

LC/MS에 의한 통통마디의 Flavonoids 정량 분석

김하송*† · 윤영승** · 조재우***

*나주대학 한약자원개발과, **목포대학교 공동실험실습관, ***태평소금

Quantitative Analysis of Flavonoids from *Salicornia herbacea* L. Extract by LC-MS

Ha Song Kim*†, Young Seung Yoon**, and Jai Woo Cho***

*Dept. of Herbal Medicine Resources Development, Naju College, Naju 520-930, Korea.

**Dept. of Central laboratory, Mokpo Univ., Muan-Gun 534-729, Korea.

***Taepyung Salt, Jungdo-myon, Shinan-gun, Chonnam 535-820, Korea.

ABSTRACT : This study was conducted to determine the amount of flavonoids in *Salicornia herbacea* L. grown by a liquid chromatography / mass spectrometry (LC/MS). The flavonoids-contained quercetin (124.43 ppm), rutin (2.57 ppm), quercetin-3-β-glucoside (3992.49 ppm), quercetin-3',4'-glucoside (0.08 ppm) and isorhamnetin (27.81 ppm) were detected in the powder sample. In particular, quercetin-3-β-glucoside accounted for more than 99% in hay and 96% in powder. These results suggest that *S. herbacea*, which is one of halophyte plants, has high functional substances as an antioxidant source.

Key Words : Antioxidant, Flavonoid, Halophyte, LC/MS, *Salicornia herbacea*

서 언

생물체는 정상적인 성장과정에서 곰팡이, 바이러스 등의 병원균과 스트레스로 인하여 활성산소를 발생시키며, 이러한 활성산소는 지질과산화, 단백질분해, 세포파괴, 노화촉진 등 생체 내에서 강한 산화력으로 DNA를 손상시키거나 암을 유발하면서 생리적 장애를 초래하고 있다 (Ames & Saul, 1987; Allen *et al.*, 1997; Asada, 1999). 인체 내에서는 다양한 형태의 항산화물질들이 자기방어의 기능을 갖고 있지만, 방어능력을 초과하는 활성산소의 생성은 관절염, 당뇨질환, 성인병과 치매 등의 여러 질환의 원인이 되고 있다 (Fukuzawa & Takaishi, 1990).

최근 건강기능성식품에 대한 관심이 증가함에 따라서 약용식물의 생리학적, 약리학적 기초연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구를 바탕으로 약리 효능을 지닌 식품, 의약품, 화장품 등의 제품화에 따라 관련 산업이 활성화되고 있으며 (Kim *et al.*, 2006), 국내·외적으로 천연물질로부터 기능성 성분의 소재를 발굴하기 위한 연구가 활발히 진행되면서 (Choi *et al.*, 2006), 항산화물질인 flavonoid 성분을 탐색하고, 항산화력을 비교, 분석하여 관련 기초산업에 다양하게 활용하고 있다.

페놀류 화합물인 플라보노이드는 flavonol계의 quercetin, kaempferol, myricetin이 있으며 flavone계의 apigenin, luteolin, limonin, nomilin 등이 알려져 있고, 식품 중에 소량이 함유되어, 대부분 식물에 유리상태로 존재하며 물에 녹지 않고 유기용매에 잘 녹는다. 또한 flavonoid는 항균, 항암, 항바이러스, 항알레르기, 항산화 및 항염증 활성을 지니며, 독성은 거의 나타나지 않는 것으로 보고되고 있다 (Lee *et al.*, 1999, Kang *et al.*, 1995). 최근 천연물질로부터 항산화물질에 관한 연구로서 quercetin은 in vitro에서 radical을 처리하고 lipid peroxidation을 억제하며 금속을 킬레이팅하여 항산화제로 작용 (Rice Evans *et al.*, 1996), quercetin은 in vitro에서 생리적 범위에 들어가는 낮은 농도 0.25 μmol/L에서도 LDL (low-density lipoprotein) 산화를 억제 (Manach *et al.*, 1998), quercetin은 관상동맥질환 예방에 공헌할 수 있다 (Hertog *et al.*, 1993a)고 보고하였다. 또한 감귤과 한국산 청피에서 glycoside flavonoid의 분석 (Baik *et al.*, 2001), 국내 자생쑥 종류 (Hwang *et al.*, 1998, Choi *et al.*, 2006), 황금 (Kim *et al.*, 2006), 양하 (Lee *et al.*, 2007)의 항산화력, 국내 유통중인 식용식물 43종 (Kim *et al.*, 2006), 국내 자생식물 (Han *et al.*, 2006)의 항산화효과 등의 관련 기초연구가 활발히 진행되고 있다.

†Corresponding author: (Phone) +82-61-330-7413 (E-mail) kimhasong@naju.ac.kr
Received December 21, 2007 / Revised July 17, 2008 / Accepted July 28, 2008

통통마디 (*Salicornia herbacea* L., glasswort)는 명아주과 (Chenopodiaceae)에 속하는 식물로 서해안의 갯벌주변에서 자라는 일년초로서 칠면초, 나문재, 해홍나물 등과 같이 우리나라 서해안 갯벌에 군락을 이루고 있는 대표적인 염생식물이다 (Lee, 1989). 통통마디는 염류 농도가 높은 갯벌에서 자라기 때문에 삼투압을 견디기 위해 식물체내에 육상식물보다 높은 염류를 저장한다 (Kim & Song 1983). 최근 보고에 의하면 Na 성분 뿐 만 아니라 Ca, K, Mg, Fe, Zn 성분들이 통통마디에 고농도로 존재하는 것으로 알려졌다 (Min *et al.*, 2002; Shin *et al.*, 2002; Cha *et al.*, 2006). 민간에서는 이러한 특성 때문에 함초 (鹹草)라고도 불리며, 최근에는 변비 개선 효과 및 다이어트 목적의 기능성 식품으로 개발하려는 시도가 있다 (Lee & An, 2002; Lee *et al.*, 2002; Jeong *et al.*, 2004; Jang & Park, 2006). 통통마디의 약리효과에 관한 연구로는 메탄올 추출물을 실험동물에 투여했을 때 혈중 콜레스테롤 및 혈중 지질 감소 (Bae *et al.*, 1990; Jo *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2000; Ha & Lee, 2006; Kim *et al.*, 2006)와 항산화 효과가 있다 (Min *et al.*, 2002; Han *et al.*, 2003; Han & Kim, 2003; Han, 2004; Kim, 2007). 통통마디에서 항산화물질인 quercetin 3-O-β-D-glucopyranoside와 isorhamnetin 3-O-β-glucopyranoside 동정 (Park & Kim, 2004), 통통마디에서 추출한 다당체의 활성 (Lee *et al.*, 2006; Im *et al.*, 2006), betaine 정량 (Lee *et al.*, 2004) 등의 연구가 진행되었다. 그러나 인체에서 quercetin이 항산화제, LDL 산화 억제, 관상동맥질환 예방 등의 효과를 유발하기 위해서는 quercetin이 체순환에 들어와야 한다. 식품내에서 quercetin은 당에 결합되어 주로 β-glycoside로 존재하며 이런 다양한 quercetin glycoside의 생체이용성은 그 sugar moiety에 의해 영향을 받는다 (Hertog *et al.*, 1993b; Hollman *et al.*, 1999; Hollman *et al.*, 1995). Quercetin-3-rutinoside와 quercetin-3-β-glucoside가 식품내 quercetin의 중요한 형태이다. Quercetin-3-rutinoside는 홍차 quercetin의 40% 정도를, quercetin-3-β-glucoside는 양파 quercetin의 45% 정도를 차지한다 (Kiviranta *et al.*, 1988). quercetin-3-β-glucoside는 섭취된 양의 52%가 흡수되는 반면 quercetin-3-rutinoside는 섭취량의 17% 정도만 흡수된다 (Hollman *et al.*, 1995). Quercetin-3-rutinoside의 생체이용성은 quercetin-3-β-glucoside의 생체이용성의 20%에 불과하다 (Hollman *et al.*, 1998).

따라서 우리는 생체이용성이 뛰어난 flavonoid에 대하여 연구를 진행하였다. 또한 우리의 연구는 폐염전지역에서 약용작물 재배시 대량생산이 가능한 통통마디의 플라보노이드 함량을 밝히고자 한다. 이러한 연구는 통통마디의 활용도를 높여 고부가가치의 기능성 식품을 개발하는 기초 자료로 활용될 것이다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서는 2006년 8월부터 10월 사이에 전남 신안군 증도면 염전에서 자연생육하고 있는 통통마디를 채집하여 염지에서 건조하여 사용하고, 제품 생산 공정을 거친 분말을 실험 재료로 사용하였다. 통통마디 표본은 나주대학 한약자원개발과 표본실에 보관하였다.

2. 시약 및 기구

Quercetin dihydrate, rutin hydrate, isorhamnetin은 Sigma (USA)사, HPLC용 acetonitrile과 H₂O, methanol, acetic acid는 J.T. Baker (USA)사 제품을 사용하였고 기타 분리 및 분석용 시약은 특급시약을 사용하였다. 본 실험에서 사용한 기계는 감압농축기 (EYELA Co., Model NE-1, Japan), HPLC system (Agilent, PaloAlto, CA, Agilent 1100 series, USA), ESI ion trap Mass spectrometer (Bruker Daltonics, model Esquire HCT, Germany) 등을 사용하였다.

3. 검액의 조제

건조시료 및 분말시료 250 mg을 마개 달린 시험관에 넣고 50% 에탄올 (10 ml)에서 60분간 3회 추출하였다. 에탄올 추출물을 합하여 최종부피를 30 ml로 조정한 후 이를 0.45 μm membrane filter로 여과하여 검액으로 하였다. Quercetin dihydrate, rutin hydrate, isorhamnetin를 메탄올에 녹여 표준용액을 조제하였다. 검정곡선은 flavonoid 표준용액을 640 ug/ml 농도로 MeOH에 용해 시켜 농축 용액을 준비한 후, 최종 농도를 10~640 ug/ml 농도로 희석하여 준비하였다. 검액 및 표준용액 5 μl를 취하여 HPLC-ESI/MS를 실시하였고, 표준용액 농도와 HPLC상에서의 peak 면적을 변수로 하여 검량선을 작성하였다.

4. HPLC-ESI/MS 분석조건

플라보노이드 성분은 HPLC-ESI/MS Agilent 1100 series와 Bruker esquire HCT on-line로 분석하였다. 컬럼은 Symmetry R C18 (2.1 × 100 mm I.D., 3.5 μm, Waters)를 사용하였으며, UV 254 nm 파장에서 측정하였다. 이동상으로는 (A) 5% acetic acid in acetonitrile와 (B) 5% acetic acid in Water를 A: 5~80%로 40분간 기울기를 주며 0.4 ml/min 유속으로 흘려 주었고, 시료 주입량은 5 μl를 사용하였다 (Table 1). 그리고 ESI-Ion Trap MS 분석조건을 요약하면 Table 1과 같다.

결과 및 고찰

1. LC-ESI-MS에 의한 검량선 작성 및 성분 분석

LC-MS는 retention time과 분자량을 근거로 분석물질을 확

인하기 때문에 신속하고 정확하게 분자량을 측정할 수 있다. 본 연구에서는 quercetin, rutin, quercetin-3-β-glucoside, quercetin-3',4'-glucoside, isorhamnetin의 분자량 피크 확인을 위하여 음이온 모드에서 ESI interface를 사용하여 분석하였다. 각 표준물질들은 fragment ion의 값들과 retention-time은 quercetin은 301 m/z (19.1 min), isorhamnetin은 479 m/z (21.0 min), quercetin-3-β-glucoside은 463 m/z (23.0 min), rutin은

609 m/z (30.0 min), quercetin-3',4'-glucoside은 625 m/z (38.0 min) 순서로 분리되도록 하였다 (Fig. 1, 2, Table 2). 표준물질들은 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 μg/ml 되게 희석하고 HPLC의 크로마토그램에서 얻은 피크면적을 이용해 각 플라보노이드의 회귀방정식을 구한 결과 quercetin은 $y = 22,942x + 8,056$ ($r = 1.000$), isorhamnetin은 $y = 1,288,091x - 251,630$ ($r = 0.999$), quercetin-3-β-glucoside은 $y = 22,951x + 15,872$ ($r = 0.998$), quercetin-3',4'-glucoside은 $y = 6,331,162x + 1,144,645$ ($r = 0.991$), rutin은 $y = 3,063,372x + 6,983,22$ ($r = 0.988$)인 검량선을 얻었다 (Table 3).

Table 1. Liquid chromatography/mass spectrometer conditions for the determination of flavonoids in *S. herbacea*.

A. Condition of HPLC				
Company	Agilent 1100 series (Binary pump systems)			
Column	SymmetryR C18 3.5 μm 2.1 × 10 mm (Waters)			
Mobile Phase	A : 5% acetic acid in ACN			
	B : 5% acetic acid in Water			
Gradient	Time	A (%)	B (%)	Flow
	0 min	5	95	0.4mL/min
	30 min	40	60	0.4mL/min
	31 min	80	20	0.4mL/min
	40 min	80	20	0.4mL/min
	41 min	5	95	0.4mL/min
45 min	5	95	0.4mL/min	
B. Condition of Mass Spectrometer				
Company	Bruker model Esquire HCT (Ion Trap MS)			
Ion source	ESI			
Polarity	Negative			
Mass Range	100-700 m/z			
Nebulizer gas	40 psi			
Scan Mode	Ultrascan			
Capillary Voltage	-4000 V			
Dry Gas	9 L/min			
Dry Gas Temp.	365 °C			

2. Flavonoid의 정량분석

Quercetin, rutin, quercetin-3-β-glucoside, quercetin-3',4'-glucoside, isorhamnetin을 정량 분석하기 위하여 각각의 표준용액을 바탕으로 ESI/Ion Trap MS를 negative mode에서 분석하여 [M-H]⁻ 값과 이온화 되었을 때의 fragment MS/MS의 값을 확인하였다 (Table 2). 또한 5가지 물질의 정량을 위하여 각각의 표준용액을 가지고 standard curve를 작성하였으며 직선성과 범위는 Table 3과 같다.

그 결과는 Table 4에 정리하였으며, HPLC-ESI-MS 분리결

Table 2. Precursor ions and their corresponding fragments obtained by LC-ESI-MS (negative ion mode) analyses of the extracts of *S. herbacea* L.

tR (min)	Compound	[M-H] ⁻	MS2 fragment ions (m/z)
19.1	Quercetin	301	179, 151
20.4	Isorhamnetin	479	315[MQ]([M-H] ⁻ - Glc)
24.1	Quercetin-3-β-glucoside	463	301[Q]([M-H] ⁻ - Glc)
35.9	Quercetin-3',4'-glucoside	625	463, 301[Q]([M-H] ⁻ - Glc)
38.3	Rutin	609	301[Q]([M-H] ⁻ - Glc)

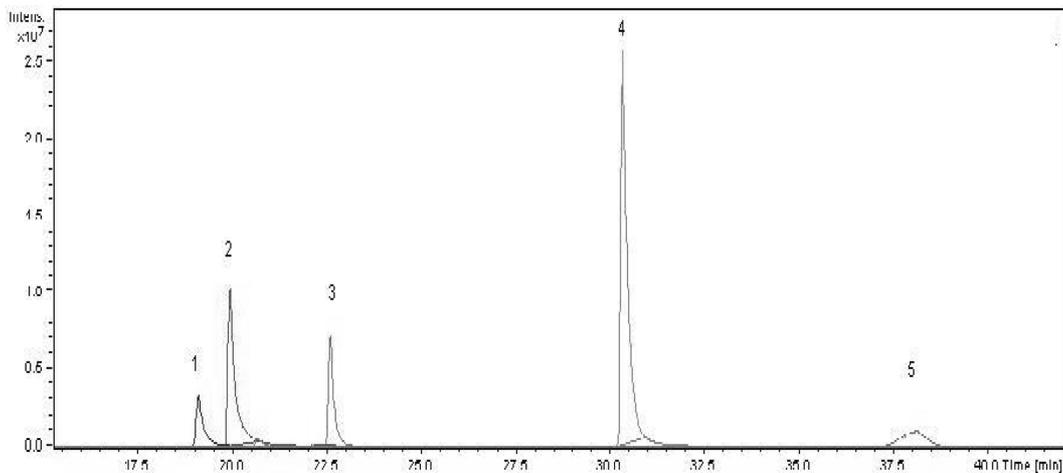


Fig. 1. LC/ESI Chromatogram of standard mixture. Peak number as follows: (1) quercetin (19.1 min); (2) isorhamnetin (21.0 min); (3) quercetin-3-β-glucoside (23.0 min); (4) rutin (30.0 min); (5) quercetin-3',4'-glucoside (38.0 min).

과는 Fig. 3에 나타냈었다. 건조에서 quercetin, quercetin-3-β-glucoside, rutin, isorhamnetin의 함량이 17.20, 3137.06, 1.97,

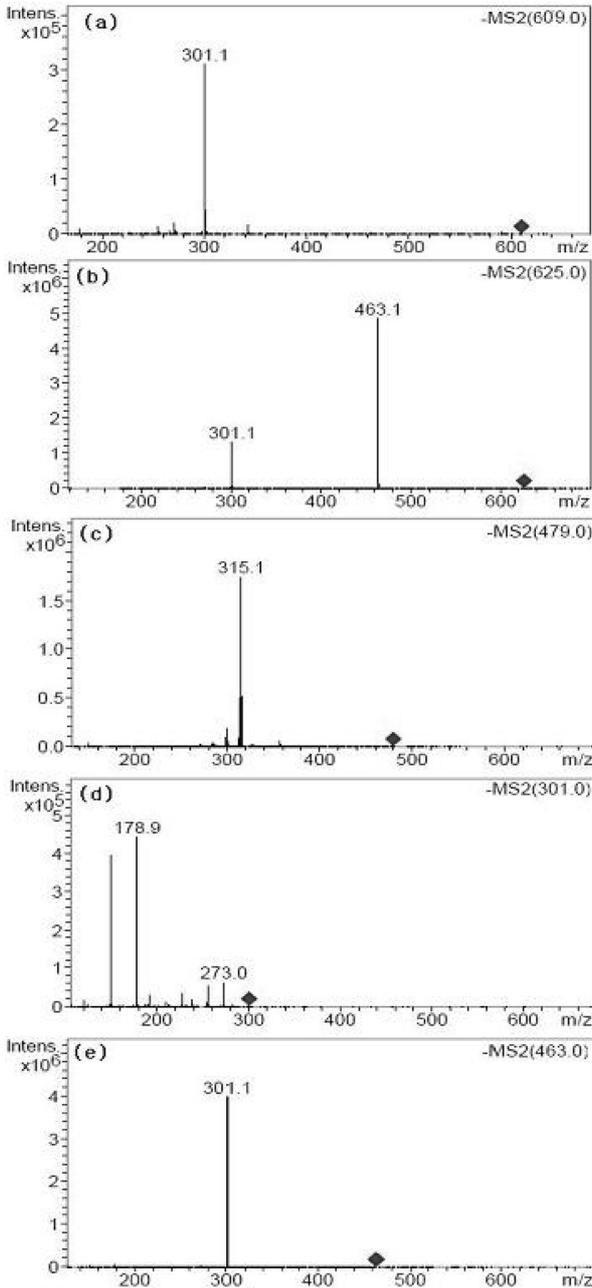


Fig. 2. LC/MS/MS spectra of rutin (a), quercetin-3',4'-glucoside (b), isorhamnetin (c), quercetin (d), quercetin-3-β-glucoside (e).

3.05, 1.44 ppm으로 검출되었고, 분말에서는 124.43, 3992.49, 0.08, 2.57, 27.80 ppm으로 검출되었다. 분석 결과 건조한 식물체와 분말의 경우 quercetin, quercetin-4'-glucoside, isorhamnetin의 함량 차이가 나타나는데 이는 분말화에 의해 이들 성분이 더 효율적으로 추출되었다고 생각된다. 검출된 flavonoids에서 quercetin-3-β-glucoside가 차지하는 비중은 건조에서 99%, 분말에서 96% 이상이다. 통통마디에서의 quercetin-3-β-glucoside 함량 비중은 홍차나 양파보다 월등히 높음을 알 수 있다. 또한 quercetin의 생체이용성을 보면 quercetin-3-β-glucoside는 섭취된 양의 52%가 흡수되며 quercetin glucoside는 인간의 소장에서 효과적으로 가수분해되어 65-80% 정도가 흡수된다 (Thomas *et al.*, 2000).

최근 경제발전에 따른 생활수준의 향상으로 식생활이 서구적으로 변화되어 성인병 유발이 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 예를 들어 지방 섭취율의 증가는 콜레스테롤이 혈관내막에 침적됨으로서 동맥경화, 혈중 지질함량 증가시켜 많은 성인병을 유발하고 있다. 따라서 이러한 사회적 요구에 따라 비만 억제 및 성인병 유발원인에 대한 많은 연구가 요구되어지고 있고, 플라보노이드의 주요 생리적 활성기능으로는 quercetin이 in vitro에서 radical을 처리하고 lipid peroxidation을 억제하며 금속을 킬레이팅하여 항산화제로 작용하며, LDL (low-density lipoprotein) 산화를 억제할 수 있어 관상동맥질환 예방할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 결과가 통통마디의 기능성을 활용하여 다양한 식품산업에 응용될 것으로 예상된다.

적 요

본 연구는 염전에서 자라고 있는 통통마디를 채집하여 플라보노이드 성분을 LC/MS로 정량하였다. 통통마디 분말에서 flavonol계 물질인 quercetin (124.43 ppm), rutin (2.57 ppm), quercetin-3-β-glucoside (3992.49 ppm), quercetin-3',4'-glucoside

Table 3. Linear ranges and correlation coefficients of calibration curves.

Quercetin	$y = 22,942x + 8,056$	$R^2 = 1.000$
Isorhamnetin	$y = 1,288,091x - 251,630$	$R^2 = 0.999$
Quercetin-3-β-glucoside	$y = 22,951x + 15,872$	$R^2 = 0.998$
Quercetin-3',4'-glucoside	$y = 6,331,162x + 1,144,645$	$R^2 = 0.991$
Rutin	$y = 3,063,372x + 6,983,225$	$R^2 = 0.988$

Table 4. Flavonoid contents of *S. herbacea* L.

<i>S. herbacea</i>	Quercetin	Quercetin-3-β-glucoside	Quercetin-3',4'-glucoside	Rutin	Isorhamnetin
Dried	17.20	3137.06	1.97	3.05	1.44
Powder	124.43	3992.49	0.08	2.57	27.81

LC/MS에 의한 통통마디의 flavonoids 분석

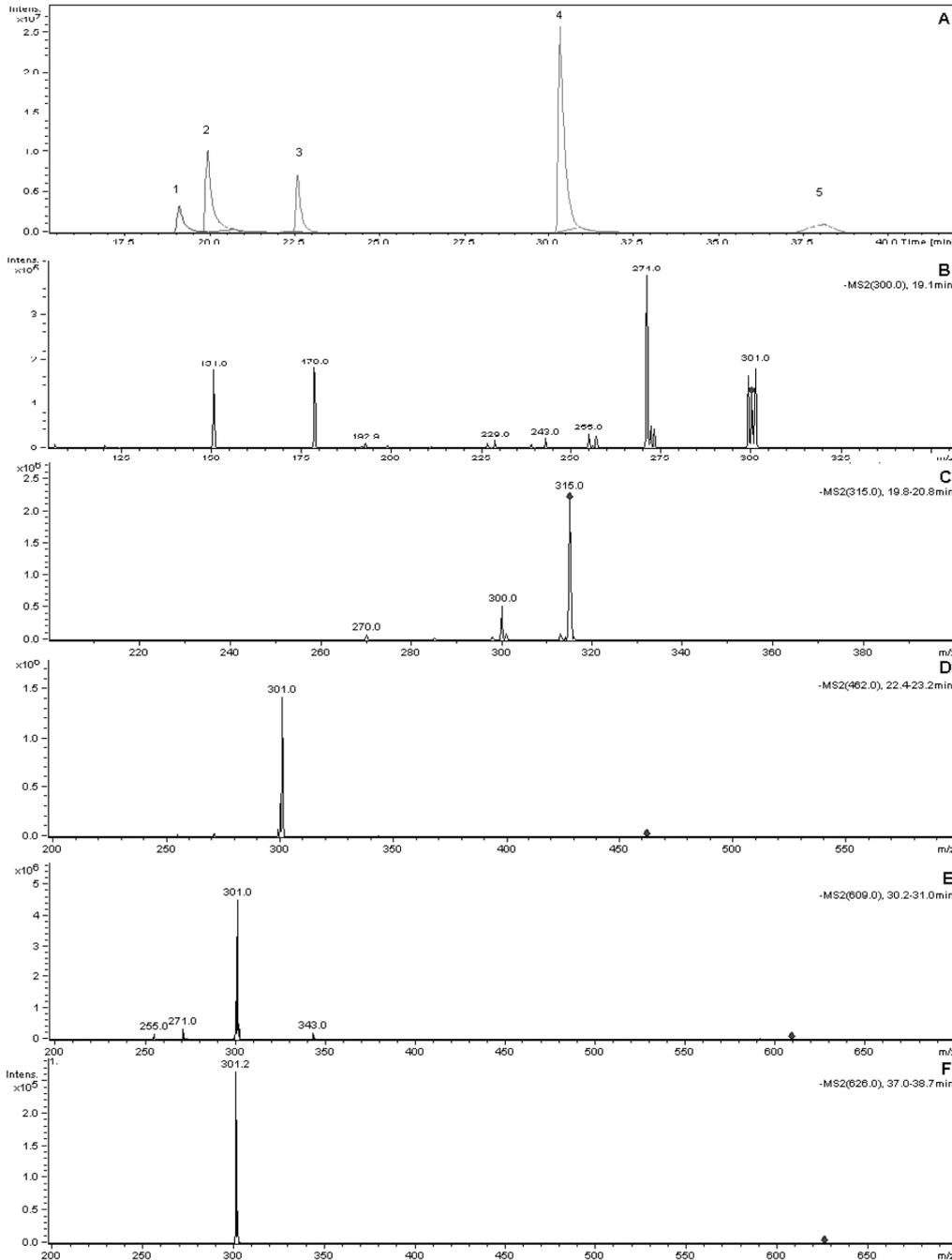


Fig. 3. LC/ESI/MS analysis of *S. herbacea* L. (powder) for separation and identification of five flavonoid (A : 1. quercetin, 2. isohamnetin-4'-glucoside, 3. quercetin-4'-glucoside, 4. rutin, 5. quercetin-3',4'-glucoside) and LC/ES MS/MS SIM profile of quercetin (B), isohamnetin (C), quercetin-3-β-glucoside (D), rutin (E), quercetin-3',4'-glucoside (F).

(0.08 ppm) 그리고 isorhamnetin (27.81 ppm)이 검출되었다. 특히 quercetin-3-β-glucoside가 차지하는 비중은 건조에서 99%, 분말에서 96% 이상으로 높게 나타났다. 이러한 결과들은 염생식물인 통통마디가 항산화제로서의 높은 기능성 물질임을 시사해 주고 있다.

LITERATURE CITED

Allen RD, Webb RP, Schake SL (1997) Use of transgenic plants to study antioxidants defense. Free Rad. Biol. Med. 23:473-479.
 Ames BN, Saul RL (1987) Oxidative DNA damage, cancer and aging. Oxygen and human disease. Ann. Inter. Med. 107:536-539.

- Asada K** (1999) The water-water cycle in chloroplasts: Scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol.* 50:601-639.
- Bae MJ, Sun TS, Choi C** (1990) Effects of ginseng fraction components on plasma, adipose and feces steroids in obese rats induced by a high fat diet. *Korean J. Ginseng Sci.* 14(3):404-415.
- Baik SO, Bock JY, Chun HJ, Jeong SH, Baek SH, Oh HB, Kim IK** (2001) Analysis and quantitative distribution of glycosided flavonoids in citrus and korean chung-pi. *Analytical Science & Technology* 14(4):340-348.
- Cha JY, Jeong JJ, Kim YT, Seo WS, Yang JS, Kim JS, Lee JS** (2006) Detection of chemical characteristics in hamcho (*Salicornia herbacea* L.) according to harvest periods. *J. of Life Science* 16(4):683-690.
- Choi YM, Chung BH, Lee JS, Cho YG** (2006) The antioxidant activities of artemisia spp. collections. *Korean J. Crop Sci.* 51:209-214.
- Fukuzawa K, Takaishi Y** (1990) Antioxidants. *J. Act. oxyg. Free Rad.* 1:55-60.
- Ha BJ, Lee SH** (2006) The protective effects of *Salicornia herbacea* L. against liver toxicity. *J. of Life Science* 16(1):95-100.
- Han SH, Woo NR, Lee SD, Kang MH** (2006) Antioxidative and antibacterial activities of endemic plants extracts in Korea. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 14(1):49-55.
- Han SK** (2004) Antioxidant effect of fermented *Salicornia herbacea* L. liquid with EM (Effective Microorganism) on pork. *Korean J. Food Sci. Ani Resour.* 24(3):298-302.
- Han SK, Kim SM** (2003) Antioxidative effect of *Salicornia herbacea* L. grown in closed sea beach. *J. Korean Sci. Nutr.* 32(2):207-210.
- Han SK, Kim SM, Pyo BS** (2003) Antioxidant effect of glasswort(*Salicornia herbacea* L.) on the liquid oxidation of pork. *Korean J. Food Sci. Ani Resour.* 23(1):46-49.
- Hertog MG, Feskens EJ, Hollman PC, Katan MB, Kromhout D** (1993a) Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. *Lancet* 342:1007-1011.
- Hertog MG, Hollman PC, Katan MB, Kromhout D** (1993b) Intake of potentially anticarcinogenic flavonoids and their determinants in adult in The Netherlands. *Lutr. Cancer* 20:21-29.
- Hollman P, Buysman MP, Gamern Y, Cnossen E, Vries J, Katan MB** (1999) The sugar moiety is a major determinant of the absorption of dietary flavonoid glycosides in man. *Free Rad. Res.* 31:569-573.
- Hollman PC, Vries JH, Leeuwen SD, Mengelers MJ, Katan MB** (1995) Absorption of dietary quercetin glycosides and quercetin in healthy ileostomy volunteers. *Am. J. Clin. Nutr.* 62:1276-1282.
- Hollman PCH, Katan MB** (1998) Absorption metabolism and bioavailability of flavonoids. In: *Flavonoids in Health and Disease* (Rice Evans, C. & Packer, L., eds.) Marcel Dekker Inc. New York. p. 483-522.
- Hwang YK, Kim DC, Hwang WI, Han YB** (1998) Inhibitory effects of *Artemisia princeps* Pampan. extract on growth of cancer cell lines. *Korean J. Nutr. Med.* 31(4):799-808.
- Im JS, Lee SK, Chang IY, Ha HC, Lim Y, Kim HY, Park KH, Yoon SP** (2006) Activation of macrophage by polysaccharide isolated from *Salicornia herbacea* L. *Korean J. Physiol. Anthropol.* 19(2):117-124.
- Jang MS, Park JE** (2006) Optimization of ingredient mixing ratio for preparation of sulgidduk with saltwort (*Salicornia herbacea* L.). *J. Korean Sci. Nutr.* 35(5):641-648.
- Jeong CY, Ryu JS, Choi CK, Jeon BS, Park JW, Shin GG, Kim BK, Bae DW, Cha JY** (2004) Supplemented effect of *Salicornia herbacea* extract powder on preparation and quality characteristics of fermented milk product. *J. of Life Science* 14(5):788-793.
- Jo YC, Ahn JH, Chon SM, Lee KS, Bae TJ, Kang DS** (2002) Studies on Pharmacological effects of glasswort (*Salicornia herbacea* L.). *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 10(2):93-99.
- Kang YH, Park YK, Oh SR, Moon KD** (1995) Studies on the physiological functionality of pine needle and mugwort extracts. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27(6):978-984.
- Kim CS, Song TG** (1983) Ecological studies on the halophyte communities at western and southern coasts in Korea. *Korean J. Ecology* 6:167-179.
- Kim KR, Choi JH, Lee SK, Woo MH, Choi SW** (2006) Effects of enzymatic hydrolysate of hamcho (*Salicornia herbacea*) on antioxidative defense system in rats fed high cholesterol diet. *J. Korean Sci. Nutr.* 35(10):1356-1362.
- Kim KR, Jang MJ, Choi SW, Woo MH, Choi JH** (2006) Effects of water extract from enzymic-treated hamcho (*Salicornia herbacea*) on lipid metabolism in rats fed high cholesterol diet. *J. Korean Sci. Nutr.* 35(1):55-60.
- Kim KB, Yoo KH, Park HY, Jeong JM** (2006) Anti-oxidative activities of commercial edible plant extracts distributed in Korea. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 49(4):328-333.
- Kim MW** (2007) Effects of *Salicornia herbacea* L. supplementation on blood glucose and lipid metabolites in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J. Nutr.* 40(1):5-13.
- Kim SC, Ahn KS, Park CK, Jeon BS, Lee JT, Park WJ** (2006) Isolation of antioxidative compound from *Scutellaria baicalensis* G. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 14(4):212-216.
- Kim YY, Lee KW, Kim GB, Cho YJ** (2000) Studies on physicochemical and biological properties of depolymerized alginate from sea tangle. *Laminaria japonicus* by heating hydrolysis. 3. Excretion effects of cholesterol, glucose and cadmium(Cd) in rats. *J. Korean Fish. Soc.* 33(5):393-398.
- Kiviranta J, Huovinen K, Hiltunen R** (1988) Variation in phenolic substances in onion. *Acta Pharmaceutica Fennica* 97:67-72.
- Lee CH, Kim IH, Kim YE, Oh SW, Lee HJ** (2004) Determination of betaine from *Salicornia herbacea* L. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33(9):1584-1587.
- Lee JT, Jeong YS, An BJ** (2002) Physiological activity of *Salicornia herbacea* and Its application for Cosmetic materials. *Korean J. Herbology* 17(2):51-60.
- Lee JT, An BJ** (2002) Detection of physical of *Salicornia herbacea*. *Korean J. Herbology* 17(2):61-69.
- Lee JW, Chon SU, Han SK, Choi DG, Ryu J** (2007) Effects of antioxidant and flavor components of *Zingiber mioga* Rosc.

- Korean J. Medicinal Crop Sci. 15(3):203-209.
- Lee KY, Lee MH, Lee IY, Chang SP, Yoon DY, Jeon YJ** (2006) Macrophage activation by polysaccharide fraction isolated from *Salicornia herbacea*. J. of Ethnopharmacology 103:372-373.
- Lee SJ, Chung HY, Lee IK, Yoo ID** (1999) Isolation and identification of flavonoids from ethanol extracts of *Artemisia vulgaris* and their antioxidant activity. Korean J. Food Sci. Technol. 31(3):815-822.
- Lee TB** (1989) In *Illustrated Flora of Korea*. (4th ed.) HyangMunSa, Seoul. p. 990.
- Manach C, Morand C, Crespy V, Demigne C, Texier O, Regerat F, Remesy C** (1998) Quercetin is recovered in human plasma as conjugated derivatives which retain antioxidant properties. FEBS Lett. 426:331-336.
- Min JG, Son KT, Kim DS, Kim JH, Kim TJ, Park JH** (2002) Physiological and functional properties of *Salicornia herbacea* leaf extracts. Nutraceut. Food 7: 261-264.
- Min JG, Kim DS, Kim TJ, Park JH, Cho TY, Park DI** (2002) Chemical composition of *Salicornia herbacea* L. J. Food Sci. Nutr. 7(1):105-107.
- Park SH, Kim KS** (2004) Isolation and identification of antioxidant flavonoids from *Salicornia herbacea* L. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 47(1):120-123.
- Rice EC, Miller NJ, Paganga G** (1996) Structure-antioxidant activity relationship of flavonoids and phenolic acids. Free Radic. Biol. Med. 20:933-956.
- Shin KS, Boo HO, Jeon MW, Ko JY** (2002) Chemical components of native plant, *Salicornia herbacea* L. Korean J. Plant. Res. 15(3):216-220.
- Thomas W, Yoko OU, Kristina W, Frederick AW** (2000) Quercetin glucosides are completely hydrolyzed in ileostomy patients before absorption. American Soc. Nutritional Sci. 130:2658-2661.