



시판 스마트팜 수경재배 엽채류의 품질 특성

박혜정 · 임주혁 · 최원진 · 박찬종 · 신혜원*

삼성웰스토리 식품연구소

Quality characteristics of commercially available leafy vegetables from the hydroponic growth system of smart farms

Hye-Jung Park, Joo Hyuk Yim, Won Jin Choi, Chan-Jong Park and Hye-Won Shin*

Food R&D Institute, Samsung Welstory Inc., Yongin 16908, Korea

Abstract

In this study, the quality of hydroponically grown leafy vegetables (batavia and butterhead) from smart farms was compared with that of soil-grown vegetables. The quality characteristics (weight, size, color, water content, pH, texture, bitter compounds, functional ingredients, antioxidant capacity, microorganisms, and sensory properties) of the two leafy vegetables were analyzed. Significant differences were observed in fresh weight, shear force, and functional ingredients between the two cultivation methods. With regard to weight measurement, hydroponically grown leafy vegetables were lighter compared to soil-grown vegetables (batavia: hydroponic 127.15–138.26 g, soil-grown 219.30 g; butterhead: hydroponic 107.48–127.66 g, soil-grown 237.23 g; $p < 0.05$). In addition, hydroponically grown vegetables had significantly lower shear force values (batavia: 32–82%, butterhead: 49–70%) than soil-grown vegetables, except for one hydroponically grown batavia sample ($p < 0.05$). Analysis of functional ingredients showed that both total polyphenol and total flavonoid contents were significantly higher in the soil-grown vegetables ($p < 0.05$). However, no differences related to the growth system were observed in plant size, color, pH, bitter taste compounds, antioxidant capacity, and the presence of microorganisms between the two cultivation methods. This study provides a database of quality differences between hydroponically grown and soil-grown leafy vegetables, which is valuable for improving the quality of hydroponically grown products.

Keywords: Smart farm, Hydroponic system, Soil-grown, Leafy vegetable, Quality

서론

스마트팜은 비닐하우스, 유리온실, 축사 등에 정보통신기술, 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 로봇 등 4차 산업혁명기술을 접목하여 작물과 가축의 생육환경을 원격 및 자동으로 적정하게 유지 관리할 수 있는 농장을 의미하며, 1세대 원격제어 단계, 2세대 데이터 기반 정밀 생육관리 단계, 3세대 인공지능, 무인자동화 단계 등, 크게 세 가지 단계로 구분되고 있다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2024). 비교적 적은 경험으로도 안정적으로 농축산물

을 생산할 수 있으며, 노동력, 에너지, 양분 등의 투입을 최소화하면서 산출물의 생산성과 품질을 제고할 수 있다는 장점이 있다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2024). 세계 스마트농업 시장은 '23년 162억 달러에서 '28년 254억 달러로 연평균성장률 9.4%가 예상되며, 우리나라는 '20년 2.4억 달러에서 '25년 4.9억 달러로 연평균 15.5% 성장이 전망된다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2024). 정부에서는 스마트팜 혁신밸리 구축, 스마트팜 청년창업보육센터 운영, 온실·축산·과수 스마트팜 보급 등 다양한 지원사업을 계획 및 운영하고 있으며, '21년 기준으

Received: Nov 15, 2024 / Revised: Jan 30, 2025 / Accepted: Feb 10, 2025

Corresponding author: Hye-Won Shin, Food R&D Institute, Samsung Welstory Inc., Yongin 16908, Korea

E-mail: hyewon.shin@samsung.com

Copyright © 2025 Korean Society for Food Engineering.

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.

로 국내에는 약 6,485 ha 면적의 스마트팜 보급이 추정된다 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2024). 농업분야 스마트팜은 대부분 다양한 수경재배 방식으로 운영되며, '21년 기준으로 우리나라 수경재배 면적은 5,634 ha로 추정된다(Rural Development Administration, 2023). 대표적 농산물로는 딸기(수경재배 점유율 53.4%, 면적 3,009 ha), 토마토(15.5%, 872 ha), 파프리카(8.8%, 493 ha) 등이 있으며(Rural Development Administration, 2023), 해당 작물들의 재배법 및 농가 현황 등에 대해서는 비교적 많은 연구와 조사, 집계가 이루어지고 있다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs & Korea Agency of Education, Promotion and Information Service in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2024). 이와 더불어 샐러드 재료로 이용되는 엽채류도 최근 스마트팜 수경재배 제품들이 시판되고 있으나, 앞서 제시된 작물들보다 품질관련 정보가 많지 않아, 본 연구에서는 스마트팜 수경재배 엽채류의 품질 특성을 일반 노지재배 엽채류와 비교하여 스마트팜 재배 엽채류의 객관적 품질 평가 및 품질 개선을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

실험에 사용된 스마트팜 수경재배 및 노지재배 엽채류는 경기도 소재 대형마트(E-mart, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea; Homeplus, Sungnam-si, Gyeonggi-do, Korea) 및 농산물 유통업체(Farmvill, Icheon-si, Gyeonggi-do, Korea)를 통해 바타비아(Batavia), 버터헤드(Butterhead) 엽채류 2종을 2024년 4월에 구매하였다. 엽채류별 스마트팜 수경재배 각 3품목(바타비아 A 농장 BAH1; B 농장 BAH2; C 농장 BAH3, 버터헤드 A 농장 BUH1; B 농장 BUH2; C 농장 BUH3), 노지재배 각 1품목(바타비아 D 농장 BAN, 버터헤드 D 농장 BUN)을 구매하였으며, 모든 시료는 각 20포기, 1~2 kg을 구입하여 뿌리와 배지가 있는 제품은 그 부분을 제거하여 실험 시료로 사용하였다. 실험에 사용된 시약인 lactucin (pHL84795)과 lactucopicrin (pHL84796), chloroform (288306), Folin-Ciocalteu's phenol reagent (F9252), ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt) (A1888), gallic acid (G7384), sodium carbonate (222321), diethylene glycol (H26456), naringin (91842), sodium hydroxide (221465), potassium persulfate (216224), ethanol (459844)은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, US)에서 구입하여 사용하였다. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)는 Santa Cruz (SC230692, CA, USA)에서 구입하였으며, methanol (AH230-4), acetonitrile (AH015-4)은 Honeywell (St. Charlotte, NC, US)에서 구입하였다.

규격 및 색 측정

규격은 Lei & Engeseth (2021)의 연구를 참고하여 개별 포기의 잎의 중량, 길이, 너비를 측정하였으며, 본 연구에서는 시판 제품이 시료인 관계로 뿌리 부분 측정은 제외되었다. 시중 구매 제품 20포기 중 무작위로 3포기를 선정하여, 저울(CUX6220H, CAS, Seoul, Korea)를 이용하여 중량을, 디지털버니어캘리퍼(BB268, Shengong, Shenzhen, China)를 이용하여 길이와 너비를 측정하여 3회 측정의 평균과 표준편차로 나타내었다. 색 측정은 Chang & Kim (2016)의 연구를 참고하여 엽채류에서 줄기를 제외한 3개의 다른 위치에서 수행하였다. 광원 램프 CLEDs, 측정파장 범위 400~700 nm, 측정파장 간격 10 nm 규격의 분광식 색차계(CS-660, CHN Spec, Hangzhou, China)를 이용하여 L* (명도), a* (적색도), b* (황색도) 값을 측정하였고, 표준값으로 백색판 (L*=89.16, a*=-1.53, b*=1.49)을 이용하였다. 모든 색 결과값은 3회 반복하여 평균과 표준편차로 나타내었다.

수분 및 pH 측정

수분 및 pH 측정은 제품별 3개체를 무작위 선정 후 각 100 g 이상씩 분쇄기로 균질화한 시료를 이용하였다. 수분 함량은 식품공전 제8. 일반시험법, 일반성분시험법의 수분 시험법 중 건조감량법의 상압가열건조법(Ministry of Food and Drug Safety, 2024)을 이용하여 측정하였으며, 시료 3 g을 가열건조기(VS-4172D, VISION, Daejeon-si, Korea)를 이용하여 105℃에서 3시간 건조하였다. pH 측정을 위해서 Hwang & Jang (2001)을 참고하여 균질화한 각 시료를 5 g씩 50 mL conical tube에 정밀히 칭량하여 45 g의 증류수를 첨가해 시료 : 증류수 비율을 1 : 9 (w/w)로 하였다. 이를 shaker (MMV-1000W, EYELA, Tokyo, Japan)로 200 rpm에서 30분간 혼합하고, 이를 4,500 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액의 pH를 pH meter (ORION STAR A211, Thermo Scientific, Waltham, MA, US)를 이용하여 측정하였다. 수분과 pH 결과값은 3회 반복하여 평균과 표준편차로 나타내었다.

조직감 측정

조직감 측정은 기존 연구(Kum & Han, 1996; Lei & Engeseth, 2021)를 참고한 측정방법으로 수행하였다. 손상된 외엽 1~3장을 제외하고 시료를 활용하였으며, 각 엽의 상부, 중부, 하부의 전단력 (shear force)을 Stable Micro Systems 사(Godalming, UK)의 Texture Analyser (TA.XTplusC), 길이 90 mm의 절단 blade를 이용하여 측정하였다. Blade의 pre-test speed, test speed, post-speed는 10 mm/sec로 하였고, 시료에 70 g의 힘이 가해지는 시점에서 distance 20 mm의

조건으로 절단한 결과로부터 엽채류의 전단력을 분석하였다. 전단력 측정값은 각 시료를 10회 측정하여 평균과 표준편차로 나타내었다.

기능성 쓴맛 성분 분석

기능성 쓴맛 성분 분석은 Cho et al. (2016)의 방법을 참고하여, lactucin과 lactucopicrin 함량 분석을 시료별 3회 반복한 결과를 평균과 표준편차로 나타내었다. 성분 추출을 위해서 시료별 3포기를 -70°C 저온냉동고에서 24시간 냉동 후 동결건조기(FD8512, Ilshin-BioBase, Gyeonggi-do, Korea)를 이용하여 -70°C 이하에서 6일간 동결건조한 후 분쇄 및 균질화하여 시료로 사용하였다. 시료 0.25 g을 100 mL를 첨가한 후 65°C에서 1시간 20분 환류냉각기(WHM12299, DAIHAN Scientific, Seoul, Korea)로 환류추출하여 상온에서 냉각하고 여과지(1002-110, Whatman, Maidstone, UK)로 여과시켰다. 여과물 중 20 mL를 회전농축감압기(Hel-CHILL, 350, Heidolph Scientific, Kelheim, Germany)를 이용하여 30~35°C로 유지시키며 농축하였다. 이 농축물을 20 mL의 증류수에 녹인 후 20 mL의 chloroform으로 2회 층 분리하였고, 이 층 분리물 40 mL를 100 mL 삼각플라스크에 붓고 sodium sulfate 2 g을 넣고 흔들어 탈수 후 5분간 정치하였다. 탈수한 추출물을 여과지로 여과 후 여과물을 회전농축감압기(Hel-CHILL, 350, Heidolph Scientific)를 이용하여 앞에서와 같은 방법으로 농축하였다. 농축물은 methanol : chloroform (1 : 2, v/v) 용액 400 μ L에 녹여서 갈색바이알에 담아 시험용액으로 하였으며, Cho et al. (2016)의 방법을 변형하여 lactucin과 lactucopicrin을 high performance liquid chromatography (20A, Shimadzu, Tokyo, Japan)로 분석하였다. Column은 Osaka Soda (Osaka, Japan)의 CAPCELL UG120 5 μ m C18 (4.6×250 mm)을 사용하였고, detector는 UV-visible Diode Array Detector (SPD-20A), 검출파장은 254 nm, 주입량은 20 μ L, 컬럼 온도는 40°C의 조건으로 하여 분석하였다. 이동상은 0.1% acetic acid (A), 90% acetonitrile (B)을 이용하였고, 분석 시작 시 B용매 10%로 설정하여 20분까지는 B용매 80%, 20~30분 사이에 B용매 90%, 30~32분 사이에 B용매 10%, 32~45분 사이에 B용매 10%로 조절하는 gradient mode를 적용하였으며, 분당 용매 흐름의 양은 1.0 mL로 하였다.

기능성 성분 분석

기능성 성분 분석은 기존 연구방법(Mazza et al., 1999; Chae et al., 2002; Yu et al., 2020)의 방법을 참고하여, 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량 분석을 시료별 3회 반복한 결과를 평균과 표준편차로 나타내었다. 기능성 성분 분석을 위해서 기능성 쓴맛 성분 분석 시와 동일한 조건으로 동결건조 및 균질화한 시료를 이용하였으며, 이 시료 1 g에 methanol 200 mL를 가한 뒤 24시간 동안

상온에서 추출하였다. 추출물을 여과지로 여과 후 여과물을 회전농축감압기(Hel-CHILL 350, Heidolph Scientific)를 이용하여 40°C 이하에서 감압 농축하였으며, 이 농축액을 10 mL methanol로 재용해한 후 시험용액으로 하였다. 총 폴리페놀 함량은 Mazza et al. (1999)의 연구를 참고하여 Folin-Ciocalteu의 방법을 응용하여 측정하였으며, 희석된 추출물 80 μ L에 Folin-Ciocalteu's phenol reagent 시약 20 μ L를 첨가하여 실온에서 5분간 반응, 2% sodium carbonate 용액 100 μ L을 추가로 첨가하여 10분간 반응시킨 후 Microplate Reader (Multiskan Go, Thermo Scientific)를 사용하여 750 nm에서 측정하였다. 동일방법으로 측정한 gallic acid 표준물질의 결과값으로 검량선을 작성하여 시료별 총 폴리페놀의 함량을 산출하였다. 총 플라보노이드 함량은 Chae et al. (2002)의 방법을 변형하여 측정하였으며, 희석된 추출물 1 mL와 diethylene glycol 10 mL를 잘 혼합한 후 1 N sodium hydroxide 1 mL를 첨가하여 37°C에서 1시간 동안 반응시킨 후 Microplate Reader (Multiskan Go, Thermo Scientific)를 사용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질 naringin을 검량선을 작성하였으며, 이를 이용해 시료별 총 플라보노이드 함량을 산출하였다.

항산화능 측정

항산화능은 Yu et al. (2020)의 방법을 참고하여 DPPH radical scavenging activity와 ABTS radical scavenging activity를 측정하였으며, 시료는 기능성 쓴맛 성분 분석과 동일하게 동결건조 및 균질화한 시료를 이용하였다. DPPH radical scavenging activity는 Sharma and Bhat (2009)의 방법을 참고하여 0.2 mM의 DPPH용액 0.8 mL에 희석된 추출물 0.2 mL를 첨가하여 혼합한 다음 실온에서 30분간 반응시킨 후 Microplate Reader (Multiskan Go, Thermo Scientific)를 사용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 결과값은 $[1-(\text{시료의 흡광도}/\text{무첨가군의 흡광도})] \times 100$ 의 계산식에 의해 전자공여능(electron donating ability, EDA)(%)으로 산출하였다. ABTS radical scavenging activity는 Re et al. (1999)의 방법으로 측정하였다. 7 mM의 ABTS와 2.45 mM의 potassium persulfate를 첨가하여 radical생성을 위해 암소에서 16시간 방치한 후, 734 nm에서 흡광도가 0.68~0.72가 되도록 ethanol로 희석하였으며, 이 희석액 0.98 mL와 추출물 0.02 mL를 혼합하여 암소에서 10분간 방치 후 Microplate Reader (Multiskan Go, Thermo Scientific)를 사용하여 732 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 ABTS radical scavenging activity는 $[1-(\text{시료의 흡광도}/\text{무첨가군의 흡광도})] \times 100$ 의 계산식에 의해 Inhibition %로 산출하였다. DPPH radical scavenging activity와 ABTS radical scavenging activity 결과값은 3회 반복하여 평균과 표준편차로 나타내었다.

미생물 분석

일반세균수와 대장균군은 식품공전(Ministry of Food and Drug Safety, 2004) 제 8. 일반시험법 4. 미생물시험법 중 건조필름법을 참조하여 실험하였다. 엽채류의 외엽과 내엽을 각 2~3장씩(약 25 g) 혼합 채취한 후 0.85% 멸균생리식염수로 10배 희석 및 스토마커로 균질화하여 시험용액을 제조하였고, 멸균희석액(700006850, Diluent 9 mL Saline, Neogen, Seoul, Korea)을 사용하여 10대 단계별 희석액을 제조하였다. 시험용액 및 단계별 희석액은 1 mL씩 세균수용 건조필름배지(3M Petrifilm AC, 3M, Seoul, Korea) 및 대장균/대장균용 건조필름배지(3M Petrifilm EC, 3M)에 각 2대 이상씩 접종한 후 세균수 배지는 35±1°C에서 48±2시간 배양한 후 붉은 집락을, 대장균 배지는 35±1°C에서 24±2시간 배양하여 주위에 기포를 형성한 붉은 집락을 계수(CFU/g)하였으며, 총 5회 반복 실험하여 평균과 표준편차로 나타내었다.

관능 평가

엽채류의 관능 특성을 패널들이 부여하는 강도 및 기호도 평가점수를 기준으로 측정하였다. 훈련된 10명의 패널들이 관능평가에 참여하여 식감(단단함), 쓴맛 등 강도 2항목과 외관, 맛, 종합기호도 등 기호도 3항목, 총 5항목에 대해 1점 매우 약함 또는 매우 싫음부터 9점 매우 강함 또는 매우 좋음까지, 9점 척도법을 이용하여 평가점수를 부여하였다. 관능평가용 시료는 3 cm×3 cm 크기로 절단하여 흰색 일회용 용기에 담아 패널들에게 제공하였으며, 외관 평가용 시료는 절단하지 않고 개체 전체를 관찰할 수 있도록 제공하였다.

통계처리

Minitab (21 version, Minitab Inc., State College, PA, US)을 이용하여 각 시료의 항목별 측정값 차이의 유의성을 일원분산분석(one-way ANOVA) 및 Fisher test를 수행하여 검증하였다. 모든 통계처리는 $p < 0.05$ 의 수준에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

규격 및 색

채소류의 규격은 생산성과 상품성을 결정하는 주요 요소로 본 연구에서는 시판 중인 제품의 품질 특성 모니터링에 목적을 두고 있어 뿌리를 제외한 가식 부분의 중량, 길이, 너비 규격을 측정하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다. 바타비아 중량은 BAH 133.31 g, BAH2 138.26 g, BAH3 127.15 g, BAN 219.30 g, 버터헤드 중량은 BUH1 127.66 g, BUH2 107.48 g, BUH3 108.09 g, BUN 237.2 g으로, 시판

중인 바타비아, 버터헤드 모두 노지재배 품목이 스마트팜 수경재배 품목들보다 중량이 유의적으로 큰 것으로 나타났다($p < 0.05$). 특징적인 것은 수경재배 제품이 노지재배에 비해 중량편차(RSD%)가 작게 측정된 것으로, 특히 버터헤드는 중량의 RSD%가 노지재배(BUN)는 45.94%인 것에 반해, 수경재배의 경우 BUH1 17.07%, BUH2 7.99%, BUH3 9.61%로 상대적으로 낮게 측정되어 수경재배가 중량 규격 측면에서 균일한 것으로 나타났다. 바타비아도 노지재배(BAN)의 중량 RSD%가 24.61%로 가장 높게 측정되었다. 길이는 바타비아 BAH1 186.25 mm, BAH2 130.61 mm, BAH3 152.23 mm, BAN 205.83 mm, 버터헤드 BUH1 138.94 mm, BUH2 94.97 mm, BUH3 94.46 mm, BUN 146.08 mm로, 바타비아, 버터헤드 모두 노지재배의 경우 길이가 유의적으로 긴 편이었으며, 버터헤드의 경우 스마트팜 중 BUH1 품목은 노지재배와 길이에서 유의적 차이가 없었다($p < 0.05$). 바타비아 너비는 BAH1 84.89 mm, BAH2 102.34 mm, BAH3 88.62 mm, BAN 96.12 mm, 버터헤드 너비는 BUH1 98.47 mm, BUH2 100.38 mm, BUH3 93.52 mm, BUN 124.86 mm으로, 바타비아 너비는 유의적 차이가 없었으며, 버터헤드 너비는 스마트팜 중 BUH3 품목만 유의적으로 작은 것으로 측정되었다($p < 0.05$). Lei & Engeseth (2021)의 연구에 따르면 동일기간 동안 재배한 수경재배 및 노지재배 엽채류(Giant Caesar lettuce)의 식물 및 잎의 크기(길이, 너비)는 수경재배 엽채류가 작았지만 통계적으로 유의적 차이는 없어, 본 연구에서 발생한 크기의 유의적 차이는 재배유형에서만 기인했다고 보기에는 어려우며, 재배기간, 영양조건 등 다양한 생장조건이 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 식품의 색은 품질, 등급, 영양 및 소비자 기호도에 영향을 미치는 주요 인자로서 품종, 속도, 성장조건 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하여 발현된다(Cho, 1984). 색은 외엽, 중엽, 내엽에서 L^* , a^* , b^* 값을 측정하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다. 바타비아 명도는 외엽에서는 BAH2 (54.24)가 밝은 편으로, BAH3 (47.13)가 어두운 편으로 구분되었고, 중엽에서는 차이가 없었으며, 내엽에서는 BAH1 (59.24)이 밝은 편으로, BAH3 (58.18)가 어두운 편으로 구분되어 나타났다($p < 0.05$). 바타비아 적색도는 외엽에서는 BAH1 (-11.14), BAH2 (-11.16)가, 중엽과 내엽에서는 BAH3 (-12.21, -10.91)이 낮은 편으로 구분되어 녹색이 상대적으로 짙은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 바타비아 황색도는 외엽에서는 차이가 없었으며, 중엽과 내엽에서는 BAN (25.83, 21.38)이 낮은 편으로 나타나 청색이 상대적으로 강한 것으로 측정되었다($p < 0.05$). 전반적으로 바타비아에서는 외엽을 제외한 내엽과 중엽은 노지재배 제품이 수경재배 제품 대비 명도가 낮으며, 녹색과 청색이 짙은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 버터헤드 명도는 외엽에서는 BAN (61.82)이 가장 밝은 편으로, BUH1 (43.48)이 가장 어두운 편으로 나타났으며, 중엽에서는 BUH1 (60.41), BUN (58.57)이 가장 밝은 편으로, BUH3 (43.37)이 가장 어두운 편이었고, 내엽에

Table 1. Fresh weight, plant size (height, width) and color of two leafy vegetables according to cultivation type^{1,2)}

		Batavia ³⁾				
		Hydroponically grown			Soil-grown	
		BAH1	BAH2	BAH3	BAN	
		Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD	
Fresh weight	(g)	133.31 ^b ±31.62	138.26 ^b ±4.92	127.15 ^b ±19.87	219.30 ^a ±53.98	
	(RSD%)	23.72	3.56	15.63	24.61	
Plant height	(mm)	186.25 ^b ±10.46	130.61 ^d ±8.54	152.33 ^c ±1.93	205.83 ^a ±12.79	
	(RSD%)	5.62	6.54	1.27	6.21	
Plant width	(mm)	84.89 ^a ±16.15	102.34 ^a ±4.59	88.62 ^a ±8.80	96.12 ^a ±12.11	
	(RSD%)	19.02	4.49	9.93	12.60	
Color	Outer leaves	(L*)	48.36 ^{ab} ±2.89	54.24 ^a ±3.77	47.13 ^b ±3.46	52.05 ^{ab} ±4.58
		(a*)	-11.14 ^b ±0.87	-11.16 ^b ±0.50	-9.47 ^a ±0.42	-10.08 ^{ab} ±0.46
		(b*)	31.85 ^a ±5.88	33.51 ^a ±1.09	30.81 ^a ±0.08	29.35 ^a ±1.35
	Middle leaves	(L*)	56.30 ^a ±2.69	56.71 ^a ±4.33	59.98 ^a ±1.57	58.13 ^a ±1.00
		(a*)	-11.47 ^{bc} ±0.94	-10.91 ^b ±0.65	-12.21 ^c ±0.33	-8.30 ^a ±0.60
		(b*)	34.60 ^b ±1.34	32.05 ^b ±2.45	43.04 ^a ±0.63	25.83 ^c ±1.15
	Inner leaves	(L*)	59.24 ^a ±1.08	56.08 ^{ab} ±1.46	58.18 ^b ±0.82	57.98 ^{ab} ±1.31
		(a*)	-8.39 ^{ab} ±0.93	-10.11 ^{bc} ±0.78	-10.91 ^c ±0.35	-6.73 ^a ±1.47
		(b*)	28.82 ^{bc} ±3.56	29.30 ^b ±2.58	39.08 ^a ±0.82	21.38 ^c ±6.63
			Butterhead ⁴⁾			
			Hydroponically grown			Soil-grown
			BUH1	BUH2	BUH3	BUN
		Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD	
Fresh weight	(g)	127.66 ^b ±21.79	107.48 ^b ±8.59	108.09 ^b ±10.39	237.23 ^a ±109.00	
	(RSD%)	17.07	7.99	9.61	45.94	
Plant height	(mm)	138.94 ^a ±1.08	94.97 ^b ±5.21	94.46 ^b ±6.90	146.08 ^a ±24.69	
	(RSD%)	0.78	5.48	7.30	16.90	
Plant width	(mm)	98.47 ^{ab} ±10.93	100.38 ^{ab} ±3.86	93.52 ^b ±3.57	124.86 ^a ±25.92	
	(RSD%)	11.10	3.84	3.82	20.76	
Color	Outer leaves	(L*)	43.48 ^c ±1.89	48.53 ^b ±1.85	49.49 ^b ±1.48	61.82 ^a ±1.79
		(a*)	-11.64 ^b ±0.44	-11.75 ^b ±0.45	-10.90 ^{ab} ±0.31	-9.75 ^a ±1.24
		(b*)	23.83 ^c ±2.56	29.67 ^b ±2.39	29.54 ^b ±0.22	34.34 ^a ±2.31
	Middle leaves	(L*)	60.41 ^a ±2.07	51.05 ^b ±3.77	43.37 ^c ±0.25	58.57 ^a ±0.68
		(a*)	-10.99 ^b ±1.09	-11.66 ^b ±0.63	-10.68 ^b ±0.25	-7.71 ^a ±2.14
		(b*)	33.91 ^a ±4.24	31.91 ^{ab} ±1.57	27.30 ^b ±1.12	33.48 ^a ±2.32
	Inner leaves	(L*)	65.91 ^a ±1.14	53.11 ^c ±2.84	41.18 ^d ±1.06	60.74 ^b ±3.59
		(a*)	-8.23 ^b ±0.90	-11.29 ^a ±0.11	-10.55 ^c ±0.25	-4.55 ^a ±0.85
		(b*)	31.36 ^a ±3.40	33.12 ^a ±0.92	27.05 ^b ±0.91	32.89 ^a ±1.94

¹⁾Average of measurements (n=3)±standard deviation

²⁾Mean values with the same letter in a row are not significantly different at $p < 0.05$.

³⁾Hydroponically grown batavia: BAH1 (farm A), BAH2 (farm B), BAH3 (farm C); butterhead: BUH1 (farm A), BUH2 (farm B), BUH3 (farm C)

⁴⁾Soil-grown batavia: BAN (farm D); butterhead: BUN (farm D).

서는 BUH1 (65.91)이 가장 밝은 편으로, BUH3 (41.18)이 가장 어두운 편으로 나타났다($p < 0.05$). 버터헤드 적색도는 외엽에서는 BAH1 (-11.64), BAH2 (-11.75)가, 중엽에서는 BUH1 (-10.99), BUH2 (-11.66), BUH3 (-10.68)가, 내엽에서는 BUH2 (-11.29), BAH3 (10.55)로 낮게 나타나 녹색이 비교적 짙은 것으로 측정되었다($p < 0.05$). 버터헤드 황색도는 외엽에서는 BUH1 (23.83), 중엽에서는 BUH3 (27.3), 내엽에서는 BUH3 (27.05)가 낮게 측정되어 상대적으로 청색이 짙은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 버터헤드에서는 외엽을 제외한 내엽과 중엽에서 BUH3가 명도가 낮으며 녹색과 청색이 짙은 것으로 나타나 ($p < 0.05$), 바타비아와 버터헤드에서 재배유형간 유사한 경향성이 도출되지는 않았다.

수분 및 pH

본 연구에서 수분함량은 Table 2와 같이 품목별로 유의적 차이가 있었으며, 스마트팜 수경재배 품목 중 A 농장 제품(BAH1 96.77%, BUH1 96.91%), B 농장 제품(BAH2 96.15%, BUH2 96.45%)이 노지재배 D 농장 제품(BAN 95.56%, BUN 95.1%)보다 높은 수분함량을 나타내었다($p < 0.05$). 반면 스마트팜 C 농장 제품(BAH3 95.32%, BUH3 94.66%)은 노지재배 제품보다 수분함량이 낮은 것으로 나타나 ($p < 0.05$), 실험품종 모두에서 수분함량의 재배시간 순위가 동일하게 유의적 차이가 발생하였다. Lei & Engeseth (2021)의 연구에서는 동일 기간 동안 재배한 수경재배 엽채류가 노지재배 엽채류보다 수분함량이 높고, 회분 함량이 낮은 것으로 나타나 수경재배 방식이 높은 수분

Table 2. Water content, pH, shear force and functional bitter compounds of two leafy vegetables according to cultivation type

			Batavia			
			Hydroponically grown			Soil-grown
			BAH1	BAH2	BAH3	BAN
			Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD
Water content		(%)	96.77 ^a ±0.02	96.15 ^b ±0.07	95.32 ^d ±0.05	95.56 ^c ±0.08
pH			6.08 ^b ±0.01	6.00 ^c ±0.02	5.03 ^d ±0.03	6.13 ^a ±0.01
Shear force	Top	(N)	15.28 ^c ±4.00	27.35 ^b ±4.68	39.62 ^a ±3.77	43.45 ^a ±6.08
	Mid	(N)	15.69 ^c ±2.45	27.34 ^b ±4.16	43.15 ^a ±4.88	42.69 ^a ±8.11
	Low	(N)	9.53 ^c ±2.09	15.84 ^b ±3.60	21.00 ^b ±3.46	38.40 ^a ±10.89
Functional	Lactucin	(mg/kg)	0.99 ^a ±0.20	0.27 ^c ±0.05	0.18 ^c ±0.07	0.55 ^b ±0.06
Bitter compounds	Lactucopicrin	(mg/kg)	80.49 ^a ±15.27	17.88 ^c ±0.91	31.70 ^{bc} ±2.91	35.98 ^b ±2.92
	Total content	(mg/kg)	81.48	18.15	31.88	36.53
			Butterhead			
			Hydroponically grown			Soil-grown
			BUH1	BUH2	BUH3	BUN
			Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD
Water content		(%)	96.91 ^a ±0.04	96.45 ^b ±0.02	94.66 ^d ±0.08	95.61 ^c ±0.05
pH			6.05 ^a ±0.02	5.89 ^b ±0.02	5.23 ^c ±0.00	5.83 ^b ±0.06
Shear force	Top	(N)	18.96 ^c ±6.48	15.09 ^c ±3.33	23.65 ^b ±2.36	35.89 ^a ±5.89
	Mid	(N)	20.68 ^c ±5.79	23.21 ^c ±3.18	33.47 ^b ±2.69	44.30 ^a ±5.46
	Low	(N)	15.02 ^c ±2.57	22.52 ^b ±2.08	21.85 ^b ±1.29	31.40 ^a ±6.09
Functional	Lactucin	(mg/kg)	2.30 ^b ±0.07	2.10 ^b ±0.83	2.80 ^b ±0.16	4.79 ^a ±0.44
Bitter compounds	Lactucopicrin	(mg/kg)	75.88 ^a ±1.81	38.62 ^c ±6.22	49.82 ^b ±1.87	80.78 ^a ±2.80
	Total content	(mg/kg)	78.18	40.72	52.62	85.57

¹)Average of measurements (n=3)±standard deviation

²)Mean values with the same letter in a row are not significantly different at $p < 0.05$.

³)Hydroponically grown batavia: BAH1 (farm A), BAH2 (farm B), BAH3 (farm C); butterhead: BUH1 (farm A), BUH2 (farm B), BUH3 (farm C)

⁴)Soil-grown batavia: BAN (farm D); butterhead: BUN (farm D).

함량과 연관성이 있다는 것을 알 수 있으나, 본 연구에서는 모든 수경재배 방식이 노지재배 대비 높은 수분함량을 나타내지는 않았으며, 이는 시판 제품의 특성 상 재배 방식 외 확인 불가한 다양한 인자가 영향을 미친 것에 기인한다고 판단된다. 채소류의 수분함량은 품질, 유통기한, 안전성에 영향을 미치는 주요 인자로서, 수분함량이 높을수록 저장 시의 중량 감소가 크고 품질유지기간과 유통기한이 짧아지는 경향이 있는 것으로 보고되고 있다(Barg et al., 2009; Manzocco et al., 2011; Kyere et al., 2020). 이는 엽채류의 외관에도 영향을 미쳐, 높은 수분함량에 따른 빠른 외관 기호도 저하는 소비자 선택의 저해요소로도 작용한다(Zhou et al., 2004; Ares et al., 2008). pH는 바타비아에서는 BAH1 6.08, BAH2 6.00, BAH3 5.03, BAN 6.13으로 노지재배 품목이 가장 높았으며, 버터헤드에서는 BUH1 6.05, BUH2 5.89, BUH3 5.23, BUN 5.83으로 스마트팜 A 농장 제품이 노지재배 제품보다 높은 pH로 측정되어($p < 0.05$), 두 엽채류 비교 시 재배유형에 따른 명확한 경향성이 발견되지는 않았다. pH는 채소류의 신선도를 예측할 수 있는 지표로, 엽채류의 경우 수확 후 포장, 유통단계에서 호흡이 발생하면서 당이 유기산으로 전환되어 pH가 감소하는 현상이 있을 수 있으며, 이를 품질 저하의 지표로 활용할 수 있다(Kim et al., 2011). 다만 이는 포장재 등의 유통 조건과 유통 기간 등에도 영향을 받으므로, 재배유형에 따른 pH 차이를 확인하기 위해서는 통제된 조건에서의 수경재배 및 노지재배 시료를 연구해야 할 것으로 사료된다.

조직감

조직감은 채소류의 주요 품질요소로서 토양, 비료, 광, 수분함량, 재배기간, 성숙도 등 다양한 인자가 채소류 조직감에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Cuppert et al., 1999; Gichuhi et al., 2005; Gutiérrez-Rodríguez et al., 2013). 본 연구에서는 스마트팜 수경재배 및 노지재배 엽채류의 조직감 차이를 분석하기 위해 전단력(shear force)를 측정하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 전단력은 수경재배와 노지재배간 차이가 명확했던 측정항목으로, 바타비아 전단력(상부/중부/하부)은 BAH1 15.28/15.69/9.53 N, BAH2 27.35/27.34/15.84 N, BAH3 39.62/4.15/21.00 N, BAN 43.45/42.69/38.40 N이었으며, 버터헤드는 전단력은 BUH1 18.96/20.68/15.02 N, BUH2 15.09/23.21/ 22.52 N, BUH3 23.65/33.47/21.85 N, BUN 35/89/44.30/31.40 N으로, 두 가지 엽채류 모두에서 노지재배의 전단력이 커 수경재배에 비해 조직감이 단단한 것으로 나타났다($p < 0.05$). Lei & Engeseth (2021)의 연구에서는 외엽, 중엽, 내엽의 조직감을 구분하여 측정하였는데, 잎 부분은 외엽은 수경재배가, 중엽, 내엽은 노지재배가 단단한 것으로 나타나, 전반적으로 노지재배 엽채류의 조직감이 단단한 것으로 평가되었으며, 이는 본 연구 결과와 유사하다. 또한 Jeong et al. (2012)의 연구에서는 배추의 조직감과 건물물(수분을 제외한 고형분의 함량)과 조직감이 양의 상관

관계가 있는 것으로 보고되었는데, 본 연구에서도 수분함량이 가장 높은(건물물이 가장 낮은) 바타비아 BAH1과 버터헤드 BUH1이 각각 가장 낮은 전단력을 나타내어 해당 연구와 유사한 경향을 나타내었다.

기능성 성분

상추는 국화과에 속하며, 국화과의 대표적 생리활성 화합물로는 terpenoids, alkaloids, phenolics 및 polyacetylenes 등이 있으며(Heinrich et al., 1998), 이 중 sesquiterpene lactones (SLs)에 속하는 lactucin, lactucopicrin은 상추, 치커리 등과 같은 엽채류의 대표적 SLs로서 쓴맛을 나타내는 주요 성분으로 보고되고 있다(Cho et al., 2016). SLs는 항암, 항백혈병, 항균, 심혈관질환 치료, 염증 완화, 해열, 지사, 감기, 신경쇠약 등에 치료효과가 있는 것으로 보고되고 있으며, 세포독성과 알레르기를 유발하는 것으로도 보고되고 있다(Cho et al., 2016). Table 2와 같이 바타비아와 버터헤드 모두 lactucin보다 lactucopicrin의 함량이 높게 나타났으며, 건조중량 기준 lactucin은 바타비아 BAH1 0.99 mg/kg, BAH2 0.27 mg/kg, BAH3 0.18 mg/kg, BAN 0.22 mg/kg, 버터헤드 BUH1 2.30 mg/kg, BUH2 2.10 mg/kg, BUH3 2.80 mg/kg, BUN 4.79 mg/kg으로 버터헤드에서 전반적으로 높았고, 바타비아에서는 수경재배 제품 BUH1이, 버터헤드에서는 노지재배 제품 BUN이 높은 함량을 나타내었다($p < 0.05$). Lactucopicrin은 바타비아 BAH1 80.49 mg/kg, BAH2 17.88 mg/kg, BAH3 31.70 mg/kg, BAN 35.98 mg/kg, 버터헤드 BUH1 75.88 mg/kg, BUH2 38.62 mg/kg, BUH3 49.82 mg/kg, BUN 80.78 mg/kg으로 바타비아에서는 수경재배 제품 BUH1이, 버터헤드에서는 수경재배 제품 BUH1과 노지재배 BUN이 높게 측정되어($p < 0.05$) 엽채류 종류에 따라 차이는 있으나, 스마트팜 A 농장 수경재배 제품과 노지재배 제품이 높은 것으로 나타났다. Cho et al. (2016)의 연구에서 전세계에서 수급한 상추 유전자원 572종의 lactucin 및 lactucopicrin 함량을 분석한 결과, 건조잎 1 g당 lactucin은 평균 41.2 μ g, lactucopicrin은 평균 526.9 μ g으로 두 가지 성분의 합계 평균은 568.1 μ g이었다. 이 연구에서 기능성 쓴맛 성분의 함량 합계는 66.3~3,188.5 μ g으로 범위가 매우 넓었으며(Cho et al., 2016), 본 연구에서는 건조잎 1 kg당 바타비아는 18.15~81.48 mg, 버터헤드는 40.72~85.57 mg으로 전반적으로 Cho et al. (2016)의 연구 결과 대비 낮은 함량 분포를 나타내었다.

기능성 성분

기능성 성분은 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량을 측정하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다. 총 폴리페놀 함량은 바타비아 BAH1 219.68 mg/kg, BAH2 232.49 mg/kg, BAH3 307.98 mg/kg, BAN 346.42 mg/kg, 버터헤드 BUH1 196.34 mg/kg, BUH2 241.18

mg/kg, BUH3 234.32 mg/kg, BUN 340.93 mg/kg으로, 엽채류 2종 모두에서 노지재배 제품이 높게 나타났다($p<0.05$). 총 플라보노이드 함량은 바타비아 BAH1 193.10 mg/kg, BAH2 200.98 mg/kg, BAH3 234.68 mg/kg, BAN 238.10 mg/kg, 버터헤드 BUH1 137.07 mg/kg, BUH2 159.86 mg/kg, BUH3 194.25 mg/kg, BUN 273.25 mg/kg으로, 폴리페놀과 같이 노지재배에서 높게 나타났다($p<0.05$). 이는 노지재배 엽채류에서 총 폴리페놀이 21.15%(비건조 중량 기준) 높게 나왔다고 보고된 Lei & Engeseth (2021)의 연구 결과와 유사하며, 해당 연구에서는 비건조 중량 기준으로 ascorbic acid, chlorophylls, β -carotene 등의 기능성 성분들이 모두 노지재배 엽채류에서 높은 것으로 나타났다.

항산화능

항산화능은 DPPH radical scavenging activity와 ABTS radical scavenging activity를 측정하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다. 건조 중량 기준 DPPH 측정 결과, 바타비아는 BAH1 76.70 EDA%, BAH2 78.22 EDA%, BAH3 87.95 EDA%, BAN 89.06 EDA%, 버터헤드는 BUH1 84.34 EDA%, BUH2 87.14 EDA%, BUH3 87.54 EDA%, BUN 87.71 EDA%로 나타났으며, ABTS 측정 결과, 바타비아는

BAH1 73.81 Inhibition%, BAH2 74.85 Inhibition%, BAH3 74.99 Inhibition%, BAN 77.63 Inhibition%, 버터헤드는 BUH1 74.61 Inhibition%, BUH2 75.55 Inhibition%, BUH3 77.44 Inhibition%, BUN 77.96 Inhibition%로 나타났다. 바타비아는 DPPH는 노지재배와 스마트팜 C 농장 제품(BAH3)이 높고, ABTS는 노지재배 제품이 높고 A 농장 제품(BAH1)이 낮은 것으로 나타난 것에 반해, 버터헤드는 DPPH가 A 농장 제품(BAH1)이 낮은 것을 제외하고는 DPPH, ABTS에서 유의적 차이가 없었다($p<0.05$). 다양한 기존 연구(Zapata-Vahos et al., 2020; Lei & Engeseth, 2021)에서 수경재배에 비해 노지재배 엽채류가 항산화능이 높은 것으로 보고되고 있는 것에 비해서는, 본 연구에서는 바타비아의 ABTS 결과를 제외하고는 비교적 차이가 크지 않았다.

미생물

본 연구에서는 재배유형이 엽채류의 미생물학적 환경 차이에 미치는 영향을 평가하기 위해 일반세균수(호기성 세균)와 대장균수를 측정하였으며, 비교적 오염도가 높을 것으로 예상되는 외엽과 오염도가 낮을 것으로 예상되는 내엽으로 구분하여 측정하였고, 그 결과는 Table 4와 같다. 바타비아의 경우, 세균수가 외엽, 내엽 모두에서

Table 3. Functional ingredients and antioxidant capacity of two leafy vegetables according to cultivation type

		Batavia			
		Hydroponically grown			Soil-grown
		BAH1	BAH2	BAH3	BAN
		Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD
Total polyphenols	(mg/kg)	219.68 ^a ±7.56	232.49 ^c ±6.49	307.98 ^b ±6.49	346.42 ^a ±14.81
Total flavonoids	(mg/kg)	193.10 ^b ±4.67	200.98 ^b ±2.42	234.68 ^a ±5.04	238.10 ^a ±8.63
DPPH radical scavenging activity	(EDA%)	76.70 ^b ±1.32	78.22 ^b ±0.52	87.95 ^a ±0.06	89.06 ^a ±1.91
ABTS radical scavenging activity	(Inhibition%)	73.81 ^b ±2.00	74.85 ^{ab} ±1.51	74.99 ^{ab} ±1.83	77.63 ^a ±2.04
		Butterhead			
		Hydroponically grown			Soil-grown
		BUH1	BUH2	BUH3	BUN
		Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD
Total polyphenols	(mg/kg)	196.34 ^c ±4.82	241.18 ^b ±8.35	234.32 ^b ±7.26	340.93 ^a ±3.96
Total flavonoids	(mg/kg)	137.07 ^d ±5.33	159.86 ^c ±8.06	194.25 ^b ±8.83	273.25 ^a ±1.76
DPPH radical scavenging activity	(EDA%)	84.34 ^b ±0.46	87.14 ^a ±0.82	87.54 ^a ±0.57	87.71 ^a ±1.08
ABTS radical scavenging activity	(Inhibition%)	74.61 ^a ±3.83	75.55 ^a ±2.14	77.44 ^a ±1.10	77.96 ^a ±1.57

¹Average of measurements (n=3)±standard deviation

²Mean values with the same letter in a row are not significantly different at $p<0.05$.

³Hydroponically grown batavia: BAH1 (farm A), BAH2 (farm B), BAH3 (farm C); butterhead: BUH1 (farm A), BUH2 (farm B), BUH3 (farm C)

⁴Soil-grown batavia: BAN (farm D); butterhead: BUN (farm D).

노지재배 제품(BAN)이 6.97, 6.49 log CFU/g으로 가장 많은 것으로 나타났으며, 내엽 대장균군도 2.75 log CFU/g으로 많이 검출된 편에 속하였다($p < 0.05$). 버터헤드의 경우에는 외엽, 내엽 모두 세균수가 수경재배 B 농장 제품(BUH2) 6.20, 5.86 log CFU/g, C 농장 제품(BUH3) 5.93, 5.71 log CFU/g으로 2품목에서, 대장균군은 C 농장 제품(BUH3)에서 3.48, 3.71 log CFU/g으로 높게 나타나($p < 0.05$), 바타비아와는 다른 결과를 보였다. Mohammad et al. (2022)의 연구에서는 시판되는 수경재배와 노지재배(재래식)를 포함한 엽채류의 미생물 프로파일을 분석하였으며, 세균수, 대장균군을 포함하여 대장균, 효모 및 곰팡이에서도 두 재배방식 간 유의적 차이가 발생하지 않았다. 본 연구에서도 미생물 검출량이 바타비아는 노지재배 제품이 많았으나, 버터헤드의 경우 수경재배 제품이 많아, 소매 유통망 단계에서의 미생물학적 안전성에 있어 수경재배가 유리하다고 판단할 수는 없었다.

관능 평가

스마트팜 수경재배 및 노지재배 엽채류 2종의 관능평가 결과는 Table 5와 같다. 식감(연하거나 단단함, hardness), 쓴맛(bitter taste) 등 강도 2개 항목과 외관(appearance), 맛(taste), 종합기호도(total

acceptability) 등 기호도 3개 항목, 총 5개 항목을 측정하였으며, 식감, 쓴맛 등 강도 2항목에서만 유의적 차이가 발생하였고, 기호도 3항목에서는 유의적 차이가 발생하지 않았다($p < 0.05$). 식감은 바타비아의 경우 BAH1 2.6, BAH2 3.8, BAH3 4.1, BAN 4.5로, 이 중 스마트팜 1품목(BAH1)이 관능적 식감이 연한 것으로 평가되었다($p < 0.05$). 버터헤드의 경우, BUH1 3.0, BUH2 3.8, BUH3 7.1, BUN 5.7로 수경재배 2품목(BUH1, BUH2)이 가장 연한 것으로, 나머지 수경재배 1품목(BUH3)이 가장 단단한 것으로 평가되었다($p < 0.05$). 바타비아와 버터헤드 두 품목 모두에서 A 농장 제품은 가장 연한 것으로 평가받았으며, 이는 Table 2의 texture analyser의 전단력 측정 결과에서도 동일하여, 관능평가와 기기측정에서 일부 유사한 결과가 나타났다. 쓴맛은 바타비아의 경우, BAH1 5.2, BAH2 6.3, BAH3 6.7, BAN 6.8로, 버터헤드의 경우 BUH1 4.4, BUH2 4.8, BUH3 6.7, BUN 5.3으로 평가되어 수경재배 공통적으로는 스마트팜 1품목(BUH1)의 쓴맛이 약한 것으로 평가되었다. 이에 반해 기호도는 외관, 맛, 종합기호도 등 모든 항목에서 유의적 차이가 발생하지 않아($p < 0.05$), 식감과 쓴맛에 대해 인지되는 관능적 차이가 기호도 차이에 기여한다고 보기에는 어려우며, 이는 엽채류의 관능특성에 대한 개인별 선호 편차가 큰 것에서 기인한다고 판단된다.

Table 4. Microorganisms of two leafy vegetables according to cultivation type

			Batavia			
			Hydroponically grown			Soil-grown
			BAH1	BAH2	BAH3	BAN
			Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD
Total aerobic	Outer leaves	(log CFU/g)	4.54 ^a ±0.61	6.20 ^b ±0.28	5.16 ^c ±0.58	6.97 ^d ±0.49
Bacteria	Innter leaves	(log CFU/g)	3.41 ^c ±0.64	5.68 ^b ±0.33	5.18 ^b ±0.38	6.49 ^d ±0.39
Coliforms	Outer leaves	(log CFU/g)	3.42 ^a ±0.70	1.83 ^{bc} ±0.21	2.91 ^{ab} ±0.99	0.98 ^c ±1.35
	Innter leaves	(log CFU/g)	1.00 ^c ±1.18	1.83 ^{bc} ±0.11	3.00 ^{ab} ±0.65	2.75 ^a ±0.55
			Butterhead			
			Hydroponically grown			Soil-grown
			BUH1	BUH2	BUH3	BUN
			Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD
Total aerobic	Outer leaves	(log CFU/g)	4.03 ^b ±1.22	6.20 ^a ±0.29	5.93 ^a ±0.38	5.46 ^a ±0.67
Bacteria	Innter leaves	(log CFU/g)	2.47 ^b ±0.57	5.86 ^a ±0.45	5.71 ^a ±0.31	3.37 ^b ±1.68
Coliforms	Outer leaves	(log CFU/g)	1.74 ^b ±1.69	1.59 ^b ±0.19	3.48 ^a ±0.30	0.51 ^b ±1.14
	Innter leaves	(log CFU/g)	ND ^b	0.80 ^b ±0.76	3.71 ^a ±1.06	0.79 ^b ±1.12

¹Average of measurements (n=3)±standard deviation

²Mean values with the same letter in a row are not significantly different at $p < 0.05$.

³Hydroponically grown batavia: BAH1 (farm A), BAH2 (farm B), BAH3 (farm C); butterhead: BUH1 (farm A), BUH2 (farm B), BUH3 (farm C)

⁴Soil-grown batavia: BAN (farm D); butterhead: BUN (farm D).

Table 5. Sensory test scores of two leafy vegetables according to cultivation type

		Batavia			
		Hydroponically grown			Soil-grown
		BAH1	BAH2	BAH3	BAN
		Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD
Strength	Hardness	2.6 ^b ±1.0	3.8 ^a ±1.1	4.1 ^a ±1.3	4.5 ^a ±1.4
	Bitter taste	5.2 ^b ±1.9	6.3 ^{ab} ±1.3	6.7 ^a ±1.9	6.8 ^a ±0.9
Preference	Appearance	6.7 ^a ±2.4	6.1 ^a ±2.3	6.1 ^a ±3.5	6.6 ^a ±2.3
	Taste	5.3 ^a ±3.6	5.5 ^a ±3.9	4.0 ^a ±3.4	5.4 ^a ±3.2
	Total acceptability	4.9 ^a ±3.5	5.2 ^a ±2.5	4.4 ^a ±2.3	5.5 ^a ±2.8
		Butterhead			
		Hydroponically grown			Soil-grown
		BUH1	BUH2	BUH3	BUN
		Mean SD	Mean SD	Mean SD	Mean SD
Strength	Hardness	3.0 ^c ±1.1	3.8 ^c ±1.3	7.1 ^a ±0.9	5.7 ^b ±1.3
	Bitter taste	4.4 ^b ±2.3	4.8 ^b ±1.9	6.7 ^a ±1.8	5.3 ^{ab} ±2.1
Preference	Appearance	5.7 ^a ±1.3	6.1 ^a ±0.9	6.4 ^a ±1.3	5.6 ^a ±1.3
	Taste	5.0 ^a ±1.5	5.2 ^a ±2.5	4.0 ^a ±2.5	5.7 ^a ±1.8
	Total acceptability	5.1 ^a ±1.4	5.3 ^a ±2.3	4.1 ^a ±2.6	5.7 ^a ±2.1

¹⁾Average of measurements (n=3)±standard deviation

²⁾Mean values with the same letter in a row are not significantly different at $p < 0.05$.

³⁾Hydroponically grown batavia: BAH1 (farm A), BAH2 (farm B), BAH3 (farm C); butterhead: BUH1 (farm A), BUH2 (farm B), BUH3 (farm C)

⁴⁾Soil-grown batavia: BAN (farm D); butterhead: BUN (farm D).

요약

본 연구에서는 시판 중인 스마트팜 수경재배 엽채류와 노지재배 엽채류의 품질을 객관적으로 비교 평가하기 위해 규격(중량, 크기), 색, 수분함량, pH, 기능성 쓴맛 성분, 기능성 성분, 항산화능, 미생물(일반세균군, 대장균군), 관능특성 등의 품질요소를 바타비아, 버터헤드 엽채류 2종을 대상으로 분석하였다. 스마트팜 수경재배와 노지재배 엽채류간 유의적 차이가 발생한 주요 항목은 중량, 조직감, 기능성 성분으로, 바타비아의 수경재배 중량은 127.15~138.26 g으로 노지재배 중량 219.30 g 대비 58~61% 수준으로, 버터헤드의 수경재배 중량은 107.48~127.66 g으로 노지재배 중량 237.23 g 대비 45~54% 수준으로 낮게 나타났다($p < 0.05$). 조직감도 수경재배 1품목(BAH3)을 제외하고 노지재배 작물이 모두 단단한 것으로 측정되었으며($p < 0.05$), 상부, 중부, 하부의 전단력 평균을 기준으로 수경재배 바타비아의 전단력은 노지재배 대비 32~82%, 수경재배 버터헤드의 조직감은 노지재배 대비 49~70%로, 수경재배 품목들의 조직감이 연한 것으로 나타났다. 크기(길이, 너비), 색, 수분, pH,

기능성 쓴맛 성분은 시료별 차이는 있었으나, 재배유형간 명확한 차이가 발생하지는 않았다($p < 0.05$). 재배유형간 차이가 발생한 항목 중 기능성 성분은, 수경재배 제품이 노지재배 제품에 대비하여 총 폴리페놀은 바타비아 63~89%, 버터헤드 58~69%로, 총 플라보노이드는 바타비아 81~99%, 버터헤드 50~71% 수준으로 대부분의 수경재배 제품에서는 비교적 낮고 노지재배 품목에서 높은 경향을 나타냈으며($p < 0.05$), 항산화능은 기능성 성분과 비교 시 재배유형간 유의적 차이와 경향성이 뚜렷하지는 않았다. 미생물 분석 결과는 바타비아 세균수가 외엽, 내엽 모두 노지재배에서 많이 검출되었으나, 그 외에는 두 재배유형간 통계적 경향성은 없었다($p < 0.05$). 관능 평가 결과는 강도 2항목(단단함, 쓴맛)에서는 일부 유의적 차이가 발생하였는데, 수경재배 A 농장 수경재배 제품들(BAH1, BUH1)이 모두 연한 것으로 평가받았으며($p < 0.05$), 이는 조직감(전단력) 측정 결과와 유사하였다. 그 외 기호도 3항목(외관, 맛, 종합기호도)에서는 모두 유의적 차이가 발생하지 않아($p < 0.05$), 일조직감과 쓴맛 관능 특성 차이는 일부 있으나, 이에 따른 기호도 차이가 크지는 않은 것으로 나타났다. 본 연구 결과에 따라 스마트

팜 수경재배와 노지재배 농산물 간 일부 품질 특성 차이가 있으며, 수경재배가 노지재배 제품에 비해 비교적 중량이 작고 연한 조직감 특성을 가지며 기능성 성분 함량이 적다고 할 수 있으나, 시료 구입 및 연구가 노지재배 방식이 유리한 기후조건을 갖는 계절(4월)에 이루어져, 일반적으로 농산물의 품질이 저하되는 하절기 등 다른 계절에 재배된 노지재배 제품과의 품질 특성 비교 연구를 보강한다면 스마트팜 수경재배 농산물 특성 파악의 기초자료로 참고할 수 있을 것으로 판단된다.

ORCID

Hye-Jung Park	https://orcid.org/0000-0002-8938-8739
Joo Hyuk Yim	https://orcid.org/0009-0006-0474-2708
Won Jin Choi	https://orcid.org/0009-0007-1003-5513
Chan-Jong Park	https://orcid.org/0009-0003-3408-2016
Hye-Won Shin	https://orcid.org/0000-0002-8872-5676

Conflict of interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

Not applicable.

Data availability

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authorship contribution statement

Conceptualization: Park HJ, Shin HW.
 Data curation: Park CJ.
 Formal analysis: Choi WJ.
 Methodology: Park HJ.
 Validation: Yim JH.
 Investigation: Park HJ, Yim JH, Choi WJ, Park CJ.
 Writing - original draft: Park HJ.
 Writing - review & editing: Park HJ, Yim JH, Choi WJ, Park CJ, Shin HW.

Ethics approval

Not applicable.

References

- Ares G, Martínez I, Lareo C, Lema P. 2008. Failure criteria based on consumers' rejection to determine the sensory shelf life of minimally processed lettuce. *Postharvest Biol. Technol.* 49: 255-259.
- Barg M, Agüero MV, Yommi A, Roura SI. 2009. Evolution of plant water status indices during butterhead lettuce growth and its impact on post-storage quality. *J. Sci. Food Agric.* 9: 422-429.
- Chae SK, Kang GS, Ma SJ, Bang KW, Oh MM, Oh SH. 2002. *Standard food analysis*. Jigu publishing Co., Paju, Korea, pp. 381-382.
- Chang MS, Kim GH. 2016. Quality characteristics and antioxidant activities of the organic leaf and stem vegetables. *J. East. Asian Soc. Diet. Life* 26: 201-206.
- Cho GT, Lee YY, Choi S, Yi JY, Lee GA, Ko HC, Na YW, Park HJ, Ma KH, Gwag JG. 2016. Variation of sesquiterpene lactones content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) germplasm. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 28: 220-226.
- Cho SH. 1984. Physical measurement of color changes in foods. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 13: 1-8.
- Cuppert S, Mccluskey MM, Paparozzi E, Parkhurst A. 1999. Nitrogen and sulfur effects on leaf lettuce quality¹. *J. Food Qual.* 22: 363-373.
- Gichuhi P, Mortley D, Bromfield E, Kpomblekou AK, Bovell-Benjamin A. 2005. Evaluation of carrots (*Daucus carota* L.) grown in two hydroponic systems for inclusion in NASA's advanced food systems. 2005. SAE Tech. Pap.. 2005-01-3114.
- Gutiérrez-Rodríguez E, Lieth HJ, Jernstedt JA, Labavitch JM, Suslow TV, Cantwell MI. 2013. Texture, composition and anatomy of spinach leaves in relation to nitrogen fertilization. *J. Sci. Food Agric.* 93: 227-237.
- Heinrich M, Robles M, West JE, Montellano BRO, Rodriguez E. 1998. Ethnopharmacology of Mexican Asteraceae (Compositae). *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 38: 539-565.
- Hwang JH, Jang MS. 2001. Physicochemical properties of Dongchimi added with Jasoja (*perillae semen*). *Korean J. Food Cookery. Sci.* 17: 555-564
- Jeong JH, Lee YS, Kim JK. 2012. Optimizing a method for measuring firmness of Chinese cabbage (*Brassica rapa*) and comparing textural characteristics among cultivars. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 30: 700-708.
- Lei C, Engeseth NJ. 2021. Comparison of growth characteristics, functional qualities, and texture of hydroponically grown and

- soil-grown lettuce. LWT. 150: 111931.
- Kim SJ, Sun SH, Kim GC, Kim HR, Yoon KS. 2011. Quality changes of fresh-cut leafy and condiment vegetables during refrigerated storage. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 40: 1141-1149.
- Kum JS, Han O. 1996. Effects of ceramic coating for microwave blanching on vegetables. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 25: 951-957.
- Kyere EO, Foong G, Palmer J, Wargent, JJ, Fletcher GC, Flint S. 2020. Biofilm formation of *Listeria monocytogenes* in hydroponic and soil grown lettuce leaf extracts on stainless steel coupons. LWT. 126: 109114.
- Li Q, Li X, Tang B, Gu M. 2018. Growth responses and root characteristics of lettuce grown in aeroponics, hydroponics, and substrate culture. Horticulturae 4: 35.
- Manzocco L, Foschia M, Tomasi, N, Maifreni M, Costa LD, Marino M, Cesco S. 2011. Influence of hydroponic and soil cultivation on quality and shelf life of ready-to-eat lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr). J. Sci. Food Agric. 91: 1373-1380.
- Mazza G, Fukumoto L, Delaquis P, Girard B, Ewert B. 1999. Anthocyanidins, phenolics, and color of Cabernet Franc, Merlot, and Pinot Noir wines from British Columbia. J. Agric. Food Chem. 47: 4009-4017.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2024. Policy promotion. Available from: <https://www.mafra.go.kr/>
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs & Korea Agency of Education, Promotion and Information Service in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2024. 2023 Smart Agriculture Survey. Sejong-si, Korea.
- Ministry of Food and Drug Safety. 2024. Food standards and specifications (No.2023-56). Chapter 8. Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea.
- Mohammad ZH, Prado I, Sirsat SA. 2022. Comparative microbial analyses of hydroponic versus in-soil grown romaine lettuce obtained at retail. Heliyon 8: e11050.
- 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: 1231-1237.
- Rural Development Administration. 2023. Expanding the use of 'circular hydroponics' to conserve the environment and conserve resources (National Institute of Horticultural and Herbal Science). Jeonju-si, Jeonbuk-do, Korea. (<https://www.rda.go.kr/>)
- Sharma OP, Bhat TK. 2009. DPPH antioxidant assay revisited. Food Chem. 113: 1201-1205.
- Yu JE, Jeong TK, Choi YM, Lee SH, Lee HN, Jeong HS, Lee JS. 2020. Antioxidant activity and hepatoprotective effect of methanol extracts from vegetable sprouts commonly consumed in Korea. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 49: 781-787.
- Zapata-Vahos IC, Rojas-Rodas F, David D, Gutierrez-Monsalve JA, Castro-Restrepo D. 2020. Comparison of antioxidant contents of green and red leaf lettuce cultivated in hydroponic systems in greenhouses and conventional soil cultivation. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellin 73: 9077-9088.
- Zhou T, Harrison AD, McKellar R, Young JC, Odumeru, J, Piyasena, LX. 2004. Determination of acceptability and shelf life of ready-to-use lettuce by digital image analysis. Food Res. Int. 37: 875-881.