

Trimethylsilyl 유도체화 방법을 적용한 함초 추출물의 GC-MS 분석

GC-MS analysis of *Salicornia herbacea* L. extracts with trimethylsilyl derivatization이경인^{1,*}, 이근직², 윤영승³Kyoung-In Lee^{1,*}, Geun-Jik Lee², Young-Seung Yoon³¹책임연구원, 목포수산식품수출센터 품질관리인증팀, 목포, 58621, 대한민국²센터장, 목포수산식품수출센터, 목포, 58621, 대한민국³교수, 목포과학대학교 해양수산식품융합과, 목포, 58644, 대한민국^{1,2}Mokpo Seafood Export Center, Mokpo 58621, Korea³Department of Marine and Seafood Convergence, Mokpo Science University, Mokpo 58644, Korea

(Received 6 Nov 2023, Revised 4 Dec 2023, Accepted 19 Dec 2023)

Abstract *Salicornia herbacea*, a noted halophyte, has been widely researched for its diverse physiological activities. The continuous exploration of its compounds is essential. This study employed gas chromatography (GC) coupled with mass spectrometry (MS) for qualitative analysis. This involved pretreatment including trimethylsilyl (TMS) derivatization of the *S. herbacea* extract, facilitating its GC analysis. Five compounds, including various fatty acids and β -sitosterol, were identified by direct analysis of the methanol extract of *S. herbacea* without pretreatment by GC-MS. Conversely, the analysis of the TMS-derivatized extract revealed 28 distinct peaks. Quantitative analysis further indicated that the predominant compounds in the *S. herbacea* extract were sugars and sugar derivatives, notably glucose, fructose, and glucitol. The collective concentration of these sugars and its derivatives amounted to 116.45 mg/g, representing 11.6% of the dry weight of the raw *S. herbacea*. Following sugars and their derivatives, fatty acids constituted the next most abundant group of compounds. However, the presence of amino acids and organic acids was relatively low.

Keywords : GC-MS, Non-targeted analysis, *Salicornia herbacea*, Trimethylsilyl derivatization

서 론

국내의 서해안과 남해안 및 제주도의 갯벌이나 염전 주변에서 자생하는 대표적인 염생식물인 함초 (*Salicornia herbacea* L.)는 갯벌이나 바닷가에 서식하는 일년생 초본이다. 독특한 외형으로 인해 통통마디라는 명칭으로도 불리며, 요오드, 칼슘, 마그네슘, 철 등 다양한 무기질을 함유하고 있는 것으로

알려져 있다[1].

함초는 여러 연구를 통해 항비만 효과와 함께 항당뇨나 지질 개선 효과 등이 있는 것으로 보고되고 있다[2-8]. 암세포 증식 억제나 특정 암에 대한 항암 활성에 대한 연구가 수행되었으며, 항산화 및 항혈전 효과도 보고되었다[9-11]. 또한 멜라닌 생성 억제를 통한 피부 미백 활성이나 항염증 효과와 관련된 연구도 수행되었다[12,13].

* Corresponding author

Phone: 061-277-7320 Fax: 061-277-7319

E-mail: python@hanmail.net

This is an open-access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License

[\(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/\)](http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

함초와 같은 식물의 추출물은 추출 용매의 특성에 따라 추출물의 성분 구성이 달라지게 되며, 일반적인 연구에서 사용되는 물이나 알콜류의 추출 용매의 경우 지용성 성분보다는 극성이 높은 수용성의 성분들의 비중이 상대적으로 높게 된다. 따라서 성분 분석에 활용되는 장비 역시 액체크로마토그래프(liquid chromatograph; LC)의 활용도가 더 높으며, 휘발성 향기 성분이나 일부 지용성 성분들 정도만 선택적으로 기체크로마토그래프(gas chromatograph; GC) 장비가 활용된다. 또한 GC의 분석 대상 성분은 LC 분석 대상 성분에 비해 분자량(molecular weight)이 600 이하로 상대적으로 작으며, 휘발성(volatile)과 함께 고온에서 열적 안정성을 가지는 성분이어야 한다[14,15]. 이와 같은 GC 분석 대상 성분의 제약에도 불구하고 GC에 질량분석기(mass spectrometer; MS)를 검출기로 적용한 GC-MS 분석은 표준품의 대조 분석이 없는 조건에서도 전 세계적으로 통용되는 성분별 라이브러리를 활용할 수 있기 때문에 미지의 성분에 대한 정성 분석에 있어서 큰 이점을 제공하게 된다[15].

이러한 특징을 가진 GC-MS 분석을 위해 휘발성이 약하거나 높은 끓는점 등의 특성을 나타내는 당이나 아미노산, 유기산 등 수용성 또는 극성의 성분은 여러 가지 유도체화 전처리가 필요하게 되며, methoximation 후 trimethylsilylation 과정을 통해 분자 구조 내에 존재하는 카보닐그룹(-C=O)과 하이드록시 그룹(-OH)을 동시에 유도체화하는 방법이 유용하게 사용되고 있다[16,17].

유도체화 과정에서 나타나는 대표적인 화학 반응인 methoximation과 trimethylsilylation 과정의 예시를 Figure 1에 나타내었다. Figure 1(A)의 반응과 같이 일반적으로 LC 기반의 분석만 가능한 glucose와 같은 당이 methoxyamine과 결합하면서 환상형의 구조가 직선형의 구조로 바뀌게 되며, 이후 trimethylsilyl(TMS) 그룹이 -OH 구조와 치환되는 과정을 거치게 되면 GC 기반의 분석이 가능한 유도체화 과정이 완료된다[17]. 반면 Figure 1(B)와 (C)의 반응과 같이 환상형의 구조가 아닌 아미노산이나 유기산과 같은 성분은 분자 내 -OH 구조나 -NH 구조의 TMS 그룹 치환 과정만으로 유도체화 반응이 마무리되는 것이 일반적이다.

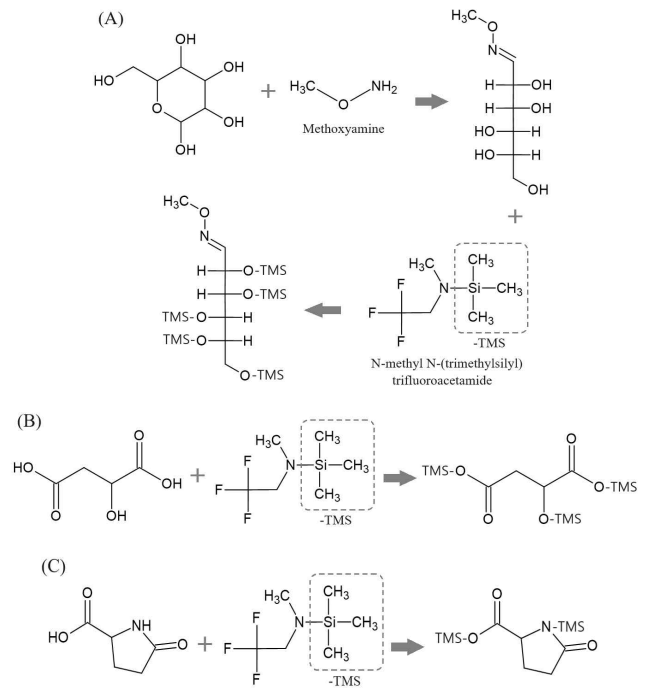


Figure 1. Example of methoximation and trimethylsilylation. (A) derivatization reaction of sugars (glucose), (B) derivatization reaction of organic acids (malic acid), (C) derivatization reaction of amino acids (pyroglutamic acid).

한편, 함초의 성분 분석에 관한 기존 연구들에서는 대부분 LC 기반의 분석이나 분리 기법을 활용하여 β -sitosterol, stigmasterol과 같은 식물성 스테롤 성분이나 quercetin-3-glucoside, isorhamnetin-3-glucoside 등과 같은 flavonoid 성분, 그리고 dicaffeoylquinic acid 유도체와 같은 phenolic acid 계열의 성분들이 보고되었다[18-20]. 일부 국외 연구에서 GC-MS를 활용하여 함초 추출물의 비극성 분획물에서 확인된 terpenoid 계열의 성분이나 함초 오일의 분석에서 지방산 계열의 성분을 확인한 것이 있었으나 유도체화를 통한 극성 성분의 GC-MS 분석에 관한 내용은 보고된 바가 없었다[21,22].

본 연구에서는 GC-MS의 라이브러리 검색 기능을 이용한 함초 추출물에 존재하는 성분의 스크리닝 분석을 위해 실시하였다. 이를 위해 추출물 중에 다량 존재할 것으로 판단되는 극성 성분의 GC-MS 분석이 가능하도록 trimethylsilyl 유도체화를 적용한 전처리를 활용하였다.

재료 및 방법

1. 함초 추출물 제조

함초(*Salicornia herbacea* L.) 시료는 전남 신안 지역에서 채집한 것을 사용하였으며, 60°C의 열풍건조기(HB-502M, Hanbaek, Buchun, Korea)에서 24 시간 건조시킨 것을 추출 과정 전에 분쇄기(7011S, Waring, Torrington, CT, USA)를 사용하여 분말화시킨 후 5 g의 시료에 메탄올 95 mL를 혼합하여 상온에서 5일간 추출을 실시하였다. 원심분리기(M13, Hanil, Gimpo, Korea)를 사용하여 추출액의 일부를 10,000 rpm에서 5분간 원심분리한 후 상층액을 분석 및 전처리에 사용하였다.

2. 함초 추출물의 trimethylsilyl 유도체화

Figure 2에 제시한 과정과 같이 유도체화 과정에 불필요한 수분과 용매를 제거하기 위해 함초 메탄올 추출물 0.5 mL에 내부표준물질로서 octyl salicylate 2 mg을 첨가한 후 질소농축기(Hurricane-Lite, Chongmin, Seoul, Korea)를 사용하여 35°C에서 농축을 실시하였다. 농축이 완료되면 pyridine에 녹인 methoxyamine hydrochloride(MeOX) 80 µL와 1% trimethylchlorosilane을 함유하는 N-methyl N-(trimethylsilyl) trifluoroacetamide(MSTFA) 80 µL를 순차적으로 혼합한 후 50°C의 건조기(HB-502M, Hanbaek, Buchun, Korea)에서 3시간 동안 반응시켰다. 반응이 완료되면 *n*-hexane 800 µL를 혼합한 후 상등액 600 µL를 분리하여 GC-MS 분석용으로 사용하였다[12]. 유도체화 전처리를 실시하지 않은 함초 메탄올 추출물 600 µL를 0.2 µm syringe filter(Whatman, Maidstone, England)로 여과하여 비교 분석용으로 사용하였다.

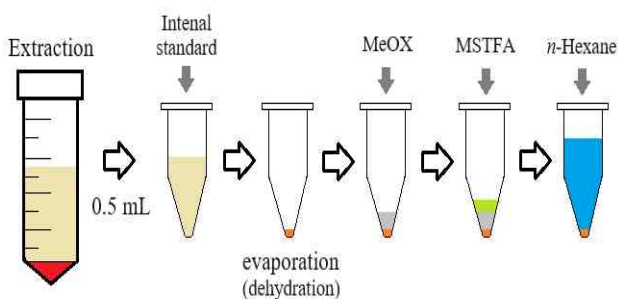


Figure 2. Derivatization process for GC-MS analysis.

3. GC-MS 분석

유도체화가 완료된 함초 추출물과 일반 함초 추출물의 GC-MS 분석은 TQ8040(Shimadzu, Kyoto, Japan)을 이용하였으며, 분석용 컬럼으로서 DB-5MS(30 m×0.25 mm i.d., 0.25 µm film thickness)를 사용하였다. 컬럼 오븐은 160°C에서 5분간 유지한 후 분당 3°C씩 310°C까지 순차적으로 승온한 후 5분간 유지하여 총 60분간의 분석 시간을 적용하였다. 이동상 기체로는 고순도 헬륨을 1.0 mL/min으로 유속으로 설정하였다. 주입구 온도는 250°C로 설정하였으며, split mode(30:1)로 1 µL의 시료를 주입하여 분석하였다. 질량분석기 조건으로서 이온 소스와 인터페이스 온도는 각각 230°C와 250°C로 설정하였으며, 70 eV의 electron impact(EI) 이온화 조건에서 40-600 *m/z* 범위의 scan 모드로 분석을 실시하였다. NIST 라이브러리(version 11)를 적용하여 정성 분석을 수행하였으며, 각 성분의 동정은 라이브러리와 비교에서 85% 이상의 유사도를 가진 것을 기본으로 retention index(RI)를 추가로 검토하였다. 정량분석을 위해서 내부표준물질로 사용된 octyl salicylate의 피크 면적을 기준으로 상대적인 함량을 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 추출물의 유도체화 전처리 효과

함초 메탄올 추출물을 전처리 없이 직접 분석한 GC-MS 결과와 유도체화 전처리 과정을 거친 추출물을 분석한 GC-MS 결과에서 확보한 total ion chromatogram(TIC)을 Figure 3에 제시하였다. 검출된 피크들의 감도를 비교하기 위해 y축의 감도를 유사한 scale로 설정하여 비교한 결과에서 현저한 차이를 나타냄을 확인할 수 있었으며, 특히 유도체화 전처리 과정이 다양한 성분의 검출에 유리함을 알 수 있었다.

2. 함초 추출물의 GC-MS 분석 결과

Figure 3의 TIC data를 기준으로 검출된 피크들의 라이브러리 검색을 실시하였으며, 추출물별로 각각 Table 1과 Table 2에 그 결과를 제시하였다. Table 1에 나타낸 바와 같이 전처리 없이 함초 메탄올 추출물을 그대로 분석한 결과에서는 총 9개의 피크가 확인되었으며, 이 중 3개의 피크를 제외한 6개의 피크에

대한 정성이 가능하였다. 확인된 성분은 *n*-hexadecanoic acid, 9-octadecenoic acid 등 지방산 계열의 5성분과 β -sitosterol로 나타났다. 결과적으로 지방산과 지용성의 sterol 성분만이 검출되었음을 알 수 있었는데, 검출된 성분의 피크 면적도 유도체화 전처리 과정을 거친 추출물에 비해 현저히 적은 수준으로 나타났다.

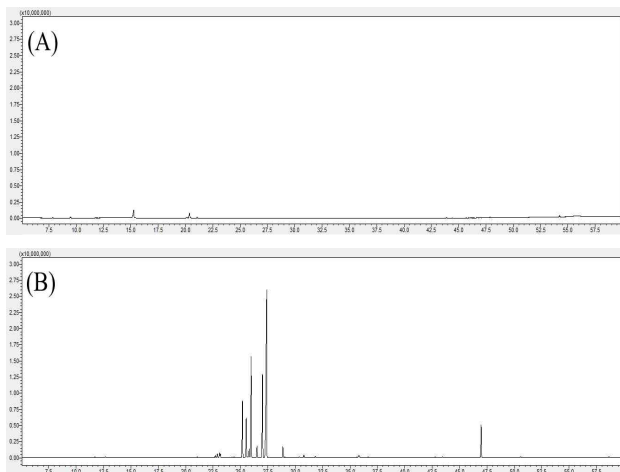


Figure 3. GC-MS total ion chromatograms of *Salicornia herbacea* extracts. (A) chromatogram of non-derivatized methanol extracts, (B) chromatogram of derivatized methanol extracts.

Table 2에 제시한 유도체화 전처리를 실시한 함초 추출물의 분석 결과에서는 internal standard(IS)로 추가된 octyl salicylate 피크를 제외하고 총 56개의 피크가 확인되었다. 이 중 감도가 상대적으로 낮아서 라이브러리 검색 결과를 확인할 수 없었던 26개의 피크를 제외한 28개의 피크들의 정성 결과를 확인할 수 있었다.

정성 결과를 확인할 수 있는 28개의 피크들 중 D-glucose와 같은 당이나 D-glucitol과 같은 당유도체 성분이 가장 많은 빈도로 검출되었다. Pyroglutamic acid와 같은 아미노산류와 malic acid와 같은 유기산류의 검출도 확인되었으며, 전처리를 실시하지 않은 추출물의 직접 분석에서 주요 성분으로 확인되었던 9-octadecenoic acid와 같은 지방산 계열의 성분들도 검출되었다. 이와 같이 유도체화 전처리 이후 추가적으로 검출되는 성분이 급격히 증가됨으로 인해 검출된 피크 전체적인 면적의 비교에서도 전처리를 거치지 않은 직접 GC-MS 분석 결과의 합계보다 10배

이상 크게 나타남을 알 수 있었다.

Table 1. GC-MS analysis data of non-derivatized *S. herbacea* extracts

RT* (min)	Compounds	Peak area	Area %
7.86	(Unidentified)	221,132	1.44
9.49	<i>n</i> -Tetradecanoic acid	764,483	4.96
15.27	<i>n</i> -Hexadecanoic acid	6,953,832	45.13
20.12	Linoleic acid	696,722	4.52
20.38	9-Octadecenoic acid	4,162,760	27.02
21.06	<i>n</i> -Octadecanoic acid	589,537	3.83
43.89	(Unidentified)	379,722	2.46
47.90	β -Sitosterol	708,786	4.60
54.23	(Unidentified)	932,006	6.05
Total		15,408,980	100

*RT; retention time.

한편, 유도체화 전처리 과정에서 glucose나 fructose같은 당류가 구조적으로 5개의 -OH 그룹을 가지는 특성으로 인해 TMS 그룹으로의 치환 과정이 다양하게 나타날 수 있음이 확인되었는데, 일괄적인 형태로 유도체화를 실시할 수 있는 조건에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

3. 유도체화 전처리 함초 추출물의 주요 성분

유도체화 전처리 과정을 거친 함초 추출물에서 확인된 성분의 정량 분석은 전처리 과정에서 첨가한 octyl salicylate의 피크 면적을 기준으로 각 성분의 피크 면적을 비교하는 internal standard calibration 방법을 적용하여 실시하였으며, Table 2에 제시한 성분들 중 유도체화 과정에서 나타날 수 있는 동일한 성분을 정리하여 Table 3과 같이 정량 분석 결과를 도출하였다.

본 연구에서 적용한 분석 방법을 기준으로 함초 추출물에 가장 많이 존재하는 성분은 당류 및 당유도체로 나타났다(Table 3). 특히 glucose, fructose, 그리고 glucitol의 함량이 높은 것으로 나타났으며, 원료 함초 기준으로 각각 41.42 mg/g, 32.21 mg/g, 26.25 mg/g 수준의 함량으로 확인되었다. 이와 같은 결과는 이들 3 가지 당류 및 당유도체의 함량이 원료 함초 기준으로 10%에 육박하는 수준임을 알 수 있었

다. 이 밖에도 sucrose나 galactose가 각각 9.99 mg/g, 3.96 mg/g으로 다른 성분들에 비해 상대적으로 높은 함량을 갖는 것으로 나타났으며, 당류 및 당유도체 전체 함량은 116.45 mg/g으로 원료 함초 중에 11.6%에 해당하는 함량임을 확인되었다.

Table 2. GC-MS analysis data of derivatized *S. herbacea* extracts

RT* (min)	Compounds	Peak area	Area %
5.05	Glycerol, 3TMS**	939,924	0.43
5.73	L-Proline, 2TMS	116,145	0.05
6.15	Succinic acid, 2TMS	156,419	0.07
11.70	Malic acid, 3TMS	428,147	0.19
12.38	meso-Erythritol, 4TMS	176,379	0.08
12.68	Pyroglutamic acid, 2TMS	484,820	0.22
13.03	γ -Aminobutyric acid, 3TMS	199,969	0.09
19.97	Arabitol, 5TMS	220,021	0.10
21.06	2-Desoxy-pentos-3-ulose, 2TMS, bis(methyloxime)	250,963	0.11
22.88	D-Psicofuranose, 5TMS	2,208,732	1.00
23.09	D-Fructose, 5TMS(isomer 1)	2,680,019	1.21
23.17	D-Tagatose, 5TMS	1,985,229	0.90
24.24	D-Fructose, 5TMS(isomer 2)	351,629	0.16
24.42	<i>n</i> -Tetradecanoic acid, TMS	429,625	0.19
25.18	D-Fructose, 5TMS, methyloxime(anti)	30,791,723	13.95
25.52	D-Fructose, 5TMS, methyloxime(syn)	22,649,334	10.26
25.80	D-Galactose, 5TMS	6,938,406	3.14
25.97	D-Glucose, 3TMS, methyloxime, (1Z)-	59,511,421	26.96
26.51	D-Glucose, 3TMS, methyloxime, (1E)-	7,188,134	3.26
27.01	D-Glucitol, 6TMS	46,018,676	20.85
28.87	D-Glucose, 5TMS	5,914,252	2.68
30.80	<i>n</i> -Hexadecanoic acid, TMS	2,054,012	0.93
31.83	Myo-Inositol, 6TMS	660,648	0.30
35.82	9-Octadecenoic acid, TMS	2,239,831	1.01
36.66	<i>n</i> -Octadecanoic acid, TMS	738,317	0.33
45.90	Hexadecanoic acid, propyl ester, 2TMS	278,503	0.13
46.97	Sucrose, 8TMS	17,509,274	7.93
50.57	Octadecanoic acid, propyl ester, 2TMS	639,702	0.29
-	(Unidentified)***	6,941,890	3.14
27.40	Octyl salicylate, TMS(IS)****	(140,247,916)	
Total		220,702,144	100

*RT; retention time, **TMS; trimethylsilyl derivatization, ***26 peaks, ****IS; internal standard.

이와 같은 결과는 15.2% 수준의 함초의 총당 함량을 보고한 기존 연구보고 결과에 비해서 다소 낮은 수준이지만 채취 시기나 산지, 추출 방법, 그리고 분석에 적용된 방법 등에 따라 성분의 함량의 차이가 발생할 수 있음을 고려할 필요가 있다[23].

Table 3. Quantitative analysis results of derivatized *S. herbacea* extract

	Compounds	Contents (mg/g)*
Sugars and derivatives	D-Glucose	41.420 ± 1.141**
	D-Fructose	32.214 ± 0.447
	D-Glucitol	26.250 ± 0.926
	Sucrose	9.988 ± 0.194
	D-Galactose	3.958 ± 0.024
	D-Psicofuranose	1.260 ± 0.031
	D-Tagatose	1.132 ± 0.007
	Arabitol	0.126 ± 0.009
	meso-Erythritol	0.101 ± 0.001
	Fatty acids	9-Octadecenoic acid
<i>n</i> -Hexadecanoic acid		1.172 ± 0.011
<i>n</i> -Octadecanoic acid		0.421 ± 0.009
Octadecanoic acid, propyl ester		0.365 ± 0.005
<i>n</i> -Tetradecanoic acid		0.245 ± 0.005
Hexadecanoic acid, propyl ester		0.159 ± 0.004
Amino acids	Pyroglutamic acid	0.277 ± 0.017
	γ -Aminobutyric acid	0.114 ± 0.003
	L-Proline	0.066 ± 0.002
Organic acids	Malic acid	0.244 ± 0.001
	Succinic acid	0.089 ± 0.003
Others	Glycerol	0.536 ± 0.013
	Myo-Inositol	0.377 ± 0.015
	2-Desoxy-pentos-3-ulose	0.143 ± 0.006
	(Unidentified)***	3.959 ± 0.122
Total		125.893 ± 2.332

*Contents in raw dried *S. herbacea*, **values are means ± SD (n=3), ***26 peaks.

식물 추출물에 존재하는 당류의 분석은 carbohydrate 컬럼이나 NH₂ 컬럼과 함께 굴절률(refractive index) 검출기가 적용된 액체크로마토그래프(liquid chromatograph; LC) 시스템을 사용한 분석이 일반적으로 활용되고 있다. 그러나 당 성분들의 분리도와

감도가 낮아 과실 등과 같이 당 함량이 높은 시료 이외의 식물 추출물의 분석에 적용하는 것에는 한계가 있다[24,25]. 반면, 본 연구에서 적용한 유도체화 전처리 후 GC-MS 분석을 이용한 방법은 Table 3에서 확인된 가장 낮은 함량인 0.1 mg/g 수준 이하에서도 검출이 가능하며, LC 분석에 비해 상대적으로 성분 간의 분리도가 높고 특히 정성의 용이성과 함께 정량성 역시 높은 것으로 보고되는 방법이다[25].

당류 및 당유도체 다음으로 높은 함량과 성분 수를 나타낸 것은 지방산 계열의 성분이었으며, 9-octadecenoic acid, *n*-hexadecanoic acid, *n*-octadecanoic acid가 각각 1.28 mg/g, 1.17 mg/g, 0.42 mg/g 수준으로 나타났다. 아미노산이나 유기산의 함량은 상대적으로 낮은 수준임을 알 수 있었다. 한편, 함초의 아미노산 함량에 관한 기존 연구에서 채취 시기별로 함량이 차이가 많이 발생하는 것으로 보고하고 있으므로 채취 시기별로 비교 분석이 추가로 필요할 것이며[26], 정확한 정량분석을 위하여 검출된 성분들의 특성에 적합한 내부 표준물질의 적용 검토도 필요할 것으로 판단되었다.

결 론

GC-MS는 표준품 분석이 없는 조건에서도 전 세계적으로 통용되는 성분별 라이브러리를 활용한 정성 분석이 가능하지만 GC 기반의 분석을 위해서는 일정 수준의 끓는점을 가지는 휘발성과 함께 고온에서의 열적 안정성 등을 가지는 성분이어야 한다. 그러나 함초와 같은 식물의 추출물에는 이러한 조건을 만족하는 성분보다는 당류나 아미노산 등 극성이 높아서 GC 기반의 분석이 어려운 성분의 함량이 상대적으로 더 높은 것이 일반적이다. 본 연구에서는 GC-MS의 특징을 활용한 함초 추출물의 분석을 위해서 GC 기반의 분석이 가능하도록 methoximation 후 trimethylsilylation 과정을 통한 유도체화를 실시하였다.

유도체화 전처리를 실시한 함초 추출물의 분석 결과에서 총 56개의 피크가 확인되었으며, 이 중 감도가 상대적으로 낮아서 라이브러리 검색 결과를 확인할 수 없었던 26개의 피크를 제외한 28개의 피크들의 정성 결과를 확인할 수 있었다. 확인된 피크들의 정량 분석 결과에서 함초 추출물에 가장 많이 존재

하는 성분은 당류 및 당유도체로 나타났다. 특히 glucose, fructose, glucitol, sucrose, galactose의 함량이 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 원료 함초 기준으로 각각 41.42 mg/g, 32.21 mg/g, 26.25 mg/g, 9.99 mg/g, 3.96 mg/g 수준의 함량으로 확인되었다. 당류 및 당유도체 전체 함량은 116.45 mg/g으로 원료 함초 중에 11.6%에 해당하는 수준으로 나타났다. 당류 및 당유도체 다음으로 높은 함량과 성분 수를 나타낸 것은 지방산 계열의 성분이었으며, 9-octadecenoic acid, *n*-hexadecanoic acid, *n*-octadecanoic acid가 각각 1.28 mg/g, 1.17 mg/g, 0.42 mg/g 수준으로 나타났다.

한편, 유도체화 전처리 없이 함초 추출물을 그대로 분석한 결과에서는 총 9개의 피크가 확인되어 유도체화를 실시한 함초 추출물보다 현저히 적은 수준이었으며, 확인된 성분들 역시 *n*-hexadecanoic acid, 9-octadecenoic acid 등 지방산 계열의 성분들과 β -sitosterol 정도였다.

본 연구에서 이용한 유도체화 전처리와 GC-MS 분석 방법은 일반적인 LC 분석이나 전처리 미적용 GC-MS 분석에 비해 검출 감도나 성분의 다양성 등에서 우수한 방법임을 확인할 수 있었으며, 다른 식물 추출물의 연구나 다양한 함초 시료의 비교 분석 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. Shin, K. S., Boo, H. O., Jeon, M. W., Ko, J. Y. 2002. Chemical components of native plant, *Salicornia herbacea* L. Korean J. Plant Res. 15(3), 216 - 220.
2. Lee, H. S., Choi, J. H., Kim, Y. G., Lee, C. H. 2012. Effect of dietary intake of *Salicornia herbacea* L. hot water extract on anti-obesity in diet-induced obese rats. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41, 950-956.
3. Kim, M. J., Jun, H. Y., Kim, J. H. 2014. Antiadipogenic effect of Korean glasswort(*Salicornia herbacea* L.) water extract on 3T3-L1 adipocytes. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 43, 814-821.
4. Kim, M. J., Jun, H. Y., Kim, J. H. 2015. Anti-obesity effect of Korean Hamcho(*Salicornia herbacea* L.) powder on high-fat diet-induced obese rats. J. Nutr. Health. 48, 123-132.
5. Kim, K. R., Choi, J. H., Woo, M. H., Kim, Y. H., Choi, S. W. 2008. Effects of enzymatic hydrolysates from Hamcho(*Salicornia herbacea* L.) on blood glucose and

- serum lipid composition in streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37, 170-176.
6. Lee, H. S. 2023. Meta-analysis on the effect of obesity and blood lipid levels in *Salicornia herbacea*. *J. Korean Appl. Sci. Technol.* 40, 123-134.
 7. Lee, J. H., Lee, S., Park, J. Y., Park, I. H., Kang, K. S., Shin, M. S. 2023. The beneficial effect of *Salicornia herbacea* extract and isorhamnetin-3-O-glucoside on obesity. *Processes.* 11, 977.
 8. On, J. Y., Kim, S. H., Kim, J. M., Park, S., Kim, K. H., Lee, C. H., Kim, S. K. 2023. Effects of fermented *Artemisia annua* L. and *Salicornia herbacea* L. on inhibition of obesity in vitro and in mice. *Nutrients.* 15, 2022.
 9. Jung, B. M., Park, J. A., Bae, S. J. 2008. Growth inhibitory and quinone reductase induction activities of *Salicornia herbacea* L. fractions on human cancer cell lines in vitro. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37, 148-152.
 10. La, Y. R., Lee, Y. R., Lee, D. S., Kim, S. H., Lee, H. S. 2021. Anti-cancer effects of *Salicornia herbacea* extract in OVCAR-3 cells by induction of apoptosis pathway. *Korean J. Food Sci. Technol.* 53, 34-39.
 11. Sung, H. J., Kim, D. H., Sohn, H. Y. 2017. Effect of different drying methods on anti-oxidation and anti-thrombosis activities of *Salicornia europaea*. *Korean J. Food Preserv.* 24, 658-665.
 12. Ko, E. S., Kang, J. R., Choi, M. R., Hwang, S. M., Choi, K. M., Cha, J. D. 2015. Whitening effect of *Salicornia herbacea* ethanol extract by inhibition of melanin synthesis. *Kor. J. Pharmacogn.* 46, 315-320.
 13. Noh, E. J., Lee, J. Y., Park, S. Y., Park, J. H., Cho, J. Y., Kim, Y. M., Kim, J. S., Lee, K. M., Choi, S., Lee, S. K. 2022. *Salicornia herbacea* aqueous extracts regulate NLRP3 inflammasome activation in macrophages and trophoblasts. *J. Med. Food.* 25, 503-512.
 14. Park, S. E., Yoo, S. A., Seo, S. H., Lee, K. I., Na, C. S., Son, H. S. 2016. GC-MS based metabolomics approach of Kimchi for the understanding of *Lactobacillus plantarum* fermentation characteristics. *LWT-Food Sci. Technol.* 68, 313-321.
 15. Im, D. Y., Lee, K. I. 2017. Antioxidative activity and tyrosinase inhibition effect of fractions from the extract of *Inonotus obliquus*. *Kor. J. Pharmacogn.* 48, 46-50.
 16. Yoon, H. R. 2016. Determination of plasma ketone body following oximation-trimethylsilyl derivatization using gas chromatography-mass spectrometry selected ion monitoring. *Anal. Sci. Technol.* 29, 49-55.
 17. Yi, L., Shi, S., Yi, Z., He, R., Lu, H., Liang, Y. 2014. MeOx-TMS derivatization for GC-MS metabolic profiling of urine and application in the discrimination between normal C57BL/6J and type 2 diabetic KK-Ay mice. *Anal. Methods.* 6, 4380-4387.
 18. Lee, Y. S., Lee, H. S., Shin, K. H., Kim, B. K., Lee, S. H. 2004. Constituents of the halophyte *Salicornia herbacea*. *Arch. Pharm. Res.* 27, 1034-1036.
 19. Ahn, H. J., You, H. J., Park, M. S., Li, Z., Choe, D. Y., Johnston, T. V., Ku, S. M., Ji, G. E. 2020. Microbial biocatalysis of quercetin-3-glucoside and isorhamnetin-3-glucoside in *Salicornia herbacea* and their contribution to improved anti-inflammatory activity. *RSC advances.* 10, 5339-5350.
 20. Cho, J. Y., Kim, J. Y., Lee, Y. G., Lee, H. J., Shim, H. J., Lee, J. H., Kim, S. J., Ham, K. S., Moon, J. H. 2016. Four new dicaffeoylquinic acid derivatives from glasswort(*Salicornia herbacea* L.) and their anti-oxidative activity. *Molecules.* 21, 1097.
 21. Gu, D., Fang, C., Liy, J., Jiang, Z., Li, G., Li, M., Zhang, M., Huang, Y. 2023. Chemical composition and cytotoxicity of *Salicornia europaea* L. *Biochem. Syst. Ecol.* 110, 104714.
 22. Karan, S., Turan, C., Sangun, M. K., Eliuz, E. A. E. 2021. Bioactive compounds and antimicrobial activity of glasswort *Salicornia europaea*. *Indian J. Pharm. Sci.* 83, 238-246.
 23. Shin, K. S., Boo, H. O., Jeon, M. W., Ko, J. Y. 2002. Chemical components of native plant, *Salicornia herbacea* L. *Korean J. Plant Res.* 15, 216-220.
 24. Kamal, M. A., Klein, P. 2011. Determination of sugars in honey by liquid chromatography. *Saudi J. Biologi. Sci.* 18, 17-21.
 25. Yun, J. S., Jeon, H. S., Kim, I. S., Lee, H. J., Lee, H. J., Hyun, J. Y., Kim, J. B. 2013. Simultaneous determination of fructose, glucose, and sucrose in honey and commercial drinks by GC and GC/MS. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45, 527-544.
 26. Cha, J. Y., Jeong, J. J., Kim, Y. T., Seo, W. S., Yang, H. J., Kim, J. S., Lee, Y. S. 2006. Detection of chemical characteristics in hamcho(*Salicornia herbacea* L.) according to harvest periods. *J. Life Sci.* 16, 683-690.