

홍고추의 유전형 및 재배환경 요인에 따른 비타민 성분의 자연변이 연구

이소영* · 김은하* · 백다영 · 이경민 · 박수윤 · 이상구 · 류태훈 · 강현중 · 오선우

국립농업과학원 생물안전성과

Genotypic and Environmental Effects on the Variation of Vitamin Contents in Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Varieties

So-Young Lee*, Eun-Ha Kim*, Da-Young Baek, Gyeong-Min Lee, Soo-Yun Park, Sang-Gu Lee, Tae-Hoon Ryu, Hyeon-Jung Kang, and Seon-Woo Oh

Biosafety Division, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration

ABSTRACT Red peppers are a remarkably rich source of vitamins in the human diet and widely consumed in Korea. However, comprehensive studies have not reported on the effects of genotype, cultivation regions, and year of cultivation on the vitamin composition of the pepper fruits. To address this, twelve commercial pepper varieties were grown at two locations in Korea during 2016 and 2017, and the concentrations of vitamin A, B₁, B₂, B₃, B₅, and E (α -, β -, δ -, γ -tocopherols) in pepper pericarps were determined. Statistical analysis of the combined data showed significant differences among varieties, locations, and years for the measured components. The % variability analysis demonstrated that environment (location and year) and genotype-environment interaction contributed more to the nutritional contents than the genotype alone. Particularly, variation in vitamins A, C, B₂, B₃, and γ -tocopherol was attributed to the year of cultivation. α -Tocopherol primarily varied by the genotype-environment interaction. Vitamin B₅ was the trait that the most highly affected by genotype. The location effect was significant for β -tocopherol. Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) results showed that the separation of vitamins was distinct by year and location. These results were supported by the % variability analysis. Our study could explain the natural variation in the vitamin compositions of peppers by genotypes and environments.

Key words: red pepper, vitamin, partial least square discriminant analysis (PLS-DA), natural variation

서 론

남아메리카 지역이 원산지인 고추(*Capsicum annuum* L.)는 가지, 토마토 등과 함께 가지과에 속하며, 전 세계적으로 다양한 요리에 활용된다. 우리나라에서는 김치의 주재료로 오래전부터 사용되어 왔으며 풋고추, 홍고추, 고춧가루, 고추장 등으로 섭취되고 있다. 고추는 수확성이 높은 채소로 전 세계적으로 다양한 유전자원이 있으며, 그중 *C. annuum*과 *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum pubescens*이 가장 많이 재배되고 있다. 고추는 무기질과 비타민이 풍부하며, 카로티노이드, 캡사이신, 폴리코사놀, 파이토스테롤 등 항산화, 항암, 항염증 등의 효과가 있는 성분들을 다량 함유하고 있어, 식품으로뿐만 아니라 의약품으로 활용될 수 있는 가치가 크다(Baenas

등, 2019; Byun 등, 2016; Kim 등, 2017; Wahyuni 등, 2011). 시장과 산업 부분의 다양한 요구에 맞춘 고추를 육종하기 위하여 고추의 다양한 유전자원과 유전정보, 영양정보는 중요하게 이용되고 있다(Cho 등, 2004; Kantar 등, 2016; Tripodi 등, 2019; Sadilova 등, 2006). 최근 보고된 *C. annuum*의 게놈 시퀀스 정보는 주요 형질과 유전정보의 연관성을 제시함으로써 분자육종을 포함한 고추 육종 연구에 중요하게 활용되고 있다(Kim 등, 2014).

고추에서 비타민 A와 비타민 C(ascorbic acid)의 함량 분석은 기존에 많이 보고되어 있지만(Kim과 Kim, 1992; Choi, 2006; Jung 등, 2010; Kantar 등, 2016), 비타민 B군과 비타민 E에 대한 정보는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 비타민 A, 비타민 C와 더불어 4개의 비타민 B군(B₁, B₂, B₃, B₅)과 비타민 E(α -, β -, γ -, δ -tocopherol)의 함량을 분석하였다. 인간과 동물에서 비타민의 필수적인 기능은 잘 알려져 있다(Gupta와 Gupta, 2015; Maqbool 등, 2017). 비타민 A는 자연에 널리 분포되어 있는 색소로 고추의 붉은 색에 크게 관여하고 눈 건강과 암 예방 효능이 보고되고 있으며(Sklan, 1987), 비타민 B군에서 B₁(thiamine)은 세균, 곰팡이, 유산균 등에 대한 항균성을 가지고 있고 음식물 대

Received 2 December 2019; Accepted 14 January 2020

Corresponding author: Seon-Woo Oh, Biosafety Division, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju, Jeonbuk 54874, Korea

E-mail: ohsw0507@korea.kr, Phone: +82-63-238-4709

*These authors contributed equally to this work.

사과정에 필수적이다(Lonsdale, 2006; Seo 등, 2011). 비타민 B₂(riboflavin)는 동맥경화, 고혈압 등 질병 예방에 효과적이며(Powers, 2003), 비타민 B₃(niacin)가 부족할 경우 설사, 두통, 색소침착, 우울증 등이 발생된다(Williams와 Ramsden, 2005; Fricker 등, 2018). 또한 비타민 C와 비타민 E는 항산화성 물질로써 산화적 손상으로부터 세포막을 보호하여 항암 효과 및 심혈관 질환의 위험성을 낮춘다고 보고되고 있다(Padayatty 등, 2003; Jiang, 2014). 현대 사회에서는 자외선과 같은 외부 자극이 반복되며 발암 원인 물질인 활성산소종(reactive oxygen species)을 유발하는데 이를 항산화제로 제거하여 암을 예방할 수 있다. 항산화제 중 합성 산화제들은 유해성 여부에 대한 문제가 제기되며 천연 항산화제들이 각광받고 있는데 고추의 경우 높은 항산화성을 가지고 있다고 보고되어 있다(Kang과 Kang, 2010; Kim 등, 2012; Nadeem 등, 2011; Yoon 등, 2012).

고추의 주요 영양성분은 품종과 재배환경 또는 이들의 상호작용, 열매의 발달과정 등에 따라 자연변이를 보인다(Tundis 등, 2013; Kim 등, 2019). 하지만 지금까지 고추에 관한 연구로는 이들 요인들에 의한 캡사이시노이드, 무기질, 지방산 조성, 유리당, 비타민 C 등의 함량 변이가 주로 보고 되었으며(Cho 등, 2004; Huang 등, 2014; Hwang 등, 2014; Kim 등, 2019), 동일 품종에서 재배지역 및 재배연도가 비타민들의 함량에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 우리나라 고추 주산지인 임실과 영양에서 상업화된 12품종을 2016년과 2017년도에 동시 재배한 후 열매를 수확하여 그 과육에서 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 B₂, 비타민 B₃, 비타민 B₅(pantothenic acid), 비타민 C와 비타민 E(α -, β -, γ -, δ -tocopherol)를 분석하였다. 또한 고추 비타민의 품종별, 재배연도와 재배지역에 따른 함량 변이를 통계 프로그램을 이용하여 비교 분석하여 비타민 함량에 이들 요소가 미치는 영향을 연구함으로써 고추의 영양성분 특성에 대한 기초자료로 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

시험 재료

본 연구에 사용한 고추(*C. annuum*)는 2016년, 2017년도에 경상북도 영양(영양고추연구소)과 전라북도 임실(임실군 농업기술센터)에서 재배한 일반 상업품종으로 12품종(BST, MCB, GCH, HBC, JSN, AJB, PJDG, PBMI, PSUL, PKST, MM, PEVR)을 제공받아 사용하였다. 55°C에서 30시간 동안 건조한 고추는 씨와 꼭지를 제거하고 과육을 분쇄기(HMF-3800ss, Hanil Electric, Seoul, Korea)에 분쇄 후 체(standard testing sieve 45 μ m, Chung-Gye Sang Gong Ltd., Seoul, Korea)에 걸러 분말 형태로 준비하였으며, -70°C에 보관하여 시료로 사용하였다.

비타민 A 분석

비타민 A(β -carotene 함량으로 측정)의 함량 분석은 Kurilich와 Juvik(1999)의 방법을 수정하여 수행하였다. 고추 시료(30 mg)를 ethanol(0.1% ascorbic acid 포함)로 85°C의 항온수조에서 5분 동안 추출한 후, 80% potassium hydroxide(w/v) 0.12 mL를 넣어 섞은 다음 85°C 항온수조에서 10분 동안 추출하고 바로 ice에 넣어 5분 동안 반응을 정지시켰다. 내부 표준물질(internal standard, IS)로써 β -apo-8'-carotenol(100 ppm, ethanol) 0.05 mL를 넣고 물 1.5 mL와 핵산 1.5 mL를 넣어 섞은 후 4°C에서 12,000 rpm으로 5분 동안 원심분리 하고 상층액을 취하였다. 다시 핵산 1.5 mL를 넣고 위의 조건으로 반복 추출하여 상층액을 취한 다음, 질소 가스로 모두 날린 후 methanol:dichloromethane의 비율이 50:50(v/v)인 용매로 녹여 HPLC(1260 Infinity II HPLC, Agilent, Massy, France)로 분석하였다. 컬럼은 C30 YMC(250×4.6 mm, 3 μ m; YMC Co., Kyoto, Japan), 검출기는 PDA-detector(450 nm)를 사용하였으며, 이동상 조건은 gradient mode를 사용하였다.

비타민 B₁ 분석

비타민 B₁ 분석은 Sims와 Shoemaker(1993)의 방법을 이용하였으며, 0.1 g의 시료에 0.1 N HCl 1 mL를 넣고 80°C의 항온수조에 30분 동안 추출한 후 5분 동안 실온 냉각하였다. 이후 2 N NaOAc(pH 4.5) 0.3 mL와 증류수 0.2 mL를 넣고 4°C에서 13,000 rpm에서 5분 동안 원심분리 하였다. 상층액 0.4 mL를 취하고 1% potassium ferricyanide(15% NaOH) 0.3 mL를 넣고 섞은 후 원심분리 한 다음 1분 동안 두었다. 여기에 3.75 N HCl 0.3 mL를 넣어 섞고 Sep-Pak cartridges(Sep-Pak Plus C18 Cartridges; #WAT020515, Waters Co., Milford, MA, USA)를 사용하여 정제하였다. Sep-Pak 컬럼은 2 mL의 메탄올과 5 mM의 NH₄OAc(pH 5.0) 2 mL를 차례로 흘려 활성화했으며, 추출물 1 mL를 통과시킨 후 5 mM NH₄OAc(pH 5.0) 2 mL로 세척하고 methanol과 5 mM NH₄OAc(60:40 (v/v)) 2 mL로 최종 분석물질을 추출하였다. 수집된 2 mL의 추출 시료를 0.2 μ m PTFE(Advantec Toyo Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)로 filtering 하여 분석에 사용하였다. HPLC 분석기(1260 Infinity II, PDF+ RF, Agilent)는 C18 컬럼(250×4.6 mm, 5 μ m, Inertsil ODS-3, GL Science, Tokyo, Japan)과 C12 가드컬럼을 사용하였고, 370 nm excitation, 435 nm emission 조건으로 분석하였다.

비타민 B₂ 분석

비타민 B₂ 분석은 Arella 등(1996)의 방법을 이용하여 수행하였다. 분쇄된 0.02 g의 시료에 1 mL의 물을 첨가하여 78°C의 항온수조에서 20분 동안 반응 후 실온 냉각시켜 반응을 정지시키고, 교반 후 4°C, 15,000 rpm 조건에서 10분 동안 원심분리 하였다. 상등액을 취하여 0.2 μ m PTFE로 여

과 후 분석에 사용하였다. HPLC(Shimadzu, Kyoto, Japan) 분석은 C18 컬럼(250×4.6 mm, 5 µm, Inertsil ODS-3; GL Sciences, Tokyo, Japan)을 사용하여 PDA detector(422 nm excitation, 515 nm emission)로 분석하였다.

비타민 B₃ 분석

비타민 B₃ 분석은 Cho 등(2004)의 방법을 이용하여 분석하였으며, 0.02 g의 시료에 2.5 N H₂SO₄ 0.95 mL와 내부표준물질 D₄-nicotinic acid(100 ppm, 0.1 N HCl) 0.05 mL를 넣고 vortexing 한 후 뚜껑을 호일로 감싸주었다. 121°C에서 15분 동안 고온고압(autoclave) 추출을 하고 실온으로 냉각한 후 13,000 rpm으로 5분 동안 원심분리 하고 HLB PLUS LP Extraction Cartridge(Waters Co.)를 사용하여 추출하였다. Cartridge를 활성화(methanol 1 mL, 증류수 2 mL)한 후 시료 0.2 mL를 cartridge에 통과시킨 다음 물 2 mL로 세척하고 70% methanol 1 mL로 추출하였다. 추출된 시료는 원심 농축한 후 동결 건조하였다. Pyridine 0.05 mL와 *N*-methyl-*N*-(trimethylsilyl) trifluoroacetamide (MSTFA) 0.05 mL를 넣고 1,200 rpm으로 60°C에서 30분 동안 추출(Thermomixer, Eppendorf AG, Hamburg, Germany)하여 Gas-Chromatography/Time-Of-Flight Mass spectrometry(GC/TOF-MS)(Pegasus BT, LECO, St. Joseph, MI, USA)로 분석하였다.

비타민 B₅ 분석

비타민 B₅ 분석은 식품공전 판토텐산 방법을 수정하여 수행하였다(MFDS, 2019b). 시료 0.2 g과 증류수 5 mL를 넣고 잘 섞어 30분 동안 초음파 분해(sonication)하였다. 3% acetic acid를 2 mL 넣고 다시 60분 동안 초음파 분해한 후 4°C에서 15,000 rpm으로 20분 동안 원심분리 하였다. 상층액 5 mL를 취해 동결 건조한 후 물 2 mL를 넣고 0.45 µm syringe filter(Nylon filter media, Whatman, Little Chalfont, UK)로 여과하여 HPLC(1100, Agilent)로 분석하였다. YMC-Pack 컬럼(250×4.6 mm, 5 µm, Hypersil Gold aQ; Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)을 사용하였으며 이동상은 A(50 mM KH₂PO₄, pH 3.5)와 B(acetonitrile)의 비율을 80:20(v/v)로 혼합한 후 사용하였다.

비타민 C 분석

비타민 C는 식품공전 방법(MFDS, 2019a)을 이용하여 2,4-dinitrophenyl hydrazine(DNPH)에 의한 정량법을 약간 수정하여 분석하였다. 시료 0.5 g을 취하여 10% 메탄인 산용액 12~25 mL를 가한 후 1분 동안 2,000 rpm으로 균질화하였다. 이후 3,000 rpm에서 10분 동안 원심분리 한 후 상층액을 회수하고 남은 pellet에 추출용매 10 mL를 넣어 5분 동안 초음파 분해한 다음 상층액을 모아 filter tube에 넣고 다시 원심분리 하였다. 50 mL로 부피 정용한 후 0.45 µm syringe filter(hydrophilic)를 이용하여 여과한 다음

HPLC로 분석하였다. 컬럼은 synergi 4 µm hydro-RP 80Å (250×4.6 mm, Phenomenex Inc., Torrance, CA, USA), 이동상 용매는 0.05% formic acid를 사용하였다.

비타민 E 분석

비타민 E 분석은 Kurilich와 Juvik(1999)의 방법을 수정하여 사용하였다. 시료(50 mg)에 ethanol로 용해한 0.1% ascorbic acid를 3 mL 넣고 85°C의 항온수조에 5분 동안 추출하였다. 80% KOH를 0.12 mL 넣고 다시 85°C 항온수조에서 10분 동안 반응시켰다. 실온으로 냉각한 후 hexane에 용해한 5α-cholestane(10 ppm, IS)을 0.05 mL 넣고 증류수 1.5 mL와 hexan 1.5 mL를 넣어 4°C, 12,000 rpm으로 5분 동안 원심분리 하였다. 상층액을 옮긴 후 다시 hexan 1.5 mL로 추출, 원심분리 하였다. 상층액을 질소 가스와 원심농축방법으로 농축한 후 동결 건조하였다. Pyridine 0.03 mL와 *N*-methyl-*N*-(trimethylsilyl) trifluoroacetamide (MSTFA) 0.03 mL를 넣고 1,200 rpm으로 60°C에서 30분 동안 추출(Thermomixer, Eppendorf AG)하여 GC/TOF-MS(Pegasus BT, LECO)로 분석하였다.

통계분석

통계분석은 SAS Enterprise guide 7.1 통계프로그램(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 실시하였다. 고추 품종별 비타민 함량 비교는 일원분산 분석 후, Bonferroni *t*-검정을 이용하여 *P*<0.05 수준에서 유의성을 검증하였다. 지역별(임실, 영양) 및 연도별(2016, 2017)에 따른 비타민 함량 비교는 paired *t*-test로 분석하였다. 고추 작물의 비타민 성분의 자연변이를 비교하기 위해 영향 요인을 재배지역, 재배연도 및 품종별로 구분하고, 이들 요인에 의한 비타민 성분의 변이를 비교 분석하였다. 자연변이 분석은 R package(version 3.4.3, 2017)의 선형복합모델(linear mixed model)을 이용하여 % variability(변동성)를 도출하여 비교 분석하였다. 다변량 통계분석은 SIMCA-P 12.0 software(Umetrics, Umea, Sweden)를 이용하여 chemometric method인 부분최소자승판별법(partial least squares of discriminant analysis: PLS-DA) 모델을 통해 독립변수에 대한 종속변수(비타민 성분)들 간의 군집양상을 확인하였다.

결과 및 고찰

고추 품종별 비타민 성분 비교 평가

2016년과 2017년에 임실과 영양에서 각각 재배된 고추에서 과육 중 비타민 성분들을 분석하고 품종별로 비교한 결과(Table 1A), 분석된 비타민의 총 함량에서는 HBC의 함량이 가장 낮았으며 AJB의 함량이 가장 높은 것으로 확인되었다. 품종 간 유의한 차이를 보이지 않은 성분 항목은 비타민 C와 γ-tocopherol이었으며(*P*>0.05), 비타민 B₂와

Table 1. Vitamin composition of red pepper varieties (pericarp) across location and year by variety (A), and across varieties by location (B), and year (C)

	Vit A	Vit B ₁	Vit B ₂	Vit B ₃	Vit B ₅	Vit C	α -Tocopherol	β -Tocopherol	γ -Tocopherol	δ -Tocopherol	SUM
BST	145.8 ^{ab} (54.2~260) ¹⁾	0.767 ^{abc} (0.52~1.08)	62.6 (42.6~84.4)	151.8 ^a (113~188)	128.7 ^c (54.3~269.9)	26.6 (19.5~32.4)	42.0 ^{abc} (36.1~46.0)	0.4 ^{abc} (0.25~0.65)	0.30 (0.06~1.03)	0.03 ^a (0.0~0.04)	559.0
MCB	181.5 ^a (135~229)	0.915 ^a (0.75~1.13)	58.6 (38.2~79.3)	132.5 ^a (108~147)	104.7 ^c (33.0~250.8)	23.4 (15.8~28.0)	47.4 ^{ab} (33.1~61.9)	0.5 ^{ab} (0.25~0.72)	0.37 (0.14~0.94)	0.03 ^a (0.0~0.05)	549.92
HBC	103.4 ^b (60.2~138)	0.768 ^{abc} (0.583~1.02)	77.5 (59.2~99.6)	123.9 ^a (101~137)	96.5 ^c (49.2~180.2)	20.3 (11.7~28.4)	34.4 ^c (28.9~41.4)	0.3 ^c (0.13~0.33)	0.06 (0.03~0.11)	0.0 ^b (0.0~0.02)	457.13
GCH	137.7 ^{ab} (75.8~238)	0.601 ^c (0.451~1.16)	65.9 (40.6~86.4)	128.9 ^a (101~151)	94.9 ^c (22.3~288.1)	25.4 (14.5~31.3)	51.6 ^a (37.7~63.9)	0.6 ^a (0.26~0.77)	0.30 (0.09~0.71)	0.03 ^a (0.02~0.04)	505.93
JSN	180.6 ^a (131~279)	0.857 ^{abc} (0.69~1.08)	62.1 (39.1~83.7)	135.1 ^a (106~156)	313.4 ^{ab} (251.2~381.7)	22.4 (11.5~28.0)	43.5 ^{abc} (36.7~49.6)	0.5 ^{ab} (0.29~0.64)	0.29 (0.06~1.03)	0.02 ^{ab} (0.0~0.04)	758.77
AJB	156.3 ^{ab} (110~226)	0.873 ^{ab} (0.635~1.25)	62.3 (39.4~87.2)	123.6 ^a (110~140)	369.2 ^a (236.4~508.2)	21.3 (11.4~28.3)	39.3 ^{abc} (32.4~46.4)	0.4 ^{bc} (0.26~0.45)	0.29 (0.14~0.94)	0.02 ^{ab} (0.0~0.04)	773.58
PJDG	165.4 ^{ab} (90.4~241)	0.771 ^{abc} (0.46~1.33)	55.2 (39.4~67.6)	143.6 ^a (109~174)	116.3 ^c (37.5~268.8)	22.7 (13.2~30.6)	37.2b ^c (19.3~52.1)	0.4 ^{abc} (0.23~0.67)	0.28 (0.03~0.11)	0.03 ^a (0.0~0.04)	541.88
PMBI	168.7 ^{ab} (82.1~242)	0.913 ^{ab} (0.63~1.15)	53.3 (42.5~63.7)	133.1 ^a (31.5~203)	325.2 ^a (267~386.7)	21.3 (9.64~28.0)	42.4 ^{abc} (22.4~50.4)	0.5 ^{ab} (0.23~0.65)	0.29 (0.09~0.71)	0.03 ^a (0.0~0.04)	745.73
PSUL	183.7 ^a (122~233)	0.854 ^{abc} (0.60~1.14)	63.4 (37.9~84.5)	144.2 ^a (108~178)	103.4 ^c (29.0~270.2)	26.1 (10.9~35.8)	46.1 ^{ab} (30.1~54.3)	0.5 ^{ab} (0.20~0.75)	0.31 (0.06~0.90)	0.02 ^{ab} (0.0~0.04)	568.58
PKST	140.8 ^{ab} (86.0~229)	0.86 ^{abc} (0.58~1.22)	58.4 (33.0~81.8)	145.0 ^a (99.5~216)	188.4 ^c (50.3~370.6)	26.1 (14.2~36.2)	42.3 ^{abc} (29.5~55.8)	0.4 ^{abc} (0.23~0.69)	0.35 (0.11~0.74)	0.03 ^a (0.02~0.04)	602.64
MM	200.7 ^a (127~238)	0.727 ^{abc} (0.54~0.97)	57.6 (41.3~81.9)	142.9 ^a (119~169)	195.0 ^{bc} (70.6~272.4)	21.3 (12.6~29.2)	46.7 ^{ab} (36.4~55.8)	0.5 ^{ab} (0.30~0.60)	0.34 (0.12~0.69)	0.03 ^a (0.02~0.04)	665.80
PEVR	146.2 ^{ab} (69.9~237)	0.652 ^{bc} (0.51~1.00)	62.2 (38.5~87.7)	144.2 ^a (118~176)	107.9 ^c (40.0~286.7)	24.8 (19.4~29.3)	42.6 ^{abc} (21.7~54.5)	0.5 ^{ab} (0.23~0.75)	0.30 (0.08~0.81)	0.03 ^a (0.0~0.04)	529.38
P-value ²⁾	***	***	NS ³⁾	*	***	NS	***	***	NS	***	
Imstil	168.5 (54.2~279)	0.876 (0.46~1.33)	61.8 (32.3~99.6)	136.60 (99.5~203)	210.80 (50.2~508)	43.96 (9.6~32.4)	44.00 (30.1~63.9)	0.37 (0.13~0.61)	0.39 (0.04~1.03)	0.02 (0.0~0.04)	667.32
Yangyang	150.0 (80.5~234)	0.717 (0.45~1.06)	61.4 (45.9~82.2)	138.10 (31.5~216)	146.50 (22.3~390)	41.95 (11.4~36.2)	42.00 (19.3~61.1)	0.53 (0.25~0.78)	0.19 (0.03~0.43)	0.03 (0.0~0.05)	581.42
P-value	*	***	NS	NS	**	NS	NS	***	***	**	
2016	134.2 (54.2~234)	0.733 (0.46~1.06)	69.1 (45.9~99.6)	148.60 (101~216)	160.00 (22.3~508)	27.84 (26.4~30.5)	43.42 (21.7~63.9)	0.47 (0.13~0.70)	0.12 (0.03~0.30)	0.02 (0.0~0.04)	584.50
2017	184.3 (60.2~279)	0.86 (0.45~1.33)	54.1 (33.0~75.4)	126.10 (31.5~170)	197.30 (25.5~387)	19.14 (9.6~36.2)	42.49 (19.3~61.1)	0.43 (0.20~0.77)	0.46 (0.06~1.03)	0.03 (0.0~0.05)	625.21
P-value	***	***	***	***	NS	***	NS	NS	***	***	

¹⁾Data are expressed as mean and range (parentheses). The unit is $\mu\text{g/g}$ (dry weight, DW) with exception of vitamin C, mg/100 g (DW).²⁾P-value by ANOVA: * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$.³⁾NS: not significant.

비타민 B₃는 유의적 차이($P<0.05$)를 보였다. 품종 간 유의한 차이가 아주 큰 항목은 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 B₅, α -tocopherol, β -tocopherol, δ -tocopherol($P<0.001$)이었다. 비타민 A에서는 MM의 총 평균 함량은 200.7 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았으며 127~238 $\mu\text{g/g}$ 의 범위였고, HBC의 총 평균 함량은 103.4 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 낮았으며 60.2~138 $\mu\text{g/g}$ 의 범위였다. 비타민 B₁의 경우 품종 중 MCB의 총 평균 함량은 0.915 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았으며 0.75~1.13 $\mu\text{g/g}$ 의 범위였고, GCH의 총 평균 함량은 0.601 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 낮았으며 0.451~1.16 $\mu\text{g/g}$ 의 범위였다. 비타민 B₅는 측정된 비타민들 중에서 품종별 변이가 가장 컸다. 비타민 B₅의 함량이 가장 높은 품종은 AJB로 총 평균 함량은 369.2 $\mu\text{g/g}$, 236.4~508.2 $\mu\text{g/g}$ 범위였으며, 가장 낮은 품종은 GCH이며 총 평균 함량은 94.9 $\mu\text{g/g}$, 22.6~288.1 $\mu\text{g/g}$ 범위였다.

고추의 대부분의 품종에서 비타민 C가 가장 풍부하였으며, 그다음으로 비타민 B₃, 비타민 A, 비타민 B₅, 비타민 B₂, 비타민 B₁ 순으로 확인되었다. 비타민 E로 알려진 네 가지 타입의 tocopherol 중에서 α -tocopherol이 사람과 동물의 건강에 가장 중요한 것으로 알려져 있다. α -Tocopherol은 고추과육에 주로 함유되어 있으며, γ -tocopherol은 고추씨앗에서 특이적으로 발견됨이 보고되었다(Frary 등, 2008). 본 연구에서도 고추과육에서 α -tocopherol이 가장 풍부하였으며, β -tocopherol, γ -tocopherol, δ -tocopherol 순으로 아주 소량으로 측정되었다. Huang 등(2014)은 24개의 신품종에서 비타민 C 함량의 품종별 차이를 보고하였으나, 본 연구에서 사용된 고추 품종에서는 통계학적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다.

고추 재배지역 및 재배연도별 비타민 성분 비교 평가

임실과 영양지역에서 2016년과 2017년도에 재배한 12개의 품종 전체의 비타민 함량을 지역별로 비교한 결과 (Table 1B), 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 B₅, β -tocoph-

erol, γ -tocopherol, δ -tocopherol이 통계학적으로 유의미한 차이를 보였다. 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 B₅, γ -tocopherol의 함량은 임실 고추가 높았으며($P<0.05$), β -tocopherol과 δ -tocopherol 함량은 영양 고추에서 높았다($P<0.05$). 비타민 B₂, 비타민 B₃, 비타민 C, α -tocopherol은 두 지역 간 유의미한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 임실과 영양에서 재배한 12개 품종 전체의 비타민 함량에 대해 재배연도 간 차이 여부를 확인한 결과(Table 1C), 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 B₂, 비타민 B₃, 비타민 C와 γ -tocopherol, δ -tocopherol은 유의한 차이가 아주 컸다($P<0.001$). 비타민 B₂, 비타민 B₃, 비타민 C는 2016년도 재배 고추에서 함량이 더 높았으며, 비타민 A, 비타민 B₁, γ -tocopherol, δ -tocopherol 함량은 2017년도 고추에서 더 높은 것으로 확인되었다($P<0.001$). 비타민 B₅, α -tocopherol과 β -tocopherol은 연차 간 함량 차이가 없는 것으로 확인되었다($P>0.05$).

고추 비타민 성분의 통계적 자연변동성 분석(% variability)

작물의 영양성분은 품종에 따른 유전적 차이뿐만 아니라 재배지역, 재배연도 등의 환경 요인 또는 이들의 교호작용에 의해 자연적인 변동성을 나타낸다. 본 연구에서도 고추 작물의 구성성분이 유전적 요인과 환경 요인에 의해 어느 정도의 변이를 나타내는지 확인하기 위하여 통계적 모델을 개발하고, 품종(V)과 지역(L) 및 연도(Y)에 대한 환경 요인이 비타민 성분의 자연변이에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 즉 고추 성분을 분석한 데이터를 기반으로 R 통계의 선형복합 모델(linear mixed model)을 이용하여 자연변동성(% variability) 분석을 하였다(Fig. 1).

재배지역 요인에 의해 자연변동성이 가장 크게 나타난 성분은 비타민 B₁과 β -tocopherol(각각 21.43%, 42.08%)이었으며, 재배연도에 의한 자연변동성이 가장 큰 성분은 비타민 A, 비타민 B₂, 비타민 B₃, 비타민 C, γ -tocopherol, δ -to-

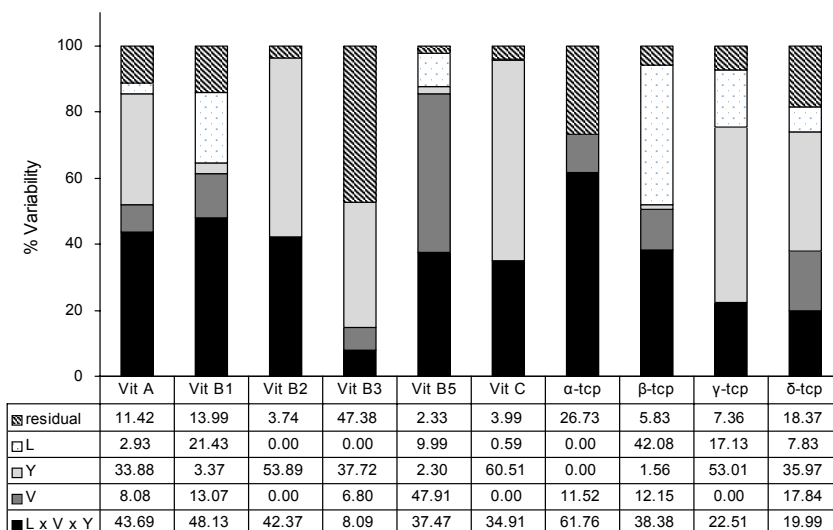


Fig. 1. Variability proportion affecting on natural variation in vitamins. L, location; Y, year; V, variability; tcp, tocopherol.

copherol(각각 33.88%, 53.89%, 37.72%, 60.51%, 53.01%, 35.97%)로 확인되었다. 품종 요인에 의해 자연변동성이 가장 크게 나타난 성분은 비타민 B₅와 δ -tocopherol(각각 47.91%, 17.84%)로 확인되었다. 비타민 B₂의 자연변동성에 영향을 미치는 요인은 재배연도 외에 지역과 품종에 의해서는 영향을 받지 않는 것으로 확인되었으며, α -tocopherol은 지역과 재배연도에 의한 자연변동성 영향이 거의 없는 것으로 확인되었다. 비타민 B₃의 경우는 환경 요인(재배지역, 재배품종, 재배연도)에 의한 영향 이외 설명될 수 있는 잔사(residual)의 영향이 가장 큰 것으로 확인되었다.

Cong 등(2015)의 연구에서 상업품종 옥수수를 대상으로 성분의 자연변동성에 미치는 요인을 연구한 결과 일반성분(조단백질, 조지방, 회분, 탄수화물, 조섬유 등)은 재배지역에 의한 변동성이 재배품종보다 더 큰 것으로 분석되었으며, 지방산은 재배품종이 재배지역보다 자연변동성을 더 크게 초래하는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 성분별 외부 환경 요인에 의한 자연변동성이 다양하게 나타났으므로, 작물마다 성분의 자연변동성에 대한 추가적인 연구로 변동성에 대한 양상을 비교 분석하면 향후 개발되는 생명공학 작물의 변동성 범위 확인을 통해 안전성 평가에도 적용가능 할 것으로 사료된다.

고추 비타민 성분의 다변량 분석(판별분석(PLS-DA) 및 기여도(VIP) 분석)

고추 비타민 성분의 군집별 차이 특성을 비교하기 위해 부분최소자승판별법(Partial Least Squares Discriminant Analysis, PLS-DA)을 이용하여 분석하였다. PLS-DA 군집분석 방법은 기존의 PCA(Principal component analysis)에 비하여 이미 정해진 군집별 특성을 판별하는 데 훨씬 유리하다고 보고되고 있다(Pérez-Enciso 등, 2003). 본 연구에서는 임실과 영양에서 2016년, 2017년도에 재배한 12개 고추 품종의 비타민 데이터를 품종별로 PLS-DA 주성분 분석(score plot)을 통해 표현한 결과, principal component(PC)1과 PC2 score는 각각 42.1%와 22%의 설명력을 갖고 있으며, 전체 데이터 분산의 64.1%를 보존하고 있으므로 PC1과 PC2 두 개만으로도 2차원 시각화에 전체 데이터의 분산을 파악하는 데 문제가 없는 것으로 판단된다(Fig. 2A). HBC 품종은 95% 신뢰구간 밖에 위치하였으며, HBC를 제외한 11개 고추 품종들은 대체로 지정된 신뢰구간 범위 내에서 분산력과 분리력에 대한 설명이 가능하였다. PC1 벡터에 의해 품종 간 구분에 주요한 영향을 미친 성분은 비타민 B₃와 tocopherol(α , β , γ , δ)이었으며, PC2 벡터로 품종 간 구분에 영향을 미친 성분은 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 B₂, 비타민 B₅와 비타민 C 성분이었다.

산점도 분포도(loading plot)(Fig. 2B)와 주 벡터에 의한 품종별 구분 정도를 비교해보면 비타민 A는 PC2에 의해 HBC, GCH, PKST, BST와 MM, PSUL, MCB, JSN 품종이 구분되게 하였다. 주 벡터에 의해 구분되는 주요 원인은 성

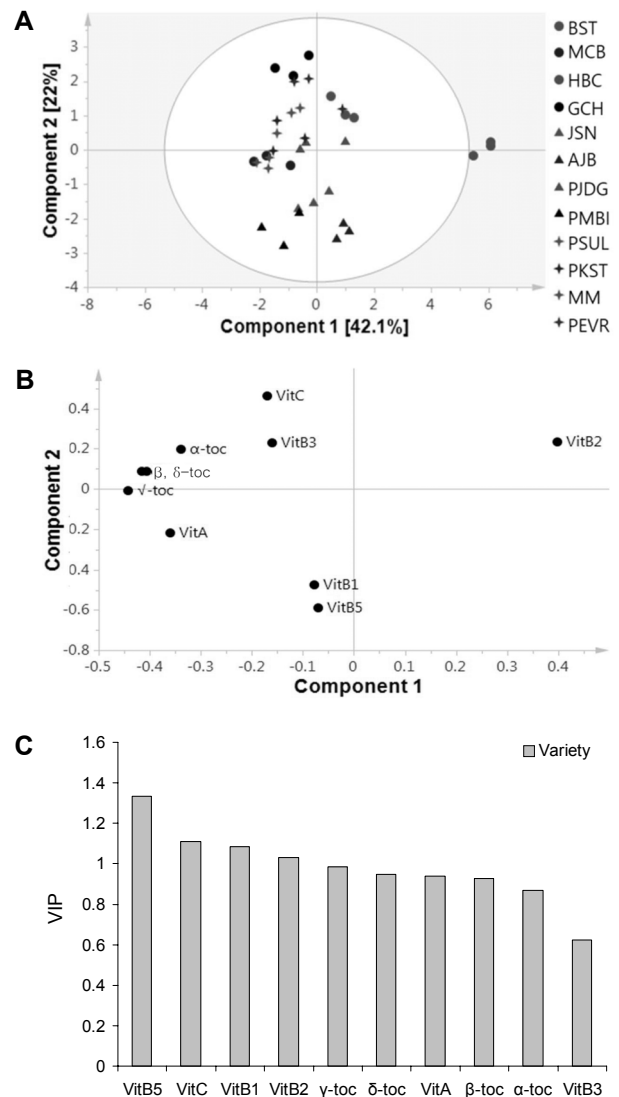


Fig. 2. Principal component 1 and 2 of the PLS-DA results obtained from the data by vitamins profiling of 12 red pepper cultivars across years and locations. (A) Scores plot, (B) loading plot, and (C) influence of 10 variables for the score plot (VIP, Variable Importance in the Prediction). For each variety, data obtained at Youngyang and Imsil over two years.

분 함량의 차이에 따라 구분되는 것으로 HBC, GCH, PKST, BST는 MM, PSUL, MCB, JSN보다 상대적으로 비타민 A의 함량이 낮은 것으로 분석되었기 때문에 Fig. 2와 같은 결과를 나타내었다. 고추의 비타민 함량 중 가장 높은 값을 보인 비타민 C의 경우 PC2 주 벡터에 의해 HBC, AJB, PMBI와 PSUL, PKST, BST 품종이 구분되었다. 이와 같이 PLS-DA 판별분석으로 주 벡터에 의해 각 성분의 함량 정도에 따라 품종이 분리되는 것으로 가시화되어서 품종에 의한 자연변이 영향 정도를 비교할 수 있었다. PLS-DA 분석을 통해 VIP(Variable Importance in the Projection) 분석을 실시하고 클러스터 형성에 기여한 정도가 큰 변수들을 확인하였다(Fig. 2C). 보통 VIP score가 1.0 이상인 항목은 클러스

터 형성에 유의미하게 기여하였다고 본다. 비타민 B₅와 비타민 C, 비타민 B₁이 VIP score 1.0 이상이였으며, 비타민 B₂, γ -tocopherol, δ -tocopherol, 비타민 A, β -tocopherol, α -tocopherol, 비타민 B₃ 순으로 기여도 크기를 나타냈다. 이의 결과는 Fig. 1의 R 통계분석으로 확인된 항목별 자연변동성(% variability)의 결과와도 일치하였다.

2년 동안 2개 지역에서 재배한 12개 고추 품종의 비타민 데이터를 재배지역별로 분류하여 PLS-DA 분석한 결과(Fig. 3), PC1과 PC2 score는 각각 24.6%와 12.1%의 설명력을 갖고 있으며(Fig. 3A), 전체 데이터 분산의 38.7%를 보존하고 있기 때문에 PC1과 PC2에 의한 2차원으로 전체 데이터의 분산을 파악하기에는 약간 부족한 것으로 분석되었다(Fig. 3A). 고추 비타민 데이터는 지역 요인으로 구분했을 때 주 벡터에 의한 구분이 뚜렷한 것으로 확인되었다(Fig. 3A). PLS-DA 클러스터 결과로부터 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 B₂, 비타민 B₅, α -tocopherol, γ -tocopherol, 비타민 C는 PC1에 의해 지역집단을 구분되게 하였으며, 비타민 B₃, β -tocopherol, δ -tocopherol은 PC2에 의해 지역집단을 구분되게 하였다(Fig. 3B). 두 지역의 구분에 영향을 미친 주요 성분을 VIP 분석으로 확인해본 결과(Fig. 3C), γ -tocopherol, β -tocopherol, 비타민 B₁이 1.0 이상의 값으로 기여도가 높았으며, 그다음으로 비타민 B₅, δ -tocopherol, 비타민 A, α -tocopherol, 비타민 C, 비타민 B₂, 비타민 B₃ 순으로 분석되었다. 이의 결과는 Fig. 1의 R 통계분석으로 확인된 항목별 자연변동성(% variability)의 결과와도 유사한 것으로 확인되었다. Fig. 1에서 γ -tocopherol의 자연변동성에 영향을 미친 주요한 항목은 재배연도(53.01%)였으나, Fig. 3의 기여도 분석 결과에서는 γ -tocopherol이 지역 요인에 의해 집단 구분을 뚜렷하게 한 주요 기여 요인으로 나타났다. 이러한 결과는 두 개의 지역 요인으로 분석된 PLS-DA 결과에서 PC1과 PC2에 의한 2차원으로 전체 데이터의 분산을 설명하기가 어렵기 때문으로 사료된다.

마지막으로 2년 동안 2개 지역에서 재배한 12개 고추 품종의 비타민 데이터를 재배연도에 따라서 PLS-DA 분석하였다(Fig. 4). PC1과 PC2 score는 각각 41.4%와 15.6%의 설명력을 갖고 있으며, 전체 데이터 분산의 57%를 보존하고 있기 때문에 재배지역의 PLS-DA 분석 결과와 마찬가지로 PC1과 PC2에 의한 2차원으로 전체 데이터의 분산을 설명하기에는 약간 부족한 것으로 분석되었다(Fig. 4A). 고추 비타민 데이터도 연도 요인으로 구분했을 때 주 벡터에 의한 구분이 뚜렷한 것으로 확인되었다(Fig. 4A). PLS-DA 클러스터 결과로부터 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 B₅, γ -tocopherol, δ -tocopherol은 PC1에 의해 지역집단을 구분되게 하였으며, 비타민 B₂, 비타민 B₃, α -tocopherol, β -tocopherol, 비타민 C 성분은 PC2에 의해 지역집단을 구분되게 한 것을 확인하였다(Fig. 4B). 두 지역의 구분에 영향을 미친 주요 성분을 기여도(VIP) 분석으로 확인해본 결과(Fig. 4C), 비타민 B₂, γ -tocopherol, 비타민 C, 비타민 A가 1.0

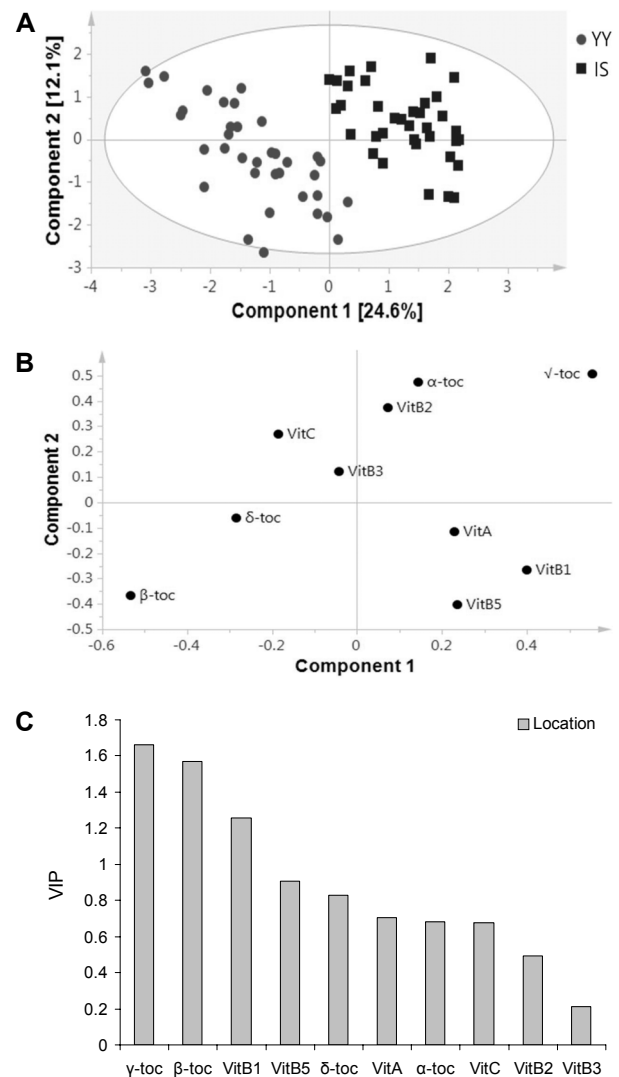


Fig. 3. Principal component 1 and 2 of the PLS-DA results obtained from vitamins profiling of 12 red pepper cultivars produced in Youngyang and Imsil across two years. (A) Scores plot, (B) loading plot, and (C) influence of 10 variables for the score plot (VIP, Variable Importance in the Prediction).

이상의 값으로 기여도가 높았으며, 그다음으로 비타민 B₃, δ -tocopherol, β -tocopherol, 비타민 B₁, 비타민 B₅, α -tocopherol 순으로 분석되었다. 이 결과는 Fig. 1의 R 통계분석으로 확인된 항목별 자연변동성(% variability)의 결과와도 일치하는 것으로 확인되었다.

결론적으로 본 연구에서 고추과육의 비타민 함량은 유전적 영향(품종)보다는 재배환경 및 이들 요소의 상호 교호작용에 의한 변이가 큰 것으로 나타났다. 유전적 영향이 낮은 이유는 12개 품종의 비슷한 유전적 배경으로부터 기인했을 가능성이 있다. 이러한 연구 결과는 홍고추의 비타민 함량뿐만 아니라 다른 영양성분의 변이성 연구에도 활용될 수 있을 것이며, 고추 이외 작물 또는 기타 생명공학 기술을 이용한 작물의 성분변이 연구에도 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한 비타민 함량은 재배환경에 따른 자연변이

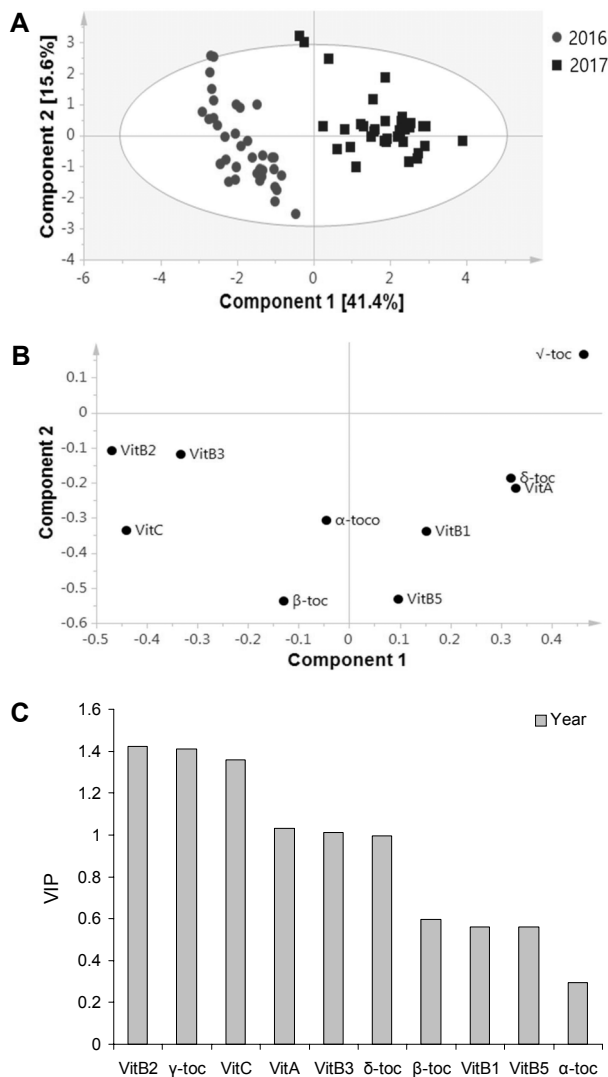


Fig. 4. Principal component 1 and 2 of the PLS-DA results obtained from vitamins profiling of 12 red pepper cultivars produced per 2016 and 2017 year across two locations. (A) Scores plot, (B) loading plot, and (C) influence of 10 variables for the score plot (VIP, Variable Importance in the Prediction).

가 크기 때문에, 고추 작물을 재배할 때 이러한 환경 요인을 고려해야 함을 제언하고자 한다.

요 약

홍고추는 사람의 식이에서 주요 비타민 공급원이며, 우리나라 사람들은 홍고추를 많이 섭취하고 있다. 그러나 홍고추의 비타민 함량에 대한 품종, 재배지역 및 재배연도에 의한 성분의 자연변이 연구는 국내에서 거의 수행되지 않았다. 이를 위하여 본 연구에서는 12개 상업품종을 대상으로 2016년도와 2017년도 2년간, 2개 지역(4개의 재배환경)에서 재배 및 수확하여 홍고추 과육에서 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 B₂, 비타민 B₃, 비타민 B₅, 비타민 E(α -, β -, δ -, γ -tocopherol) 함량을 비교 분석하였다. 고추 과육에서 분석한

비타민 함량을 통합하여 4개 재배환경에 대한 자연변이를 비교하기 위해 통계 알고리즘을 개발하고 적용한 결과, 비타민의 성분은 품종별, 지역별, 연도별로 자연변동성에 유의미한 차이를 보였다. PLS-DA를 이용한 주성분 분석과 더불어 R 통계 기법을 이용한 변동성(% variability) 분석을 실시한 결과, 비타민 성분의 자연변동성은 품종 요인보다는 재배지역이나 재배연도 또는 세 가지 통합 요인의 교호작용에 의해 더 많은 영향을 받는 것으로 확인되었다. 특히 비타민 C와 비타민 B₂, 비타민 B₃, γ -tocopherol은 주로 재배연도에 의해 성분변이가 큰 것으로 분석되었다. α -Tocopherol은 품종 요인에 의해 변이가 비교적 큰 것으로 나타났으나, 세 가지 요인의 교호작용에 의한 변이가 가장 큰 것으로 분석되었다. 비타민 B₅는 품종별 요인에 의해 성분변이가 가장 크게 나타났으며, β -tocopherol은 지역 요인에 의한 성분변이가 가장 큰 것으로 나타났다. 비타민 분석 결과에 대해 품종별, 지역별, 연도별로 다변량 통계분석(PLS-DA)을 실시한 결과, 재배지역과 재배연도 요인에 의한 데이터 클러스터가 가시적으로는 뚜렷하게 구분되었으나, PC1과 PC2의 합산 분산력이 60% 미만으로 2차원의 주성분으로 전체 데이터의 분산을 설명하기에는 약간 부족한 것으로 확인되었다. 따라서 비타민 성분의 환경 요인에 의한 변동성 또는 분산력을 설명하기 위해서는 정량적 통계분석 방법인 자연변동성(% variability) 분석이 추가로 수행되어야 하는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 LMO 위해성 평가기관 연구사업(과제번호: PJ014828052020)의 재원으로 지원받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Arella F, Lahlky S, Bourguignon JB, Hasselmann C. Liquid chromatographic determination of vitamins B₁ and B₂ in foods. A collaborative study. Food Chem. 1996. 56:81-86.
- Baenas N, Belović M, Ilic N, Moreno DA, García-Viguera C. Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. Food Chem. 2019. 274:872-885.
- Byun EB, Park WY, Ahn DH, Yoo YC, Park C, Jang BS, et al. Comparison study of three varieties of red peppers in terms of total polyphenol, total flavonoid contents, and antioxidant activities. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2016. 45:765-770.
- Cho BC, Park KW, Kang HM, Lee WM, Choe JS. Correlation-ship between climatic elements and internal characteristics of red pepper fruit in different growing periods. J Bio-Environ Control. 2004. 13:67-72.
- Choi SH. Ascorbic acid of Korean pepper by cultivating season, region and cooking method. J East Asian Soc Diet Life. 2006. 16:578-584.
- Cong B, Maxwell C, Luck S, Vespestad D, Richard K, Mickelson J, et al. Genotypic and environmental impact on natural

- variation of nutrient composition in 50 non genetically modified commercial maize hybrids in North America. *J Agric Food Chem.* 2015. 63:5321-5334.
- Frary A, Keceli MA, Okmen B, Sigva HO, Yemenicioglu A, Doganlar S. Water-soluble antioxidant potential of Turkish pepper cultivars. *HortScience.* 2008. 43:631-636.
- Fricker RA, Green EL, Jenkins SI, Griffin SM. The influence of nicotinamide on health and disease in the central nervous system. *Int J Tryptophan Res.* 2018. 11:1178646918776658. doi: 10.1177/1178646918776658.
- Gupta U, Gupta S. Role of vitamins in human health and nutrition: sources and morbidity. *Curr Nutr Food Sci.* 2015. 11: 105-115.
- Huang Y, So YJ, Hwang JR, Yoo KM, Lee KW, Lee YJ, et al. Comparative studies on phytochemicals and bioactive activities in 24 new varieties of red pepper. *Korean J Food Sci Technol.* 2014. 46:395-403.
- Hwang IG, Yoo SM, Lee J. Quality characteristics of red pepper cultivars according to cultivation years and regions. *Korean J Food Nutr.* 2014. 27:817-825.
- Jiang Q. Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant, and anti-inflammatory activities and their role in disease prevention and therapy. *Free Radic Biol Med.* 2014. 72:76-90.
- Jung M, Hwang Y, Kim HY, Jeong HS, Park J, Park D, et al. Analyses of capsaicinoids and ascorbic acid in pepper (*Capsicum annuum* L.) breeding lines. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2010. 11:1705-1709.
- Kang KM, Kang YH. Antioxidant and quinone reductase inductive activities of various organs of pepper. *J Appl Biol Chem.* 2010. 53:31-36.
- Kantar MB, Anderson JE, Lucht SA, Mercer K, Bernau V, Case KA, et al. Vitamin variation in *Capsicum* spp. provides opportunities to improve nutritional value of human diets. *PLoS One.* 2016. 11:e0161464. doi: 10.1371/journal.pone.0161464.
- Kim EH, Lee SY, Baek DY, Park SY, Lee SG, Ryu TH, et al. A comparison of the nutrient composition and statistical profile in red pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) based on genetic and environmental factors. *Appl Biol Chem.* 2019. 62:48.
- Kim HJ, Hong CO, Nam MH, Ha YM, Lee KW. Antioxidant and physiological activities of *Capsicum annuum* ethanol extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2012. 41:727-732.
- Kim S, Park M, Yeom SI, Kim YM, Lee JM, Lee HA, et al. Genome sequence of the hot pepper provides insights into the evolution of pungency in *Capsicum* species. *Nat Genet.* 2014. 46:270-278.
- Kim TJ, Choi J, Kim KW, Ahn SK, Ha SH, Choi Y, et al. Metabolite profiling of peppers of various colors reveals relationships between tocopherol, carotenoid, and phytosterol content. *J Food Sci.* 2017. 82:2885-2893.
- Kim Y, Kim NK. Use of HPLC for the determination of provitamin A carotenoids in red peppers. *Korean J Nutr.* 1992. 25: 389-396.
- Kurilich AC, Juvik JA. Simultaneous quantification of carotenoids and tocopherols in corn kernel extracts by HPLC. *J Liq Chromatogr Rel Technol.* 1999. 22:2925-2934.
- Lonsdale D. A review of the biochemistry, metabolism and clinical benefits of thiamin(e) and its derivatives. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2006. 3:49-59.
- Maqbool MA, Aslam M, Akbar W, Iqbal Z. Biological importance of vitamins for human health: a review. *J Agric Basic Sci.* 2017. 2:50-58.
- MFDS. Ascorbic acid. 2,4-Dinitrophenyl hydrazine (2.2.2.4). 2019a [cited 2019 Jun 21]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_211/view.do?seq=14372&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1
- MFDS. Pantothenic acid (2.2.2.10.). 2019b [cited 2019 Jun 2]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_211/view.do?seq=14372&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1
- Nadeem M, Anjum FM, Khan MR, Saeed M, Riaz A. Antioxidant potential of bell pepper (*Capsicum annuum* L.)—a review. *PAK J Food Sci.* 2011. 21:45-51.
- Padayatty SJ, Katz A, Wang Y, Eck P, Kwon O, Lee JH, et al. Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *J Am Coll Nutr.* 2003. 22:18-35.
- Pérez-Enciso M, Tenenhaus M. Prediction of clinical outcome with microarray data: a partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) approach. *Human Genetics.* 2003. 112:581-592.
- Powers HJ. Riboflavin (vitamin B-2) and health. *Am J Clin Nutr.* 2003. 77:1352-1360.
- Sadilova E, Stintzing FC, Carle R. Anthocyanins, colour and antioxidant properties of eggplant (*Solanum melongena* L.) and violet pepper (*Capsicum annuum* L.) peel extracts. *Z Naturforsch C J Biosci.* 2006. 61:527-535.
- Seo YC, Choi WY, Lee CG, Cho JS, Yim TB, Jeong MH, et al. Effect of solubility of thiamine dilauryl sulfate solution through the manufacture of the nano particles on antifungal activity. *Korean J Med Crop Sci.* 2011. 19:464-471.
- Sims A, Shoemaker D. Simultaneous liquid chromatographic determination of thiamine and riboflavin in selected foods. *J AOAC Int.* 1993. 76:1156-1160.
- Sklan D. Vitamin A in human nutrition. *Prog Food Nutr Sci.* 1987. 11:39-55.
- Tripodi P, Ficcidenti N, Rotino GL, Festa G, Bertone A, Pepe A, et al. Genotypic and environmental effects on the agronomic, health-related compounds and antioxidant properties of chilli peppers for diverse market destinations. *J Sci Food Agric.* 2019. 99:4550-4560.
- Tundis R, Menichini F, Bonesi M, Conforti F, Statti G, Menichini F, et al. Antioxidant and hypoglycaemic activities and their relationship to phytochemicals in *Capsicum annuum* cultivars during fruit development. *LWT—Food Sci Technol.* 2013. 53:370-377.
- Wahyuni Y, Ballester AR, Sudarmonowati E, Bino RJ, Bovy AG. Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: Variation in health-related compounds and implications for breeding. *Phytochem.* 2011. 72: 1358-1370.
- Williams A, Ramsden D. Nicotinamide: a double edged sword. *Parkinsonism Relat Disord.* 2005. 11:413-420.
- Yoon AJ, Lee S, Hwang IK. Effects of green pepper (*Capsicum annuum* var.) on antioxidant activity and induction of apoptosis in human breast cancer cell lines. *Korean J Food Sci Technol.* 2012. 44:750-758.