스에는 지방산 뿐만 아니라 단백질, 탄수화물, 미량성분이 모두 포함되어 있기 때문에 단순한 지방산 함량만으로 향기의 결정은 어려운 부분이다. 콩에 들어있는 리폭시제나제(lipoxygenase) 효소는 불포화 지방산을 산화시켜 두부의 풋내와 고소한 냄새를 유발하는데, hexanal과 2-penylfuran이 linoleic acid의 산화로 생성된다고 하였다. 산화된 지방(산)은 산패취(rancid odor)를 유발하여 두부의 신선한 풍미를 저하 및 변화시키게 된다. 따라서, lipoxygenase를 유전적으로 제거하여(gene knockout) 발현되지 않게 하는 콩을 육성하여 이러한 부정적 요인을 감소시키려는 시도가 국내외에서 진행된 바 있다(Yang 등, 2016). 또한, phenylglycine의 분해로 benzaldehyde가 생성될 수 있다는 선행 연구 보고도 있으므로 두부 풍미특성에 영향을 주는 지방산, 아

미노산 등의 성분 구명에 대한 추가 연구가 필요하다(Adamic 등, 2001; Solina 등, 2005).

3.8. 두부 수율, 물성 및 색도

9개 두부의 수율, 물성, 색도 분석 결과는 Table 5와 같았다. 두부 수분 함량과 수율(습량 기준)은 각각 80.55(대원콩, 수원)-82.26(선풍, 대구)%, 228(대원콩, 수원)-270(선풍, 대구)%의 범위를 나타내었고, 건량기준 두부 수율은 44.04(대원콩, 김제)-47.93(선풍, 대구)%를 나타내었다. 두부 색도는 김제산 콩(논 환경) 제조 두부의 백색도가 다른 두 지역 콩 제조(밭 환경) 두부에 비해 낮았고, 선유2호 두부를 제외하고 적색도 및 황색도는 높았다. 경도, 부착성, 탄력성, 씹힘성 분석 결과, 대구산 콩 제조 두부의 경도와 씹힘성이 높았고(단, 선유2호 제외), 김제산 콩 제조 두부의 경도와 씹힘성이 낮았으며, 수원산 콩 제조 두부는 중간 범위를 보였다. 대구산 대원콩 두부만 0.25로 부착성이 가장 낮았고 나머지 시료에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 이는 단백질 함량이 가장 높은 대원콩(대구)의

Table 5. Quality characteristics (yield, color value and TPA) of nine *tofu* samples

Growing region ¹⁾	Cultivar	Moisture (%)	Yield		Color value			TPA (Textural profile analysis)			
			(WB ³⁾ , %)	(DB ⁴⁾ , %)	L*	a*	b*	Hardness (g)	Adhesiveness (N/m ²)	Springiness	Chewiness (g)
Suwon	DWK ²⁾	80.55 ±1.16 ^{NS5)}	228.9 ±5.14 ⁴⁶⁾	44.49 ±1.66 ^{NS}	90.34 ±0.14 ^c	0.41 ±0.02 ^{bc}	12.43 ±0.16 ^g	728.29 ±90.92 ^{bc}	0.35 ±0.03 ^a	0.84 ±0.02 ^{ab}	181.97 ±20.04 ^{cd}
	SY2	81.3 ±1.25	242.0 ±2.97 ^{bc}	45.25 ±2.47	90.21 ±0.11 ^d	0.43 ±0.06 ^{abc}	13.80 ±0.13 ^d	732.21 ±63.09 ^{bc}	0.33 ±0.04 ^a	0.86 ±0.02 ^a	194.59 ±17.56 ^{bc}
	SP	80.66 ±1.12	242.7 ±0.47 ^{bc}	46.96 ±2.82	90.49 ±0.06 ^b	0.46 ±0.05 ^{ab}	13.15 ±0.05 ^f	691.60 ±92.89 ^c	0.39 ±0.11 ^a	0.84 ±0.05 ^{ab}	179.48 ±34.71 ^{dc}
Daegu	DWK	81.71 ±0.12	246.1 ±2.59 ^{bc}	45.06 ±0.18	90.65 ±0.09 ^a	0.34 ±0.05 ^d	11.90 ±0.11 ^h	817.81 ±83.56 ^a	0.25 ±0.06 ^b	0.85 ±0.01 ^a	224.40 ±18.55 ^a
	SY2	81.71 ±0.64	251.0 ±5.23 ^b	45.90 ±0.66	90.30 ±0.11 ^{cd}	0.38 ±0.06 ^{cd}	14.12 ±0.08 ^b	615.13 ±64.04 ^d	0.32 ±0.06 ^a	0.84 ±0.03 ^{ab}	154.15 ±18.95 ^{fg}
	SP	82.26 ±0.76	270.2 ±3.58 ^a	47.95 ±2.70	90.39 ±0.08 ^{bc}	0.48 ±0.06 ^a	13.28 ±0.14 ^f	750.67 ±103.76 ^b	0.31 ±0.07 ^a	0.84 ±0.02 ^{ab}	201.88 ±26.11 ^b
Gimje	DWK	81.25 ±0.37	234.9 ±5.28 ^{cd}	44.08 ±0.11	89.52 ±0.15 ^g	0.48 ±0.03 ^a	13.97 ±0.13 ^c	695.93 ±47.76 ^c	0.32 ±0.06 ^a	0.84 ±0.03 ^{ab}	172.94 ±18.06 ^{dc}
	SY2	81.22 ±1.15	240.0 ±8.77 ^{bcd}	45.03 ±1.12	90.10 ±0.14 ^c	0.41 ±0.06 ^{bc}	13.61 ±0.19 ^c	635.87 ±79.76 ^d	0.33 ±0.04 ^a	0.84 ±0.02 ^{ab}	167.07 ±22.91 ^{ef}
	SP	82.27 ±0.60	249.1 ±8.16 ^b	44.18 ±0.05	89.64 ±0.09 ^f	0.48 ±0.04 ^a	14.59 ±0.18 ^a	553.36 ±39.12 ^c	0.32 ±0.05 ^a	0.82 ±0.03 ^b	143.39 ±16.96 ^g
Mean		81.44	244.99	45.43	90.18	0.43	13.43	691.21	0.32	0.84	179.99

¹⁾Growing region: Suwon (SW), Daegu (DG), Gimje (GJ).

²⁾Cultivar: *Daewonkong* (DWK), *Seonyo2ho* (SY2), *Seonpung* (SP).

³⁾WB, wet basis.

⁴⁾DB, dry basis.

⁵⁾NS, not significant.

⁶⁾Different superscript letters (^{a-g}) in the column indicate significant differences (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

두부 매트릭스에서 프로브와의 부착성이 가장 낮은 것으로 판단되었다. 콩의 단백질 함량과 두부의 경도 및 씹힘성은 양의 상관관계를 보였는데, 콩의 저장단백질 조성과 두부 가공법에 따라 두부 물성이 달라지므로 이와 관련한 추가 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

4. 요약

본 연구에서는 재배 지역별(수원, 김제, 대구) 주요 콩(대원콩, 선풍, 선유2호)의 이화학 성분과 두부의 풍미 및 품질 특성을 기기적인 방법으로 분석하였다. 두부 맛과 향, 조직감에 영향을 주는 여러 인자들을 구명하기 위해 원료 콩의 아미노산, 지방산 등을 분석하였고, 두부의 맛, 향, 물성 등을 분석하였다. 분석 결과, 콩 단백질 함량과 두부 경도의 상관관계가 확인되었고, 재배지역별로 콩의 성분차이가 분석되었는데 특히 김제지역 콩의 조직감 함량이 다른 두 지역에 비해 높았다. 11S/7S 비율과 두부 경도와의 상관성은 확인되지 않았고, 맛을 내는 아미노산과 전자혀 이용 두부맛 분석 결과의 상관성 확인도 불가하였다. 콩의 아미노산, 지방산과 두부 향기성분이 관련성이 분석되었는데 특히 선유2호 두부에서는 alcohol류 비율이 다른 성분에 비해 높았다. 전자코 활용 두부 향기성분을 분석한 결과, 총 41-57종의 휘발성 화합물이 확인되었고 2-methylbutane, acetaldehyde가 주요 성분이었다. 지방산과의 상관분석 결과, acetaldehyde와 palmitic acid($r=0.711^*$), trichloro ethylene과 linoleic acid($r=0.771^*$)와 각각 정의 상관이 있었고, 2-methylbutane은 oleic acid($r=0.671^*$), eicosenoic acid($r=0.761^*$), total fatty acid($r=0.853^{**}$), unsaturated fatty acid($r=0.759^*$)와 각각 정의 상관이 분석되었다. SPME-GC-MS를 이용 향기성분 분석 결과, alcohol 5종, aldehyde 5종, ester 4종, furan 6종, hydrocarbon 5종, ketone 4종 등 총 37종의 휘발성 활성 화합물이 확인되었다. 모든 시료에서 1-hexanol과 1-octen-3-ol이 검출되었으며, 각 시료별 다른 화합물에 비해 유의하게 높았다. 두부 색도에는 콩 재배환경이 영향을 주는 것으로 분석되었다. 원료콩 품종 고유 특성뿐만 아니라 환경 또한 중요 영향인자로서 궁극적으로 두부의 이화학 품질 및 감각특성에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 따라서, 본 연구결과를 통해 재배지역별 주요 콩을 활용해 만든 두부 특성 검정에 참고자료로 활용가능할 것으로 생각되었다. 다만, 추후 패널을 통한 감각특성 평가에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

Funding

The research was supported by Rural Development Administration (PJ016826012022).

Acknowledgements

None.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Sim E. Writing - original draft: Sim E. Writing - review & editing: Sim E. Validation: Choi HS, Park HY, Kim HS, Chun A.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Eunyeong Sim (First & Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0003-3459-409X>

Hye-Sun Choi

<https://orcid.org/0000-0003-3430-518X>

Hye-Young Park

<https://orcid.org/0000-0001-9564-7672>

Hong-Sik Kim

<https://orcid.org/0000-0003-0341-499X>

Areum Chun

<https://orcid.org/0000-0002-8130-5900>

References

- Abe H. Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemistry (Moscow)*, 65, 757-765 (2000)
- Adamiec J, Rössner J, Velíšek J, Cejpek K, Šavel J. Minor Streckerdegradation products of phenylalanine and phenylglycine. *Eur Food Res Technol*, 212, 135-140 (2001)
- AOAC. Official Methods of Analysis. 19th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA (2012)
- Bellaloui N, Mengistu A, Kassem MA. Effects of genetics and environment on fatty acid stability in soybean seed. *Food Nutr Sci*, 4, 165-175 (2013)
- Boo CG, Hong SJ, Lee Y, Park SS, Shin EC. Quality characteristics of wintering radishes produced in Jeju Island using E-nose, E-Tongue, and GC-MSD approach. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 49, 1407-1415 (2020)
- Cai T, Chang KC. Processing effect on soybean storage proteins and their relationship with tofu quality. *J Agric Food Chem*, 47, 720-727 (1999)
- Chen Y, Zhao L, Cao Y, Kong X, Hua Y. Oleosins (24 and 18 kDa) are hydrolyzed not only in extracted soybean

- oil bodies but also in soybean germination. *J Agric Food Chem*, 62, 956–965 (2014)
- Guo ST, Ono T. The role of composition and content of protein particles in soymilk on tofu curdling by glucono- δ -lactone or calcium sulfate. *J Food Sci*, 70, 258-262 (2005)
- Hong EH, Kim SD, Kim YH, Chung KW. Protein and content amino acid composition of soybean cultivars. *Korean J Crop Sci*, 35, 403-412 (1990)
- Hong SS, Park WJ, Hwang KS, Kim KT, Kim GS, Shin SM, Joung KH. Quality characteristics of magnesium chloride emulsion amount used the soybean curd coagulant. *J Korea Acad-Ind Coop Soc*, 13, 3537- 3543 (2012)
- Im JY, Kim SC, Kim SN, Choi YM, Yang MR, Cho IH, Kim HR. Protein and amino-acid contents in Backtae, Seoritae, Huktae, and Seomoktae soybeans with different cooking methods. *Korean J Food Cook Sci*, 32, 567-574 (2016)
- Ji MP, Cai TD, Chang KC. Tofu yield and textural properties from three soybean cultivars as affected by ratios of 7S and 11S proteins. *J Food Sci*, 64, 763-767 (1999)
- Kato H, Rhue MR. Role of free amino acids and peptides in food taste. *ACS Symposium Series*, 34, 158-173 (1987)
- Kawai M, Okiyama A, Ueda Y. Taste enhancements between various amino acids and umami substances. *J Food Sci*, 67, 1414-1416 (2002)
- Kim DM, Yoon HH, Kim KH. Protein characteristics of the recommended soybean varieties in Korea. *Korean J Food Sci Technol*, 22, 386-392 (1990)
- Kim YH. Current achievement and perspective of seed quality evaluation in soybean. *Korean J Crop Sci*, 47, 95-106 (2002)
- Kitamura K. Biochemical-characterization of lipoxygenase lacking mutants, l-1-less, l-2-less, and l-3-less soybeans. *Agric Biol Chem*, 48, 2339-2346 (1984)
- Kong F, Chang SKC, Liu Z, Wilson LA. Changes of soybean quality during storage as related to soymilk and tofu making. *J Food Sci*, 73, S134-S144 (2008)
- Lee SM, Hwang JY. Physicochemical characteristics of soybeans grown in different origins and cultivation methods accompanying tofu properties. *Korean J Food Nutr*, 27, 302-309 (2014)
- Liu K. *Soybeans: Chemistry, Technology, and Utilization*. Springer, New York, USA (1997)
- Maga JA, Yamaguchi S. Flavor potentiators. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 18, 231-312 (1983)
- Mujoo R, Trinh DT, Ng PKW. Characterization of storage proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture. *Food Chem*, 82, 265-273 (2003)
- Ninomiya K. Natural occurrence. *Food Rev Int*, 14, 177-211 (1998)
- Obatolu VA. Effect of different coagulants on yield and quality of tofu from soymilk. *Eur Food Res Technol*, 226, 467-472 (2008)
- Panthee DR, Kwanyuen P, Sams CE, West DR, Saxton AM, Pantalone VR. Quantitative trait loci for β -conglycinin (7S) and glycinin (11S) fractions of soybean storage protein. *J Am Oil Chem Soc*, 81, 1005-1012 (2004)
- Shimizu M, Yano H. Bitter peptides in enzymatic hydrolysates of food proteins. *Agric Biol Chem*, 50, 2957-2963 (1986)
- Sim EY, Kim HS, Park HY, Choi HS. Comparison of the quality characteristics of Jeungpyun (fermented rice cake) based on the rice varieties and fermentation starters. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 50, 1365-1374 (2021)
- Sim EY, Lee YY, Park HY, Choi HS, Kwak J, Kim M, Kim HS, Kim JS. Quality characteristics of firm tofu made from various soybeans. *Korean J Food Nutr*, 33, 710-720 (2020)
- Skurray G, Cunich J, Carter O. The effect of different varieties of soybean and calcium ion concentration on the quality of tofu. *Food Chem*, 6, 89-95 (1980)
- Solina M, Baumgartner P, Johnson RL, Whitfield FB. Volatile aroma components of soy protein isolate and acid-hydrolysed vegetable protein. *Food Chem*, 90, 861-873 (2005)
- Solms J. The taste of amino acids, peptides, and proteins. *J Agric Food Chem*, 17, 686-688 (1969)
- Solms J, Wyler T. Taste components of amino acids and peptides. *Chemical Senses*, 4, 277-290 (1979)
- Tian M, Xu X, Liu Y. Determination of anserine and carnosine in animal tissues by capillary electrophoresis with electrochemiluminescence detection. *Food Chem*, 103, 1328-1332 (2007)
- Utsumi S, Kinsella JE. Structure-function relationships in food proteins: Subunit interactions in heat-induced gelation of 7S, 11S, and soy isolate proteins. *J Agric Food Chem*, 33, 297-303 (1985)
- Wang X, Luo K, Liu S, Zeng M, Adhikari B, He Z, Chen J. Textural and rheological properties of soy protein isolate tofu-type emulsion gels: Influence of soybean variety and coagulant type. *Food Biophysics*, 13, 324-332 (2018)
- Yamaguchi S, Ninomiya K. Umami and food palatability. *J Nutr*, 130, 921S-926S (2000)
- Yang A, Smyth H, Chaliha M, James A. Sensory quality of soymilk and tofu from soybeans lacking lipoxygenase. *Food Sci Nutr*, 4, 207-215 (2016)