

알로에 베라 겔 가공부산물로서의 섬유질 분획의 성분 및 물리화학적 특성

백진홍¹ · 이신영*

강원대학교생물공학과, ¹주) 김정문 알로에 과학연구소

Physicochemical Properties of Fibrous Material Fraction from By-product of *Aloe vera* Gel Processing

Jin-Hong Baek¹ and Shin-Young Lee*

Department of Bioengineering and Technology, Kangwon National University

¹KJM Aloe R&D Center

Abstract

The fibrous material fraction as a by-product from the commercial aloe vera gel processing was obtained and freeze dried. The physicochemical characteristics such as the proximate composition, crystalline/surface structures and several physical functionalities including the water holding capacity (WHC), swelling capacity (SW), oil holding capacity (OHC), emulsion/foam properties and viscosity properties of this powdered sample (100 mesh) were investigated and analyzed by comparison with commercial α -cellulose as a reference sample. The total dietary fiber content of powdered sample was very high as much as 87.5%, and the insoluble dietary and soluble dietary fiber content ratios were 77.6 and 22.4%, respectively. The FT-IR spectrum of powdered sample showed a typical polysaccharide property and exhibited a x-ray diffraction pattern for cellulose III and IV like structure. SW (8.24 ± 0.15 mL/g), WHC (6.40 ± 0.19 g water/g solid) and OHC (10.32 ± 0.29 g oil/g solid) of freeze dried aloe cellulose were about 3.3, 1.4 and 2 times higher than those of commercial α -cellulose, respectively. Aloe cellulose (~2%, w/v) alone had no foam capacity while improved the foam stability of protein solution (1% albumin+0.5% CaCl₂) by factor of 300%. Emulsion capacity of 2%(w/v) aloe cellulose was about 70% level of 0.5%(w/v) xanthan gum, but its emulsion stability was about 1.2 times higher than that of xanthan gum. Also, aloe cellulose containing CMC (carboxyl methyl cellulose) of 0.3%(w/v) showed a very good dispersity. Aloe cellulose dispersion of above 1%(w/v) exhibited higher pseudoplasticity and concentration dependence than those of α -cellulose dispersion, indicating the viscosity properties for new potential usage such as an excellent thickening agent.

Key words: Aloe vera gel, dietary fiber, physicochemical property, by-product

서 론

식품산업은 가공 중에 대체적으로 많은 양의 고-액 폐기물 또는 부산물을 생산하며, 이들의 처리는 법적제한이 뒤따르는 잠재적인 환경오염 등의 문제를 나타낸다. 이들 폐기물이나 가공부산물로부터 유용산물을 분리, 회수하고, 또 고도로 활용하는 것은 법적규제의 해결은 물론, 자원의 재활용 및 경제적 관점에서 유리하므로 매우 유망한 R&D 분야로 인식되었으며, 관련 산업체의 주요 이슈가 되어 왔다(Schieber et al., 2001; Djilas et al., 2009).

따라서 지난 10여 년간 각종의 농수산물 가공부산물로부터 유용물질의 이용기술이 널리 탐색 및 개발되어 왔는데, 특히, 이들 가공부산물로부터 주로 고부가가치의 기능성 화합물을 소재화 하고자하는 연구가 널리 탐색되었다(Nagatsu, 2004; Nawirska & Kwasniewska, 2005; Kim & Mendis, 2006; Fernandez-Bolanos et al., 2006). 부산물로부터 회수된 화합물들은 크게 불용성, 수용성 및 지용성 화합물들로 분류되며 주로 식이섬유, phytochemical 및 bioactive 화합물들이다(Schieber et al., 2001).

이 중, 식이섬유(dietary fiber)는 주로 사람의 소화 효소로는 소화되지 않는 식품성분이며, 그동안 천연의 각종 식이섬유 급원을 대상으로 하여 동물 및 임상실험을 통한 각종 생리기능을 밝히는 연구를 통해 이제 대장암, 관상심장 질환, 비만, 당뇨 등에 대한 보호효과를 갖는 것으로 수용되고 있다(Thebaudin et al., 1997).

지금까지의 연구들에 의하면 과채류 및 곡류는 이러한

Corresponding author: Shin-Young Lee, Department of Bioengineering and Technology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Tel: +82-33-250-6273; Fax: +82-33-243-6350

E-mail: sylee@kangwon.ac.kr

Received January 28, 2010; revised April 6, 2010; accepted April 8, 2010

식이섬유의 우수한 소재들이다. 특히, 이들 식물가공의 잔사는 값이 싸고 대량이용이 가능하므로 매우 주목을 받아왔으며, 현재 일부는 산업적으로 생산되어 이용되고 있는 실정이다(Chantaroa et al., 2008; Wachirasiri et al., 2009; Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso, 1999; Nawirska & Kwasniewska, 2005; Djilas et al., 2009).

하지만 아직도 미이용 또는 저이용 부산물의 탐색과 이의 용도개발이 진행 중에 있는 실정이다. 이러한 측면에서 최근 5년간 국내 건식 식품 매출 2위를 차지하고 있는 알로에는, 겔 가공 중에 껍질 등의 불가식부위(50%)가 그대로 폐기되고 있으며, 이용되지 않는 부산물로서의 섬유질도 10%나 되어 새로운 용도개발이나 고도 활용의 검토 필요성이 매우 높다.

알로에는 백합과에 속하는 다년초로, 3500년 이상 광범위하고도 다목적적인 민간치료제로서 널리 이용되어 왔다(Agarwala, 1997; Grindlay & Reynolds, 1986; Reynolds & Dweck, 1999). 현재 전 세계적으로 높은 경제성 및 의학적 가치가 있는 녹색자원의 하나로 인식되고 있으며, 각종 건강식품, 화장품 및 의약품 등에서 최다의 사용소재이다(The International Aloe Science Council, 2008).

가장 널리 이용되는 대표적인 종은 알로에 베라(*Aloe vera* Linne)인데, 다육질 잎을 갖는 다즙성이어서 잎 내부의 유세포 조직(parenchyma tissue)은 99%이상의 물을 함유한다. 유세포조직으로부터 섬유질을 제외한 것이 알로에 겔인데, 다당은 겔 건물중량의 약 60%를 차지한다(Grindlay & Reynolds, 1986; Reynolds & Dweck, 1999). 반면, 섬유질은 유세포조직의 약 10%에 해당하는 대량 함유 성분이며, 특히, 식이섬유로서의 특징이 크게 기대된다.

하지만 알로에의 섬유질은 그동안 가공 중의 부산물로 폐기되었으며, 따라서 아직까지도 그 특성, 역할 및 용도적성 등이 전혀 규명되지 않았고, 식이섬유로서의 검토도 이루어진 바가 없었다.

따라서 알로에 가공부산물로서의 섬유질에 대한 연구는 자원의 재활용 및 경제성 측면은 물론, 새로운 식이섬유 소재로서의 용도적성 탐색을 통한 고도 활용이나 고부가가치화 측면에서 검토해 볼만한 충분한 필요성을 갖는다. 또, 아직도 논쟁이 되고 있는 생잎 겔의 유효성분 및 기능성과 관련하여 유효 기능성 성분과의 상호작용이나 역할규명, 혹은 관련 기능성의 작용 측면에서의 효과를 밝히는데 있어서도 연구 검토의 필요성은 매우 높다고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 알로에 섬유질의 신규 기능성 소재화 연구의 일환으로, 알로에 섬유질의 성분특성과 몇몇 물성 기능성을 특성화하고자 하였다. 즉, 알로에 베라의 가공 부산물인 알로에 섬유질을 동결건조하여 분말제품을 얻었고, 이의 화학성분 특성, 결정 및 표면구조의 특성을 조사, 검토하였다. 아울러, 물성기능으로서 수분 및 오일 흡수능, 거품능과 안정성, 유효능과 안정성, 점도 특성을 표

준시료(α -cellulose)와 비교하면서 검토하였고, 이로부터 알로에 유래의 섬유소에 대한 각종 기능성 자료화를 마련하였으며, 궁극적으로 신규의 알로에 식이섬유의 생물소재화를 달성하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용한 알로에는 주) 김정문 알로에의 제주농장에서 재배, 수확한 3년산의 완전히 성숙한 알로에 베라 생잎이며, 회사로부터 직접 제공받아 실험에 사용하였다.

Aloe fiber의 조제

신선한 알로에 생잎의 부착토양 및 기타 이물질을 제거하기 위해 물로 철저히 세척하였고, 알로인을 제거한 후(5 ppm 이하) 박피하여 유세포 조직의 내부 겔부위를 취하였다. 이를 원심분리(8,000×g)하여 알로에 섬유질(수율 10 wt%)과 알로에 겔(수율 90 wt%)로 분획한 후 알로에 섬유질 분획을 취하여 동결건조(0.05 torr, 24시간)하였다.

동결건조 시료는 분말화(100 mesh)하였고, 이를 실험의 공시시료로 사용하였다.

한편, 비교 표준시료는 불용성의 비칼로리 물질로서 총 식이섬유 함량이 99%이상인 α -cellulose이었고(FDA, 1987), Sigma-Aldrich사의 제품(Product no. C8002)을 사용하였다.

일반성분 및 식이섬유 함량의 정량

알로에 섬유질 분획의 수분, 단백질, 지방, 탄수화물 및 회분함량을 상법(AOAC, 1995)에 따라 측정하였다. 또한, 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber, SDF) 및 불용성 식이섬유(insoluble dietary fiber, IDF)의 함량은 AOAC에서 공인한 Prosky et al.(1988)의 효소-중량법에 의하여 구하였다. 이 때, 총 식이섬유(total dietary fiber, TDF) 함량은 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유의 합(TDF, % = IDF+SDF)으로 계산하였다.

Aloe fiber의 물성 특성

결정 및 표면구조: 결정구조는 X-ray diffractometer (Bruker model D5005, Karlsruhe, Germany)로 관찰하였다. 조작조건은 40 kV/30 mA에서 대음극으로 동(Cu K_{α})관을 사용하였고, step size 0.04로 $2\theta = 10-60^{\circ}$ 까지 회전시켰다. 또, 표면구조는 주사형 전자현미경(Hitachi SEM model S-4300, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다. 즉, 시료를 양면 접착 테이프에 얇게 분산시킨 후, Au로 진공증착(100 Å 두께)하여 전압 5 kV, 시료 경사 30° 의 조건에서 200-1,000배로 촬영하여 관찰하였다.

FT-IR 분석: FT-IR(Fourier transformed infra red) spectra

는 동결건조시료 2 mg을 함유한 KBr disc를 조제하고 3 cm¹의 해상도로 Bio-Rad Model Excaliber (Cambridge, USA) 기기를 사용하여 얻었다.

보수력(Water holding capacity; WHC): 보수력은 Paton의 방법(1981)을 사용하였으며 시료 5 g을 칭량하여 미리 칭량한 50 mL 원심분리관에 넣고, 각 시료에 증류수를 소량 가한 후 유리봉으로 저어주었다. 혼합물이 완전히 젖은 후 2,000×g에서 10분간 원심분리 후 상징액 액체의 양을 측정하였고, 보수력(시료 고형분 g당 물의 g)을 다음 식으로 구하였다.

$$\text{WHC} = (W_2 - W_1) / W_0 \quad (1)$$

여기서 W₀는 건조시료 중량(g), W₁은 관과 시료의 무게(g), W₂는 관과 침전물의 무게(g)이며, 각 시료에 대해 3회 반복 실험하였다.

보유능(Oil absorption capacity; OAC): 보유능은 Chakraborty의 방법(1986)으로 측정하였다. 시료 1 g을 칭량하여 미리 칭량된 50 mL 원심분리관에 넣고 10 mL의 soybean oil 또는 rice bran oil과 철저히 혼합하였다. 시료-oil 혼합물을 1600×g에서 10분간 원심분리하고 상징액을 제거하여 관의 무게를 측정하였으며, 지방 흡수능(시료 고형분 g당 oil g)을 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{OAC} = (W_2 - W_1) / W_0 \quad (2)$$

여기서 W₀는 건조시료 중량(g), W₁은 관과 시료의 무게(g), W₂는 관과 침전물의 무게(g)이며, 각 시료에 대해 3회 반복 실험하였다.

유화능 및 안정성(Emulsifying capacity and stability): 유화능(EC) 및 유화 안정성(ES)은 Yasumatsu et al.의 방법(1972)에 따라 3회 반복 실험하였다. 각 시료 8 g을 칭량하고 blender로 옮겨 증류수 100 mL 및 soybean oil 100 mL와 혼합하고 고속으로 1분간 혼합하여 유화액을 형성하였다. 각 시료에 대해 유화액의 고정량(40 mL, V_t)를 취하여 50 mL의 원심분리관에 옮기고 1,475×g에서 5분간 원심분리하였다. 유화 분획의 부피(V_{f1})를 기록하고 O/W 유화분획을 포함한 관은 80°C의 수욕(water bath)에서 30분간 가열한 후, 실온으로 냉각하였으며, 이를 원심분리(1,475×g, 5분)후 남아있는 유화분획의 부피(V_{f2})를 기록하였다. EC 및 ES는 각각 다음 식으로 나타내었다.

$$\text{EC}(\%) = (V_{f1} / V_t) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{ES}(\%) = (V_{f2} / V_t) \times 100 \quad (4)$$

거품 형성능과 안정성(Foaming capacity and stability):

거품 형성능(FC) 및 거품 안정성(FS)은 Mitchell의 방법(1986)을 사용하여 3회 반복 실험하였다. 0-3 wt%의 시료(1% egg albumin + 0.5% CaCl₂ 함유) 수용액 75 mL(V_i)를 고속 균질기로 3분간 혼합하였다. 메스실린더에 붓고 즉각 foam 부피(V_f)를 측정하였다. Foam은 25°C에서 30분간 그대로 방치하였고, 거품 밑에 생성된 액체부피(V_o)를 측정한다. FC(액체 mL당 거품 mL) 및 FS(초기부피 mL당 거품에 남아있는 액체의 mL)를 다음 식에 의해 각각 구하였다.

$$\text{FC} = V_f / V_i \quad (5)$$

$$\text{FS} = (V_i - V_o) / V_i \quad (6)$$

점도 특성: 시료 그대로 또는 시료에 0.1-0.5%의 안정제(CMC)를 혼합하고, 증류수에 현탁시켜 1-3% 현탁액으로 하였다. 60°C에서 가온하고, 다시 30°C로 냉각하여 회전점도계(Brookfield DV-II+, Brookfield Eng. Labs Inc., Stoughton, MA, USA)를 사용하여 spindle No. 1로 점도를 측정하였다.

결과 및 고찰

알로에 섬유질의 성분특성

알로에 유세포 조직의 겔 부위를 원심분리하여 섬유질 분획을 약 10 wt%의 수율로 얻었다. 이를 동결건조(건조수율 8%)하고 분말화 한 시료(100 mesh)에 대해 일반성분 및 식이섬유 함량을 조사하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

알로에 섬유질의 수분함량은 1.13±0.03%이었으며, 나머지 성분은 공제 탄수화물의 함량이 89.25±0.04%로 가장 높았고, 다음으로 회분과 조단백질 함량이 각각 5.38±0.10 및 3.93±0.05%로 높았으며, 지방함량은 0.31±0.02%에 불과하였다.

전체 탄수화물 함량 89.25% 중에서 총 식이섬유(TDF)가

Table 1. Proximate composition of aloe fiber fraction.

	Composition (%)
Moisture	1.13±0.03
Crude protein	3.93±0.05
Crude fat	0.31±0.02
Total ash	5.38±0.10
Carbohydrate*	89.25±0.04
Non-dietary fiber	1.76±0.05
Insoluble fiber	67.90±1.04
Soluble fiber	19.59±0.13

Values are mean±standard deviation (n=3).

* Carbohydrate by difference.

차지하는 양은 87.49%로 98%가 기대했던 대로 식이섬유 이었다. 이러한 값은 곡류의 가공부산물로서 가장 높은 것의 하나인 corn bran의 59.02%(Schneeman, 1989), 두류가 공부산물인 비지의 59.0%(Cho & Lee, 1996)나 초콜릿 가공부산물인 카카오콩의 껍질인 cacao bean husk의 ~54.10%(Lee et al., 2001), 채소류 가공부산물인 당근껍질의 ~73.32% (Chantaroa et al., 2008), 느타리속의 버섯(줄기)의 ~64.8%(Synytsya et al., 2008)보다도 높은 값이었으며 바나나 껍질(wet milling)의 87.77%(Wachirasiri et al., 2009)나 버섯 균핵의 81.7-96.3%(Wong & Cheung, 2005)와 비슷한 함량을 나타내었다. 따라서 알로에 겔 가공 중 폐기되고 있는 섬유질 분획의 TDF 값은 가장 높은 값 범위에 속함을 알 수 있으며, TDF 함량이 44-89%에 속하는 것은 높은 식이섬유소재라고 한 Betancur-Ancona et al.(2004)의 보고에 의하면 고식이섬유 소재로서의 가능성이 충분하다고 생각되었다.

한편, 총 식이섬유 중 불용성 식이섬유(IDF)는 67.90±1.04%로 전체의 77.6%이었고, 수용성 식이섬유는 19.59±0.13로 22.4%를 차지하였으며, 불용성과 수용성의 비는 약 3.5:1이었다. 이 값은 Jenkins et al.(1988)이 보고한 생리효과를 얻기 위해서 권장되는 IDF/SDF 비(3:1)와 비슷하다. 그러나 Spiller(1986)가 보고한 IDF/SDF의 권장비율(1.0-2.3:1)보다는 다소 높은 값 범위이었다. 대체로 과일류는 1.4-2.4:1, 곡류는 0.24-3.6:1, 채소류는 0.53-9.1:1, 두류는 1.2-7.1:1 범위이다(Saura-Calixto et al., 2000). 반면, 잔사물인 경우는 이 보다 더 높아서 과일 및 야채류의 주스나 통조림 가공부산물의 경우, 사과 3.3, 복숭아 2.7, 아스파라거스 3.7, 땅콩지 3.1, 밀기울 14.15, 오토 bran 5.62로 보고되었다(Grigelmo-Miguel & Martin-Belloso, 1999).

한편, 본 시료의 회분함량은 5.38±0.10%로 식이섬유 다음으로 높았는데, 이는 식이섬유의 mineral과의 친화력이나 결합 때문인 것으로 보인다. 일반적으로 산성 다당이나 cellulose와 같은 정제 식이섬유는 이온교환능에 의해 1가

또는 2가 이온과 결합한다고 보고되었다(Kay, 1982; Harland, 1989).

알로에 섬유질의 FT-IR 특성 및 결정구조

알로에 섬유질은 성분분석 결과에 따라 식이섬유인 것으로 나타났는데, 통상 식이섬유는 다당과 리그닌으로 나뉘며, 다시 다당은 cellulose와 non-cellulose 다당으로 나뉜다(Kay, 1982),

알로에 섬유질 분획의 FT-IR 특성을 조사한 결과, Fig. 1에서 보는 바와 같이, poly O-H, C-H, C=O 및 β-글루코시드 결합의 cellulose나 β-glucan의 특성적 흡수밴드를 보여 전형적인 다당의 IR 흡수 특성을 나타내었다(Petrovska et al., 2001). 따라서 알로에의 섬유질 분획은 리그닌이 아닌 다당인 것으로 생각되었고, 불용성 식이섬유가 주이었으므로 cellulose일 가능성이 높았다.

이를 보다 더 명확히 확인하기 위해 이의 결정구조를 X-선 회절에 의해 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다. 일반적으로 2θ=10-40° 범위에서 결정성분에 유래하는 peak는 7개인데, 이 중 천연 셀룰로오스에 특징적인 것은 4개(2θ ≃ 15, 17, 22, 34)이며, 2θ=22°부근에 나타나는 회절은 셀룰로오스 섬유표면의 석출에 기인한다고 알려지고 있다(Wada et al., 1994). 그림에서 보는 바와 같이, aloe fiber에 대한 회절 peak의 2θ는 15.0, 21.6, 24.8 및 26.2로 cellulose III 및 IV의 회절양상을 나타내었다.

통상, 천연 셀룰로오스 결정은 평행하고 sheet(병풍)간 수소결합이 없는 셀룰로오스 사슬을 갖는 준안정상태의 cellulose I로 구성된다. 이 셀룰로오스는 그의 출처에 따라 그

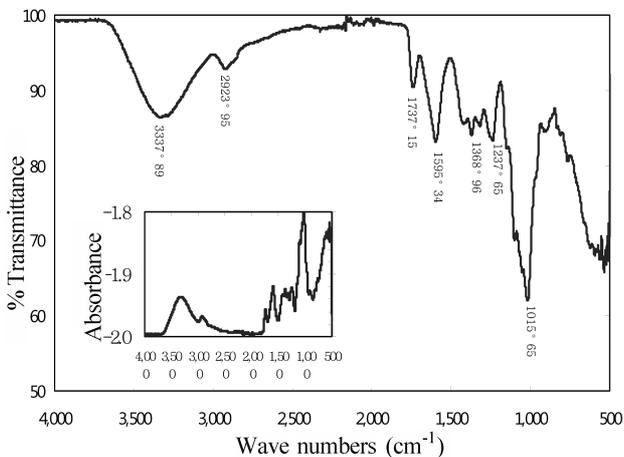


Fig. 1. FT-IR spectrum of aloe dietary fiber.

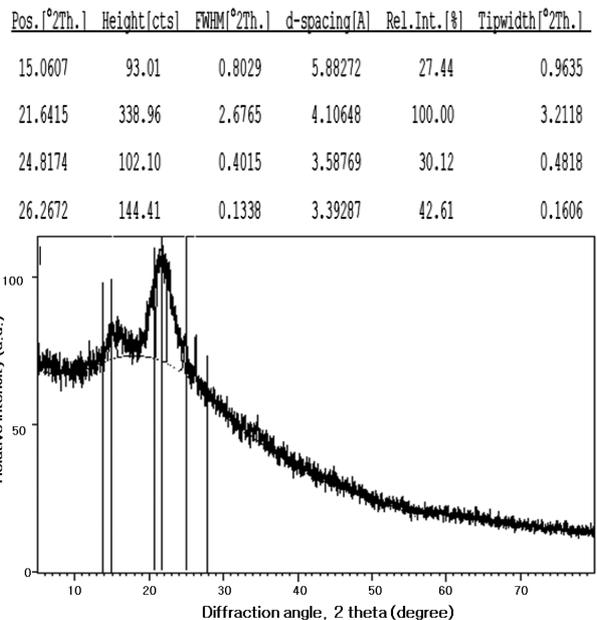


Fig. 2. X-ray diffraction diagram and peak list of X-ray diffraction pattern from aloe dietary fiber.

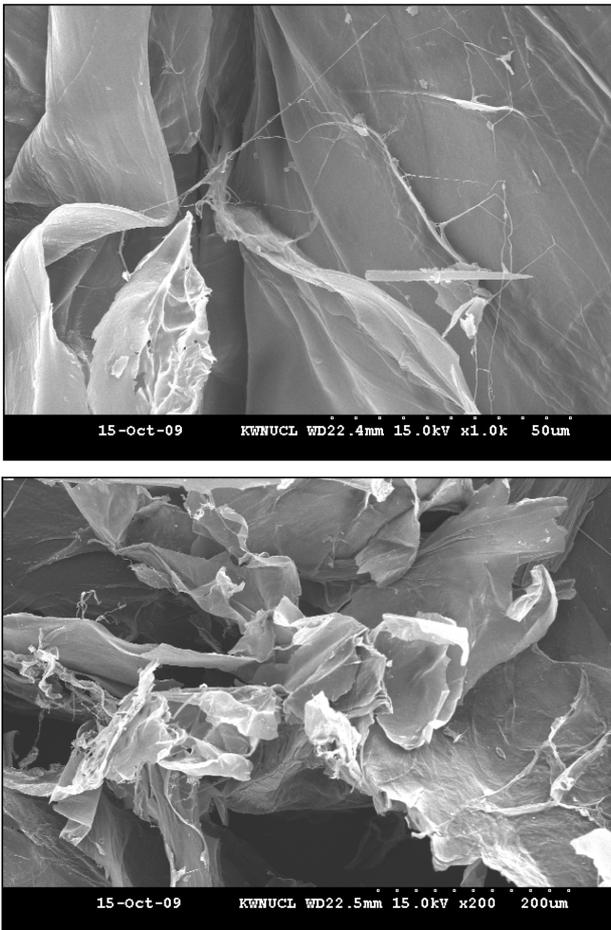


Fig. 3. Scanning electron microscopic view of aloe dietary fiber.

비율이 변하는 cellulose I α (triclinic)와 cellulose I β (monoclinic)의 두 가지 공존상을 포함하는데, 이 cellulose I α 와 cellulose I β 는 미세섬유 형성 중 bending에 의해 상호교환되며, 준 안정성의 cellulose I α 는 cellulose I β 로 전환된다. 한편, cellulose II는 cellulose I의 mercerization에 의해 재결정화될 때 열역학적으로 더욱 안정한 구조로 얻게 되며, cellulose III 및 IV는 cellulose I 및 II로부터 각각 액상 암모니아의 처리 및 glycerol의 가열에 의해서 얻어지는 것으로 보고되었다 (Marchessault & Sundararajan, 1983).

Aloe fiber의 표면구조

Aloe fiber의 표면구조를 주사형 전자현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 3과 같다. 200배 및 1,000배 배율로 관찰하였을 때 biocellulose와 같은 미세섬유상의 구조나 α -cellulose의 겔 유사구조는 관찰되지 않았다. Lee et al.(2005)은 biocellulose의 경우 섬유상구조를 가지나 α -cellulose는 무정형의 겔 유사구조를 갖는다고 하였다. 특히, 10,000배 이상으로 관찰한 결과, biocellulose는 α -cellulose와는 달리 표면에 불규칙한 많은 다공성을 갖는 모자이크 유사구조를 나타냄을 관찰할 수 있었다고 하였다. 하지만 biocellulose

의 경우, 표면구조는 서로 다른 배양계에 따라 정치배양에서는 공기/액체 계면에서는 세균 셀룰로오스의 젤라틴성막이 형성되는 반면, 교반배양에서는 높은 전단력에 기인하여 섬유형태가 얻어지는 것으로 보고되었다(Chao et al., 2000, 2001).

일반적으로, Svensson et al.(2005)은 biocellulose를 인산화 및 sulfation하면 native biocellulose의 미세섬유구조는 치밀(compaction)한 구조를 갖게 되며 sulfation의 경우 더욱 치밀하고 평편(flat)한 구조를 갖는다고 하였다. 이는 황산기와 공유결합에 의해 결정성응집에 참여하는 OH기 이용성의 감소에 기인하거나, 미세섬유(microfibril)의 bundle화로 macrofibril화하고 리본형태로 변하는 것에 기인한다고 보고되었다(Svensson et al., 2005; Surma-Slusarska et al., 2008). 알로에 셀룰로오스는 이러한 유산화한 biocellulose와 유사한 구조를 나타내었으며, 결정성의 정도가 더 낮은 것으로 예측되었다. 하지만 알로에의 경우는 인산화나 유산화보다는 FT-IR에서 1,740 및 1,240 cm^{-1} 의 흡수 band로부터 acetylation과 관계되는 것으로 보이며, 추가검토가 필요한 것으로 생각되었다.

보수력(WHC), 보유능(OAC) 및 팽윤력(SW)

식이섬유원의 수분흡착력과 같은 수화특성은 소화흡수속도의 저하, 변의 부피와 무게 증가, 식품의 점증효과, 혈청 triglyceride를 낮추는 기전과 관련이 있는 것으로 잘 알려져 있다(Gallaher & Schneeman, 2001). 따라서 식이섬유의 보수력은 생리기능의 지표로서 중요한 의미를 가진다고 볼 수 있으므로 aloe fiber의 보수력을 α -cellulose와 비교하면서 보수력을 측정하였고, 그 결과는 Table 2와 같다.

Aloe fiber 및 α -cellulose의 보수력은 각각 6.40 ± 0.19 및 4.43 ± 0.13 g water retained/g solid으로 시판 α -cellulose 식이섬유보다 1.4배 더 우수한 것으로 나타났다. 또, 이러한 결과는 비교적 높은 값 범위의 보수력으로, Ang(1991)은 셀룰로오스의 경우 입자크기가 작을수록 보수성이 증가하여 섬유길이에 따라 4-10배를 유지한다고 보고하였는데, α -cellulose의 보수력은 이와 비교적 잘 일치하는 값 범위였고, 시판용 펙틴과 비슷하였다. 반면, 알로에 식이섬유는 약 6.4배의 물을 흡착하므로 셀룰로오스나 리그닌의 보수력이 낮다는 점과, 식이섬유의 통상 물 흡착력이 약 4배 임을 고려할 때(Cadden, 1987), 비교적 높은 물을 흡수하

Table 2. SW, WHC and FAC of aloe dietary fiber

	SW (mL/g)	WHC (g water/g solid)	FAC (g oil/g solid)
Aloe fiber	27.33 ± 0.76^a	6.40 ± 0.19^a	10.32 ± 0.29^a
α -cellulose	8.33 ± 0.29^b	4.43 ± 0.13^b	4.92 ± 0.08^b

^{a,b} Different letters in the same column indicate the significant differences ($p < 0.05$).

는 특징을 갖는다고 판단하였다. 셀룰로오스의 경우는 높은 결정성을 가지면 직접적인 수소결합에 의해 물의 결합이 적어지므로 알로에의 셀룰로오스는 결정성이 낮은 것으로 생각되며 표면구조에서의 결과와 잘 부합된다.

또한, aloe fiber 및 α -cellulose의 보유능을 비교한 결과는 역시 Table 2에서 보는 바와 같이, 보유능은 각각 10.32 ± 0.29 및 4.92 ± 0.08 g oil retained/g solid로, 보유능이 보수력에 비하여 상대적으로 높게 나타났으며, aloe fiber가 시판 α -cellulose보다 보유능이 약 2배 높은 값을 나타내었다. 일반적으로 보유능은 보수력에 비하여 상대적으로 낮게 나타나며, 그 범위는 30~80%로 알려지고 있는데(Lee et al., 2005), 분말 셀룰로오스의 경우 Ang(1991)은 보유력이 약 2.5-8.5배라 하였다. 통상 불용성 식이섬유는 오일에서 자체중량의 5배까지 보유하므로(Thebaudin et al., 1997), 알로에 식이섬유는 높은 보유력을 가지며, 보유력이 보수능보다 큰 특징을 보였다. 높은 보유능은 조리 중 소실되는 지방의 보유를 증가시키며, 고지방 식품에 대해 유화제로서의 사용이 가능한 것으로 알려지고 있다(Wachirasiri et al., 2009; Thebaudin et al., 1997).

한편, 팽윤력(SW)은 알로에 건조 제품에서 보수능 및 보유능과 같은 수화 관련 성질의 기능성으로 중요한 성질로 그 값이 클수록 탈수 중 물리화학적 변화가 적고, 건조 손상이 적은 것으로 알려져 있다(Femenia et al., 2003; Simal et al., 2000). 알로에 식이섬유의 팽윤력은 27.33 ± 0.76 mL/g으로 α -cellulose(8.33 ± 0.29 mL/g)보다 약 3.3배 높은 특징을 보였다. 일반적으로 전분의 경우 팽윤력은 전분입자내의 강한 미셀(micelle)구조를 갖는 경우가 제한을 받게 되며, 결합력이 약한 것을 의미한다(Elliason, 1980). 따라서 알로에 식이섬유는 α -cellulose보다 결합력이 약한 것으로 생각되었으며, 이에 따라 물의 흡수능(보수능)이 더 높아지게 되므로 알로에 식이섬유가 α -cellulose보다 더 높은 보수력을 나타낸 결과와 잘 일치한다.

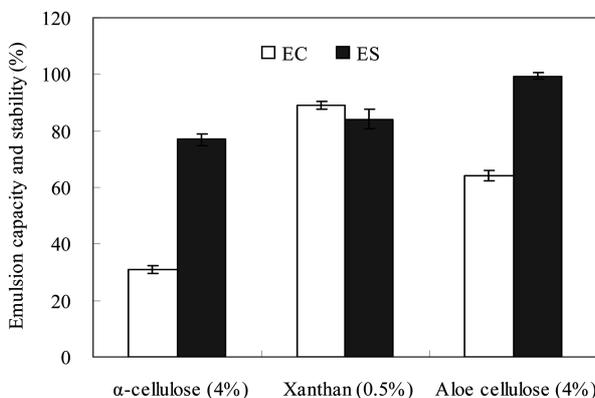


Fig. 4. Emulsion capacity (EC) and stability (ES) of aloe dietary fiber.

유화능 및 안정성(Emulsifying capacity and stability)

O/W 유화액은 oil/water 계면에서 계면활성제 또는 유화제에 의해 안정화된 물 속에 지방방울이 부유된 현탁액으로, 유화능 및 유화안정성은 배합식품에서 사용할 경우 식이섬유의 중요 기능성 성질의 하나이다. 따라서 유화 안정제로 널리 사용되는 0.5% xanthan gum을 비교구로 하여 알로에 셀룰로오스(4%)의 유화능 및 유화 안정성을 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 4와 같다.

알로에 식이섬유의 유화능은 약 $64.17 \pm 1.91\%$ 로 xanthan gum($89.17 \pm 1.44\%$) 보다는 낮았으나 α -cellulose 보다는 약 2배나 높았다. 이 값은 비지, 밀집, 쌀겨, 옥수수속대 등의 농산부산물 유래 섬유질의 유화능(47.02 - 58.79%)보다 다소 높았다(Kuan & Liang, 2008). 통상, 50%이상이면 유화능이 양호한 것으로 판단하므로(Wong & Cheung, 2005) 알로에 셀룰로오스의 유화능은 양호한 것으로 생각되었다. 또, 유화안정능에서는 알로에 셀룰로오스가 $99.35 \pm 113\%$ 로 α -cellulose($77.03 \pm 2.09\%$)보다 높았으며, 대표적인 우수 안정제로 알려진 xanthan gum($84.07 \pm 3.53\%$) 보다는 높아서 매우 탁월한 우수한 유화안정성을 보였다. Xanthan gum의 높은 유화안정성은 높은 항복응력 및 정지상태 하에서의 응집력에 기인하는 것으로 밝혀졌는데, 일반적으로 다당과 같은 고분자 물질은 물과 기름의 분산매속에서 녹아 점도를 높임으로써 크리미ंग을 방지하거나 점성 및 탄성이 강한 흡착층을 만들어 기름입자간의 합일을 방지하여 유화안정성을 높인다고 보고되었다(Hennock et al., 1984).

따라서 이러한 양호한 유화능 및 탁월한 안정성에 기인하여 본 시료는 지방질 식품 등의 배합식품에서 우수한 유화작용이 기대되며, 여러 응용이 가능할 것으로 생각된다.

거품 형성능과 안정성(Foaming capacity and stability)

단백질 용액의 거품은 많은 식품응용에서 바람직하며, 이 때 높은 거품형성능과 거품안정성은 케이크, 빵, whipped topping, 아이스크림, 디저트에서 요구된다(Dickinson, 1989). 본 식이섬유의 이러한 식품에서의 용도 적성을 살펴보기 위해 알로에 cellulose 및 α -cellulose의 거품형성능과 거품안정성을 비교하면서 조사하였으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

2%(w/v)의 농도에서 알로에 셀룰로오스 및 α -cellulose는 1.271 ± 0.012 및 1.46 ± 0.028 mL/mL로 대조구(1.2 ± 0.046)에 비해 각각 106% 및 121%의 거품형성능을 나타내었다. 또 첨가농도가 1 및 0.5%로 낮아질수록 알로에 셀룰로오스의 거품형성능은 각각 대조구보다 137 및 167%로 증가하였다. 이들 값은 대응하는 농도의 α -cellulose보다는 다소 낮았지만 대체로 우수한 거품형성능을 나타내는 것으로 알려진 2% 버섯분말(101.8 - 131.5%)보다도 높은 값을 나타내었다(Mo et al., 2009).

한편, 거품안정성의 경우는 거품생성능과는 달리 농도증

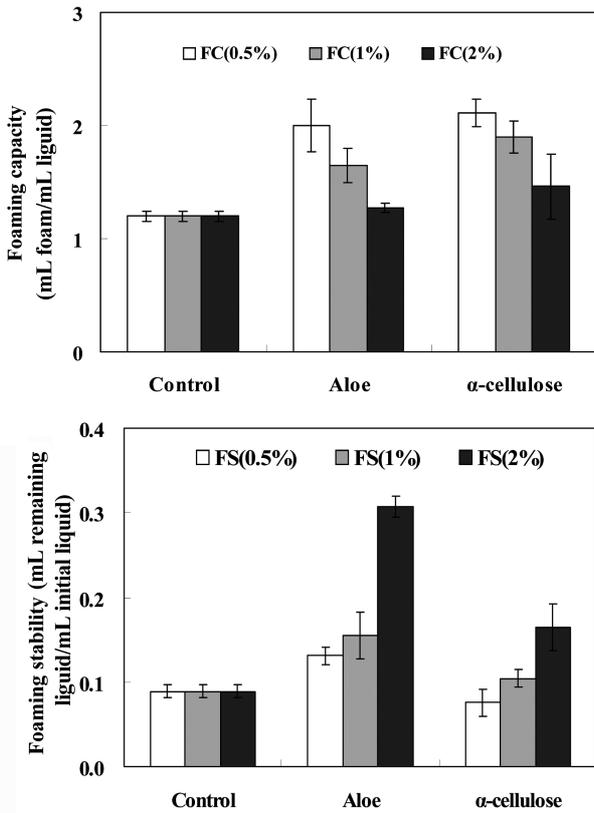


Fig. 5. Foaming capacity (FC) and stability (FS) of aloe dietary fiber.

가에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 최대값을 보인 2% 첨가 알로에 셀룰로오스는 대조구보다 약 3배의 거품안정성을 향상시켰으며, α-cellulose보다도 약 2배나 높았다. 이상의 거품 및 유화 성질은 냉동 및 특수 케이크 제품에서 매우 중요한 역할을 하므로(Mo et al., 2009; Dickinson, 1989), 이들 자료들은 제품개발 및 식품가공의 기본정보로서 활용될 수 있을 것이다. 아울러, 이들 기능성의 특성화를 통해 적정제품으로의 이들 이용을 안내하거나 최대화할 수 있을 것으로 생각된다.

점도 특성

점성 및 겔 형성능을 갖는 식이섬유는 소화관 내용물의 점도를 높여줌으로써 내용물의 소화관 이동속도 및 흡수에 대해 영향을 주며, 소장 내용물의 점도에 대한 영향은 식이섬유의 종류에 따라 다른 것으로 알려지고 있다(Ebihara & Kiriya, 1990). 따라서 알로에 cellulose와 α-cellulose의 점도를 3-100 rpm에서 회전점도계를 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 6과 같다. Cellulose 자체만으로는 물에의 분산능을 나타내지 못하였으므로 안정제(0.3% CMC) 용액 중의 1.5%(w/v) 분산액의 유동거동을 조사하였는데, CMC를 함유한 0.5-1.5%(w/v) 알로에 cellulose와 α-cellulose의 점도는 모두 점도계의 회전속도(rpm)의 증가에 따라 급격히

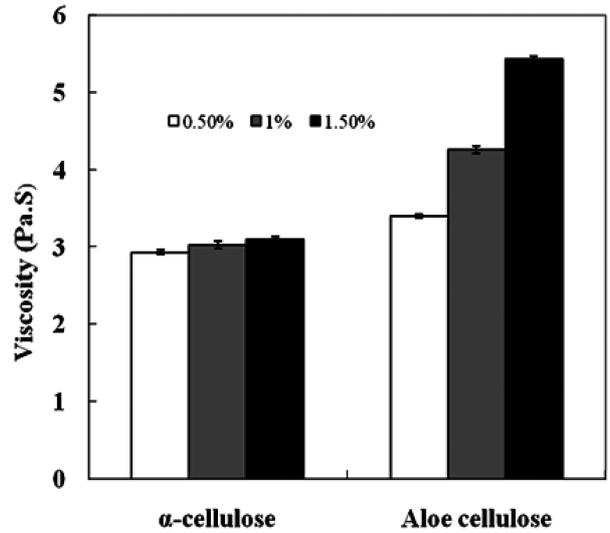


Fig. 6. Apparent viscosity vs. viscometer speed plot of α-cellulose and aloe cellulose.

감소하여 의가소성 성질을 나타내었다.

농도가 높아질수록 대응하는 전단속도에서 알로에 식이섬유는 더 높은 점도를 나타내었으므로 Fig. 7에서 보는

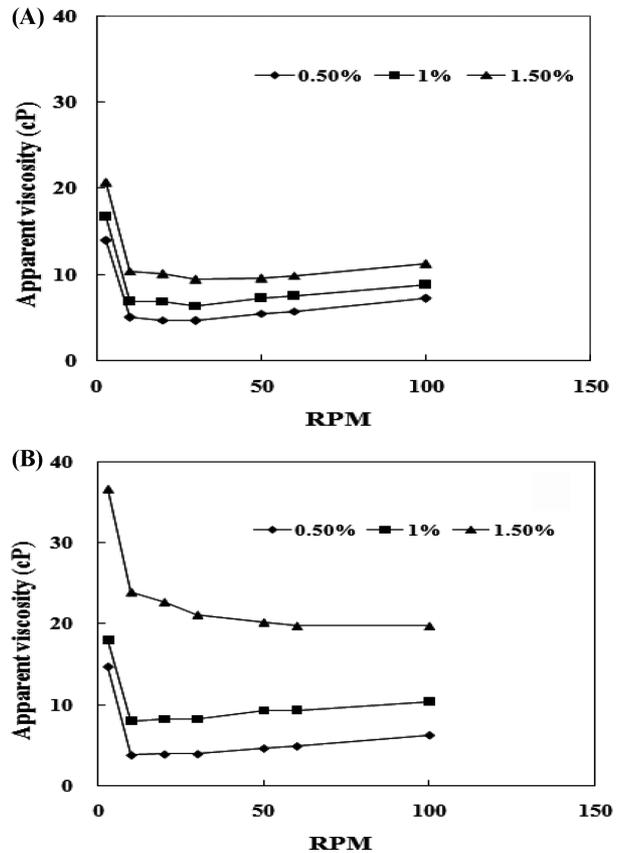


Fig. 7. Effect of concentration on the viscosity of aloe dietary fiber dispersion with 60 rpm of Brookfield viscometer.

바와 같이, 회전속도 60 rpm에서의 점도값을 비교하여 살펴보았다. 그 결과, 0.5-1.5%(w/v)의 알로에 cellulose의 점도는 0.5%에서는 α -cellulose와 점도와 비슷한 반면, 이 보다 농도가 증가하게 되면 α -cellulose와는 달리 농도 의존성의 점도증가 현상을 보였다. 특히, 알로에 cellulose는 농도에 따른 점도의 증가 현상이 현저하여 1.5% 농도에서 0.5%보다 약 1.8배의 점도 증가를 보였고, 양호한 분산능을 보였다.

이와 같이 알로에 cellulose가 1.5%(w/v) 농도 이상에서 안정제(CMC)와의 조합에 의해 점도증가 효과 및 양호한 분산능을 나타내는 것은 불용성 식이섬유에서 드물게 관찰되는 현상이다. 따라서 차후 양호한 분산능을 갖는 점증제로서의 새로운 용도에 대한 추가 검토의 필요성도 충분하다고 판단하였다.

결 론

알로에 베라의 가공 중 부산물인 알로에 섬유질을 동결 건조 분말제품을 시료로 이의 성분특성, 결정 및 표면구조 특성을 알아본 다음, 수분 및 오일 흡수능, 거품능과 안정성, 유화능과 안정성, 점도특성과 같은 물성 기능을 표준시료(α -cellulose)와 비교하면서 탐색, 조사하였으며, 이를 통하여 새로운 식이섬유 소재로서의 기능성을 탐색, 검토하였다. 섬유질 분획의 총 식이섬유 함량은 87.5%이었으며, 불용성 및 수용성 비율은 각각 77.6 및 22.4%이었다. FT-IR은 전형적인 다당의 특성을 보였으며, X-선 회절양상의 분석결과 cellulose의 회절양상을 보이는 식이섬유이었다. 이의 팽윤력, 보수력 및 지방 흡수능은 시판 α -cellulose 식이섬유의 약 3.3, 1.4 및 2배나 높은 우수한 특성을 보였다. 또 거품형성능을 나타내지 않았으며, α -cellulose보다 약 3배의 거품안정성을 향상시켰다. 유화능도 α -cellulose보다 약 2배, 유화 안정능에서도 1.2배 이상이나 높았다. 0.3% CMC 함유 용액은 매우 우수한 분산능을 가지며, 이 알로에 식이섬유 분산액은 1% 이상의 농도에서 α -cellulose 보다 높은 농도 의존성 및 의가소성의 점도 특성을 나타내어 새로운 식이섬유 소재로서의 물성기능을 갖는 것으로 판단되었다.

참고문헌

Agarwala OM. 1997. Whole leaf Aloe gel vs. standard Aloe gel. Drug Com. Ind. 160: 22-24.
 Ang JF. 1991. Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose. J. Food Sci. 56: 1682-1684.
 AOAC, 1995. Official Methods of Analysis, 16th (ed.), Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, USA.
 Betancur-Ancona D, Peraza-Mercado G, Moguel-Ordóñez Y, Fuertes- Blancob S. 2004. Physicochemical characterization of

lima bean (*Phaseolus lunatus*) and jack bean (*Canavalia ensiformis*) fibrous residues. Food Chem. 84: 287-295.
 Cadden AM. 1987. Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. J. Food Sci. 52: 1595-1599.
 Chakraborty P. Coconut protein isolate by ultrafiltration. In: Food Engineering and Process Applications. LeMeguer M, Jelen P (ed). Elsevier Applied Science Publishers, New York, USA, pp. 308-315.
 Chantaroa P, Devahastina S, Chiewchan N. 2008. Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. LWT-Food Sci. Technol. 41: 1987-1994.
 Chao YP, Ishida T, Sugano Y, Shoda M. 2000. Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* in a 50-L internal-loop airlift reactor. Biotechnol. Bioeng. 68: 345-352.
 Chao, YP, Sugano Y, Shoda M. 2001. Bacterial cellulose production under oxygen-enriched air at different fructose concentrations in a 50-L internal loop airlift reactor. Appl. Microbiol. Biotechnol. 55: 673-679.
 Cho MK, Lee WJ. 1996. Preparation of high-fiber bread with soybean curd residue and makkoli (rice wine) residue. Korean J. Food Sci. Nutr. 25: 632-636.
 Dickinson E. 1989. Protein adsorption at liquid interfaces and the relationship to foam stability. In: Foams: Physics, Chemistry and Structure. Wilson AJ (ed). Springer-Verlag, London, UK, pp. 39-54.
 Djilas S, Canadanovic-Brunet J, Cetkovic G. 2009. By-products of fruits processing as a source of phytochemicals. CI & CEQ 15: 191-202.
 Ebihara, K, Kiriya S. 1990. Physico-chemical property and physiological function of dietary fiber. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 37: 916-933.
 Elliason AC. 1980. Effect of water content on the gelatinization of wheat starch. Starch 32: 270-272.
 FDA. 1987. Nutrition labeling of food; caloric content. Federal Register 52: 286-290.
 Femenia A., Garcia-Pascual P, Simal S, and Rossello C. Effects of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. Carbohydr. Polym. 51: 397-405,
 Fernandez-Bolanos J, Rodriguez G, Rodriguez R, Guillen R, Jimenez A. 2006. Extraction of interesting organic compounds from olive oil waste. Grasas Aceites (Sevilla) 57: 95-106.
 Gallaher D, Schneeman BO. 2001. Dietary fiber. In: Present Knowledge in Nutrition 8th ed. Bowman B, Russel R (ed). ILSI, Washington, DC, USA, p. 805.
 Grimelmo-Miguel N, Martin-Belloso O. 1999. Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens and from cereals. Lebensm-Wiss. Technol. 32: 503-508.
 Grindlay D, Reynolds T. 1986. The Aloe vera phenomenon. A review of the properties and modern uses of the leaf parenchyma gel. J. Ethnopharmacol. 16: 117-151.
 Harland BF. 1989. Dietary fibre and mineral bioavailability. Nutr. Res. Rev. 2: 133-147.
 Hennock M, Rahalkar RR, Richmond P. 1984. Effect of xanthan gum upon the rheology and stability of oil-water emulsions. J. Food Sci. 49: 1271-1274.
 Jenkins DJA, Kendall CWC, Ransom TPP. 1998. Dietary fiber,

- the evolution of the human diet and coronary heart disease. *Nutr. Res.* 18: 633-652.
- Kay RM, Truswell, AS. 1977. Effect of citrus pectin on blood lipids and fecal steroid excretion in man. *Am. J. Clin. Nutr.* 30: 171-174.
- Kim SK, Mendis E. 2006. Bioactive compounds from marine processing byproducts. A review. *Food Res. Int.* 39: 383-393.
- Kay RM. 1982. Diet fiber. *J. Lipid Res.* 23: 221-242.
- Kuan YH, Liang MT. 2008. Chemical and physicochemical characterization of agrowaste fibrous materials and residues. *J. Agric. Food Chem.* 56: 9252-9257.
- Lee JS, Kwon IB, Lee SY. 2001. Chemical composition of dietary fiber in cacao and its change through L-BTC process. *Food Eng. Prog.* 5: 145-150.
- Lee SY, Jeon JR, Yang YK. 2005. Characteristics of the physical function of biocellulose from *Acetobacter xylinum*. *Food Eng. Prog.* 9: 182-191.
- Marchessault RH, Sundararajan PR. 1983. Cellulose. In: *The Polysaccharides Vol. 2.* Aspinall GO (ed). Academic Press, New York, USA, pp. 12-95.
- Mitchell JR. 1986. Foaming and emulsifying properties of proteins. In: *Development in Food Proteins-4.* Hudson BJB (ed). Elsevier Applied Science Publisher. New York, USA, pp. 326-330.
- Mo A, Basu SK, Gyar SD, Goyal A, Bhowmik PK, Datta Banik S. 2009. Proximate composition and functional properties of mushroom flours from *Ganoderma* spp., *Omphalotus olearius* (DC.) Sing. and *Hebeloma mesophaeum* (Pers.) Qul. Used in Nasarawa state, Nigeria. *Mal. J. Nutr.* 15: 233-241.
- Nagatsu A. 2004. Investigation of antioxidative compounds from oil plant seed. *FABAD J. Pharm. Sci.* 29: 203-210.
- Nawirska A, Kwasniewska M. 2005. Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chem.* 91: 221-225.
- Paton D. 1981. Method for water hydration capacity of plant protein material. *CFW* 26: 291-293.
- Petrovska BB, Jordamoski B, Kulevanova VS, Kulevanova S. 2001. Investigation of dietary fibre in some edible mushrooms from Macedonia. *Nutr. Food Sci.* 31: 242-246.
- Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, Devries JW, Furda I. 1988. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory study. *JAOAC.* 71: 1017-1023.
- Reynolds T, Dweck AC. 1999. Aloe vera leaf gel: a review update. *J. Ethnopharmacol.* 68: 3-37.
- Saura-Calixto F, García-Alonso A, Goni I, Bravo L. 2000. *In vitro* determination of the indigestible fraction in foods: An alternative to dietary fiber analysis. *J. Agric. Food Chem.* 48: 3342-347.
- Schieber A, Stintzing FC, Carle R. 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds-recent developments. *Trends Food Sci. Technol.* 12: 401-413.
- Schneeman BO. 1989. Dietary fiber. *Food Technol.* 43: 133-139.
- Simal S, Femenia A, Llull P, Rosello C. 2000. Dehydration of aloe vera: simulation of drying curves and evaluation of functional properties. *J. Food Eng.* 43: 109-114.
- Spiller GA. 1986. *Handbook of dietary fibre in human nutrition.* CRC Press, Florida, USA, pp. 175-186.
- Surma-lusarska B, Presler S, Danielewicz D. 2008. Characteristics of bacterial cellulose obtained from *Acetobacter xylinum* culture for application in paper making. *Fibers Text East Eur.* 16: 108-111.
- Svensson A, Nicklasson E, Harrah T, Panilatis B, Kaplan DL, Brittberg M, Gatenholm P. 2005. Bacterial cellulose as a potential scaffold for tissue engineering of cartilage. *Biomaterials* 26: 419-431.
- Synytysa A, Mickova K, Jablonsky I, Slukova M, Copikova J. 2009. Mushrooms of genus *Pleurotus* as a source of dietary fibres and glucans for food supplements. *Czech. J. Food Sci.* 26: 441-446.
- Thebaudin JY, Lefebvre AC, Harrington M, Bourgeois CM. 1997. Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends Food Sci. Technol.* 8: 41-48.
- Wada M, Okano T, Sugiyama J. 1994. Two crystalline phase (I_{α} / I_{β}) system of native cellulose. In: *Proceedings of '94 Cellulose R&D, 1st Annual Meeting of the Cellulose Society of Japan.* April 8-9. Tokyo, Japan, pp. 1-6.
- Wachirasiri P, Julakarangka S, Wanlapa, S. 2009. The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fibre concentrate. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 31: 1-7.
- Wong KH, Cheung PCK. 2005. Dietary fibers from mushroom sclerotia: 1. Preparation and physicochemical and functional properties. *J. Agric. Food Chem.* 53: 9395-9400.
- Yasumatsu K, Sawada K, Moritaka S, Toda S, Ishii K. 1972. Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agric. Biol. Chem.* 36: 719-727.
- The International Aloe Science Council. 2008. <http://www.iasc.org>.