

Research Note

말토덱스트린 또는 사이클로덱스트린을 이용한 미세캡슐화공정이 옥수수 수염 추출물의 수분흡습과 생리활성에 미치는 영향

이인경 · 임지은 · 김선림¹ · 강현중¹ · 김우경² · 김명환*

단국대학교 식품공학과, ¹국립식량과학원 중부작물부, ²단국대학교 식품영양학과

Effects of Microencapsulation Using Maltodextrin and/or Cyclodextrin on Water Absorption and Bioactivity of Corn Silk Extract

In Gyeong Lee, Ji Eun Lim, Sun Lim Kim¹, Hyeon Jung Kang¹,
Woo Kyoung Kim², and Myung Hwan Kim*

Department of Food Engineering, Dankook University

¹*Crop Foundation Division National Institute of Crop Science*

²*Department of Food Science & Nutrition, Dankook University*

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effects of microencapsulation on the water absorption, DPPH radical scavenging activity (DRSA), hydroxyl radical scavenging activity (HRSA) and tyrosinase inhibition activity (TIA) in corn silk extracts. The lowest value (0.20) of water absorption index (WAI) and the highest value (95.23%) of water solubility index (WSI) were maltodextrin+cyclodextrin microencapsulated corn silk extracts (MD+CD) and cyclodextrin encapsulated corn silk extracts (CD), respectively. The 18.60% for DRSA value of control was increased to 89.25% for that of CD. The 16.89% for HRSA value of control was increased to 47.46%, and 7.16% for TIA value of control was increased to 39.35% for that of MD+CD, respectively. The MD+CD would be used for functional food and cosmetics materials as antioxidant and skin whitening agents. All investigated responses between control and treatment were statistically significant ($p < 0.05$).

Key words: corn silk extract, microencapsulation, water absorption, bioactivity

서 론

옥수수(*Zea mays* L.)의 열매를 싸고 있는 부분으로 옥수수 수염에는 탄수화물, 단백질, 비타민, 칼슘, 포타슘, 마그네슘, 소디움염, 휘발성 기름, 스테로이드, 알칼로이드, 플라보노이드 등 다양한 성분들이 함유되어 있다(Ebrahimzadeh et al., 2008). 약리작용으로는 항산화 작용(Chen et al., 2014), 혈당강하 작용(Guo et al., 2009), 항암작용(Yang et al., 2014), 면역강화 작용(Kim et al., 2004), 피로회복 작용(Hu et al., 2010), 비만억제 작용(Chaiittianan et al., 2016), 항진균 작용(Chen et al., 2014), 신경보호 작용(Choi et al., 2014) 등이 보고되고 있다.

미세캡슐화(microencapsulation) 기술은 특정 환경조건하에

서 일정속도로 방출하여 핵물질(core material)이 가지고 있는 기능성 또는 생리작용을 크게 향상시킬 수 있다(Champagne & Fulst, 2007). 식품산업에서의 미세캡슐화 기술은 외부환경으로부터 핵물질의 고유 기능성 유지, 산화방지 및 보존성향상, 이취차단 등의 목적으로 사용되고 있으며 핵물질로 색소(Betz & Kulozik, 2011), 항산화 물질(Nesterenko et al., 2012), 산(Shi et al., 2007), 효소(Anjani et al., 2007), 향기성분(Krishnan et al., 2005), 비타민(Augustin et al., 2001), 유지(Cha et al., 2007) 등이 이용되고 있다. 피복물질은 기본적으로 피막형성이 우수한 물질을 사용하고 있으며 피복물질로 maltodextrin, modified starch, chitosan, alginate, gelatine, gum arabic 등이 주로 이용되고 있다(Estevinho et al., 2013). 미세캡슐의 중요한 기술들은 emulsification, coacervation, spray drying, spray cooling, spinning disk, liposome entrapment 등이 있다(Estevinho et al., 2013). 미세캡슐화 기술은 식품산업 이외에 화장품, 제약, 의약, 섬유, 방향 산업 등의 화학분야에서도 광범위하게 사용되고 있다(Hong et al., 2002). 국내외적으로 옥수

*Corresponding author: Myung-Hwan Kim, Department of Food Engineering, Dankook University, Chungnam 31116, Korea
Tel: +82-41-550-3563; Fax: +82-41-559-7868
E-mail: kmh1@dankook.ac.kr
Received July 24, 2017; revised August 11, 2017; accepted August 14, 2017

수 수염 추출물에 대한 미세캡슐화 연구가 아직 진행된 바 없다.

따라서 본 연구는 옥수수 수염 추출물을 핵물질로 사용하였으며 피복물질로는 말토덱스트린(maltodextrin), 사이클로덱스트린(cyclodextrin), 말토덱스트린과 사이클로덱스트린을 1:1(w/w)로 혼합한 세 가지 피복물질을 이용하여 hydro-shear homogenizer로 emulsification하여 미세캡슐화하였을 때 기능성 항산화 식품 또는 미백 화장품 소재로써 흡습제어, 항산화 효과(DPPH radical 소거능, hydroxyl radical 소거능) 및 미백 효과(tyrosinase 저해활성)의 증진 정도를 비교 분석하였다.

재료 및 방법

시료

시료는 메이신(maysin)함량이 가장 높은 시기인 출사 후 2-7일 사이에 채취한 미수정(unfertilized) 옥수수 수염으로 농촌진흥청(Jeonju, Korea)으로부터 조달받았다. 강원도 영월산 일반 옥수수 수염의 경우 메이신 함량은 40.79 mg/100g이었으나 미수정 옥수수 수염의 경우 818.69 mg/100g이었다. 피복물질인 maltodextrin과 cyclodextrin은 각각 (주)한국마쯔다니(Seongnam, Korea)와 대상(주)전분당(Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다.

핵물질제조

본 실험실에서 분석한 최적 에탄올 공정으로써 시료 1 g 당 에탄올 30 mL의 조건에서 에탄올 80.45%, 추출온도 53.49°C, 추출시간 4.95 h의 공정으로 플라스크를 이용하여 shaking incubator (HZQ-311, Neuronfit, Seoul, Korea)로 추출하였으며 에탄올 추출한 시료를 동결 건조(SFDSM24L, Samwon Freezing Engineering Co., Seongnam, Korea)하였다. 옥수수 수염 에탄올 추출 동결 건조 시료의 생리활성 물질함량 및 기능성 향상을 위한 효소처리공정으로써 Novozyme사(Bagsvaerd, Denmark) Celluclast 1.5 L FG (700 endoglucanase unit/g) 효소를 이용하였으며 효소농도 0.75%, 반응온도 28.91°C, 반응시간 1.81 h의 조건에서 효소처리를 한 후 동결 건조 과정을 거쳐 분말로 제조한 다음 핵물질로 사용하였다. 에탄올 추출공정과 효소처리공정의 최적화는 중심합성설계법(central composite design)에 의하여 진행되었으며 Design-Expert program을 이용한 다중반응표면 최적화(multi-response surface optimization)에 의하여 각각의 공정조건이 설정되었다.

미세캡슐화공정

앞서의 공정으로 제조된 옥수수 수염 추출물을 핵물질로 사용하였고, 피복물질로는 maltodextrin, cyclodextrin, maltodextrin과 cyclodextrin을 1:1 (w/w)로 혼합한 세 가지 피복

물질을 이용하였다. 미세캡슐 공정은 핵물질에 피복물질과 증류수를 1:4(w/w)로 첨가하여 수화시킨 후 hydro-shear homogenizer (Janke & Kunkel, IKA® Labortechnik, Staufen, Germany)를 이용하여 8,000 rpm에서 30분간 균질화 시켜 제조하였다. 균질화 후 동결건조기(SFDSM24L, Samwon Freezing Engineering Co., Seongnam-si, Korea)로 수분 함량 6%(dry basis)까지 건조한 다음 평균직경 28.84 μm 크기의 분말을 제조하였다.

미세구조

시료의 미세구조는 scanning electron microscope (S-4300, HITACH Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 관찰하였다. SEM ion sputter coater (E1030, HITACH Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 진공상태에서 60초간 gold-palladium으로 10-30 nm의 두께로 코팅한 다음 이를 10.0 kV에서 앞서의 동결건조를 거친 분말시료를 관찰하였다.

입도분포

Particle size analyzer (Mastersizer 2000G, Malvern instrument, Worcester, England)를 이용하였으며 시료를 에탄올을 용매로 사용하여 1분간 초음파처리로 분산시킨 후 시료의 평균 입자크기를 측정하였다.

수분흡수지수 및 수분용해지수

수분흡수지수(water absorption index, WAI) 및 수분용해지수(water solubility index, WSI) 측정은 Phillips et al. (1988)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 0.5 g에 20 mL 증류수를 첨가하여 3,000 rpm에서 20분간 원심분리한 후 침전물로 수분흡수지수를 산출하였으며, 상등액은 미리 무게를 구한 수기에 분리하여 105°C에서 4시간동안 건조시킨 다음 고형분을 이용하여 수분용해지수를 아래의 식에 의하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{Water absorption index (WAI)} \\ &= \frac{\text{Hydrated sample weight (g)} - \text{Dried sample weight (g)}}{\text{Dried sample weight (g)}} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Water solubility index (WSI, \%)} \\ &= \frac{\text{Dried supernatant weight (g)}}{\text{Dried sample weight (g)}} \times 100 \end{aligned} \quad (2)$$

DPPH radical 소거능

항산화능을 측정하기 위하여 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl (DPPH)의 환원에 의한 자유 라디칼 소거능력을 측정하였다 (Sarepoua et al., 2013). 각 시료용액을 각각 0.3 mg씩 2.0 × 10⁻⁴ M DPPH methanol solution 2.5 mL에 첨가하여 최종 반응 액이 2.8 mL가 되도록 하였다. 10초간 진탕하여 상온에서 30분 반응 시킨 후 UV-visible spectrophotometer (UV-

1601, Shimadzu, Tokyo, Japan)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 얻은 결과는 대조구에 대한 소거능력(%)으로 나타내었다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left(1 - \frac{A}{B}\right) \times 100 \quad (3)$$

A: absorbance of sample, B: absorbance of control

Hydroxyl radical 소거능

Hydroxyl radical 소거능은 Halliwell et al. (1987)의 방법에 따라 Fenton 반응에 의한 2-deoxyribose가 hydroxyl radical에 의해 산화되어 malonaldehyde로 변환된 후 chromagen을 형성하는 정도를 측정하는 방법을 이용하였다. 2.8 mM 2-deoxy-D-ribose와 1.4 mM H₂O₂를 함유하는 10 mM potassium phosphate buffer (pH 7.4)를 일정량의 증류수에 녹인 각각의 시료와 premix 된 EDTA/FeCl₂ (100 uM EDTA pH 7.0, 20 uM FeCl₂)를 첨가하여 최종반응 액이 2.0 mL가 되게 한 다음 37°C에서 4 h 동안 반응시켰다. 10% trichloroacetic acid (TCA)로 반응을 중지시키고 1% thiobarbituronic acid (TBA)와 잘 혼합하여 95°C에서 20 분간 반응시킨 후 실온에서 냉각하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였다. 같은 시료로 반응 시간 없이 동일한 과정을 반복하였고 대조구는 시료 대신 증류수를 이용하여 동일한 방법으로 수행하였다. 각 시료에 대한 hydroxyl radical 소거능(%)은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{Hydroxyl radical scavenging activity (\%)} \\ = \left(1 - \frac{A-B}{C-D}\right) \times 100 \end{aligned} \quad (4)$$

A: absorbance of sample (4 h), B: absorbance of sample (0 time), C: absorbance of blank (4 h), D: absorbance of blank (0 time)

Tyrosinase 저해활성

Tyrosinase 저해활성은 dopachrome법을 이용하여 UV-visible spectrophotometer로 측정하였다(Kwon et al., 2012). 0.2 M potassium phosphate buffer (pH 6.5) 2 mL 및 2 mM L-tyrosine 0.2 mL의 혼합액에 시료 0.2 mL를 첨가하였다. 여기에 mushroom tyrosinase (100 units/mL, ≥1,000 unit/mg solid, EC 1.14.18.1, Sigma, St. Louis, MO, USA) 0.1 mL를 첨가하여 37°C에서 20분간 반응시킨 후 470 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 시료에 대한 tyrosinase 저해활성(%)은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Tyrosinase inhibition activity (\%)} = \left(1 - \frac{A-B}{C}\right) \times 100 \quad (5)$$

A: absorbance of sample, B: absorbance of sample without

enzyme, C: absorbance of blank

통계처리

본 실험결과는 모든 반응 치에 대하여 3반복으로 수행된 평균값과 표준편차로 나타내었으며 SAS 9.3(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) program을 이용하여 분산분석(ANOVA)한 후 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test를 하여 처리군 간의 유의성 검정을 하였다.

결과 및 고찰

미세구조

옥수수 수염 추출물을 동결 건조하여 캡슐화 하지 않은 대조구와 미세캡슐화한 처리구의 표면미세구조를 주사전자현미경으로 900-1,800배 확대한 후 촬영한 외관은 Fig. 1과 같다. 대조구(×900)는 달걀형의 상태로 확인 되었으며 표면은 매끄러운 상태를 보여주었다. 반면에 처리구(×1800)의 경우 미세캡슐화 과정에서 분쇄되어 입자크기가 작아졌으며 다양한 형태로 나타났다. Maltodextrin (MD) 처리구는 형태가 일정하지 않았으며 표면미세구조는 거칠게 나타났다. Cyclodextrin (CD) 처리구는 직육면체에 가까운 형태를 보였으며 표면은 매끄러운 상태로 나타났다. MD와 CD를 1:1(w/w)로 혼합한(MD+CD) 경우는 형태는 대조구보다 각이 졌으며 표면은 대조구와 유사하게 매끄러운 상태를 보여주었다. 미세캡슐화 한 처리구의 형태 및 표면미세구조가 다른 이유는 피복 물질마다 다른 용해도, 점도, 다공성 등의 물리적특성을 지니고 있기 때문이다(Estevinho et al., 2013).

입도분포

미세캡슐화한 옥수수 수염 추출물의 입자분포의 결과는 Table 1과 같다. 미세캡슐화 전과 후의 입자 크기 분포를 비교하여 보면 대조구의 평균 직경은 28.84 μm이었으며 MD, CD, MD+CD 처리구의 경우 각각 5.67, 3.61, 3.85 μm으로 작아졌다. 이는 미세캡슐화 과정에서 hydro-shear homogenizer의 고속회전(8,000 rpm)에 의하여 전단응력으로 옥수수 수염 추출물의 입자가 분쇄되었기 때문이다.

수분흡수지수 및 수분용해지수

미세캡슐화한 옥수수 수염 추출물 분말의 WAI 및 WSI는 Table 2와 같다. 식품 가공 산업 측면에서 WAI와 WSI는 분말의 안정성에 있어서 매우 중요한 요인으로 저장안정성측면에서 낮은 WAI 값과 높은 WSI 값을 요구한다(Chae & Hong, 2016). 대조구의 WAI 값은 0.68로 가장 높은 지수를 보였으며 처리구의 경우는 0.20-0.26으로 낮은 지수를 나타내었다. 처리구 중에선 MD+CD 처리구가 0.20으로 가장 낮은 수분흡수지수를 나타냈으며 모든 처리군

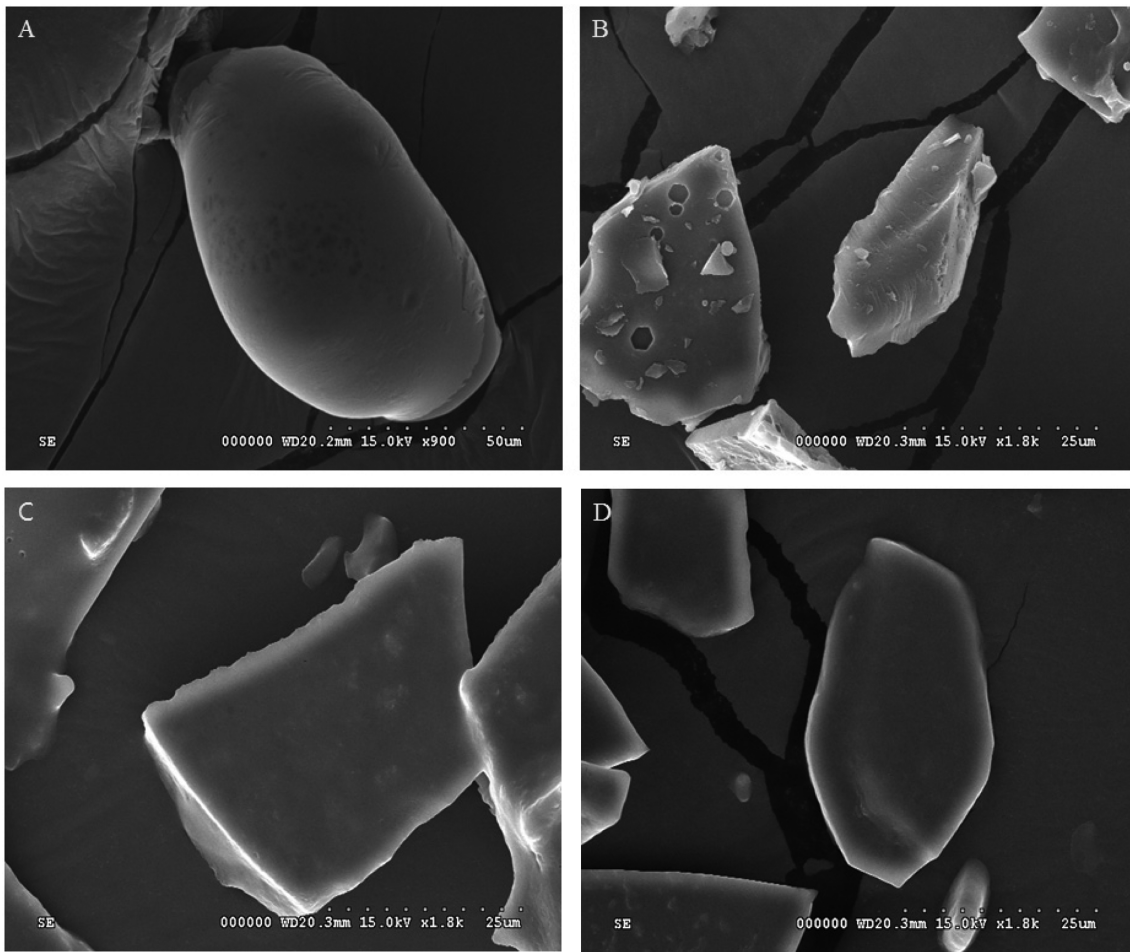


Fig. 1. Scanning electron micrographs of microencapsulated corn silk extracts. A: control (corn silk extracts, $\times 900$), B: maltodextrin microencapsulated corn silk extracts ($\times 1800$), C: cyclodextrin microencapsulated corn silk extracts ($\times 1800$), D: maltodextrin+cyclodextrin microencapsulated corn silk extracts ($\times 1800$).

Table 1. Mean particle size of microencapsulated corn silk extracts

Sample	Mean diameter at 10% (μm)	Mean diameter at 50% (μm)	Mean diameter at 90% (μm)	Mean diameter (μm)
Control ¹⁾	1.24 \pm 0.055 ^{4)ds)}	23.27 \pm 0.94 ^a	41.17 \pm 0.95 ^a	28.84 \pm 0.96 ^a
MD ²⁾	2.76 \pm 0.08 ^a	5.48 \pm 1.62 ^b	9.07 \pm 5.57 ^b	5.67 \pm 0.64 ^b
CD ³⁾	1.54 \pm 0.71 ^c	3.55 \pm 0.13 ^d	6.15 \pm 0.84 ^d	3.61 \pm 0.23 ^d
MD+CD	2.46 \pm 0.17 ^b	3.84 \pm 0.09 ^c	6.53 \pm 0.36 ^c	3.85 \pm 0.09 ^c

¹⁾Corn silk extracts

²⁾Maltodextrin microencapsulated corn silk extracts

³⁾Cyclodextrin microencapsulated corn silk extracts

⁴⁾Mean \pm SD

⁵⁾Means with different superscripts in the column are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

간에 유의적 차이를 나타내었다($p < 0.05$). 일반적으로 흡습 현상이 높으면 분말의 뭉침 현상 발생이 증가하고, 수분에 의한 품질변화로 인해 저장안정성이 낮아진다. 수분결합력은 비 결정부분(amorphous)에 의한 것으로 비결정부분이 많거나 내부치밀도가 낮으면 수분의 결합력이 증가한다 (Peterson & Brockel, 2015). 일반적으로 분말식품은 수분함량이 증가함에 따라서 free flowing, bridging, agglomeration, compaction, liquefaction의 단계를 거치게 된다(Aguilera et

al., 1995). 옥수수 수염 분말은 매우 흡습성이 높은 소재로서 본 실험실에서 25°C, 75% RH조건으로 12 h 저장 시 200 mesh를 통과하는 미세 옥수수 수염 분말의 경우 케이킹(caking)정도는 90%이었으며 수분흡수는 0.48 g water absorbed/g dried corn silk이었다.

WSI에서는 대조구가 72.23%로 가장 낮은 지수를 나타내었으며 CD 처리구가 95.23%로 가장 높은 지수를 나타내었다. 그 다음으로 MD+CD 처리구 89.53%, MD 처리구

82.06% 순으로 나타났으며 모든 처리군 간에 유의적 차이를 보였다($p<0.05$). WSI는 분말소재의 복원품질지표(reconstitution quality index)로서 이용되고 있으며 일반적으로 소비자는 빠르며 완벽한 복원을 요구한다(Mahdijafari et al., 2017). CD는 전분에 CD 생성효소(ED2.4.1.19, cyclodextrin-glycosyl-transferase, CGTase)를 작용하여 만든 것으로 6개(α -CD), 7개(β -CD), 8개(γ -CD)의 포도당이 α -1,4-glucoside 결합으로 연결된 환상의 도넛모양을 한 비환원성 말토올리고당이다. 도넛구조 내측에는 수소가 배열되어 있어 수소성을 나타내고, 외측은 수산기가 배열되어 친수성을 갖는 독특한 성질을 가지고 있으며 우수한 포집성을 가지고 있기 때문에 캡슐공정에서 피복물질로 많이 이용된다(Konno et al., 1982). 자몽 맛이 나는 nootkatone을 CD로 캡슐화하였을 때 WSI가 6.5-9.1배 증가하는 것으로 나타났다(Kfoury et al., 2017). WSI는 미세캡슐 방법 및 공정조건, 피복물질 종류, 입자크기 등에 따라서 달라진다(Jafari et al., 2017).

항산화활성

미세캡슐화 처리에 따른 옥수수 수염 추출물의 항산화활성을 DPPH radical 소거활성 및 hydroxyl radical 소거 능력으로 분석한 결과 Table 3과 같다. 옥수수 수염의 항산화 작용을 하는 주된 성분은 maysin [rhamnosyl-6-C-(4-ketofucosyl)-

5,7,30,40-tetrahydroxyflavone]과 flavone glycoside이다(Zilic et al., 2016). DPPH radical 소거활성은 분자 내에 안정한 radical을 함유하지만 항산화물질의 전자공여 능력으로 인해 방향족화합물 및 방향족아민류에 의해 환원되어 자색이 탈색이 되는 정도를 지표로 하여 항산화활성을 측정하는 방법이다(Yoshino & Murakami, 1998). 옥수수 수염 추출물의 미세캡슐화 처리에 따른 DPPH radical 소거활성 측정 결과 대조구에서는 18.60%로 가장 낮았으며 처리구에서는 79.40-89.25%로 대조구와 비교하였을 때 매우 높은 활성을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 특히 CD 처리구는 대조구에 비하여 약 4.8배 높은 DPPH radical 소거활성을 보였으며 모든 처리군 간에 유의적 차이가 있었다($p<0.05$).

Hydroxyl radical 소거 활성의 경우 대조구는 16.89%로 나타났으며 모든 미세캡슐화 처리 시료는 대조구와 비교하였을 때 높은 활성을 보였으며 유의적 차이($p<0.05$)를 나타내었다. MD+CD 처리구가 47.64%로 가장 높았으며 MD 처리구는 41.89%, CD 처리구는 37.50%로 각각 나타났다. 이러한 처리구의 항산화활성의 향상현상은 처리구의 수분용해도 향상과 밀접한 관계가 있으며, curcumin을 gelatin으로 미세캡슐화한 경우 ABTS radical 소거활성이 3.2에서 29.5 μ g vitamin C equivalents/mL로 상승하였다는 보고가 있다(Gomez-Estaca et al., 2017). 이와 같은 현상은 미세캡슐화 과정에서 입자크기가 작아지면서 비표면적증가에 따른 반응성향상에서도 기인되었다고 사료된다. Quercetin을 pullulan과 Tween® 80을 혼합한 피복물질로 캡슐화한 경우 *in vitro*로 모형의 위(gastric)와 장(intestinal) 상태에서 소화과정에서의 방출역학(release kinetics)을 기초로한 항산화 수용력으로 trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC)를 측정 한 결과 각각 4.65에서 24.56 mmol trolox/g bioactive로 7.90에서 19.63 mmol trolox/g bioactive로 증가하였다는 보고가 있다(Aceituno-Medina et al., 2015).

Table 2. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of microencapsulated corn silk extracts

Sample	WAI	WSI (%)
Control ¹⁾	0.68±0.01 ^{4)a5)}	72.23±1.29 ^d
MD ²⁾	0.26±0.01 ^b	82.06±1.29 ^c
CD ³⁾	0.24±0.00 ^c	95.23±0.32 ^a
MD+CD	0.20±0.01 ^d	89.53±1.90 ^b

¹⁾Corn silk extracts

²⁾Maltodextrin microencapsulated corn silk extracts

³⁾Cyclodextrin microencapsulated corn silk extracts

⁴⁾Mean±SD

⁵⁾Means with different superscripts in the column are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 3. DPPH radical scavenging activity and hydroxyl radical scavenging activity of microencapsulated corn silk extracts

Sample	DPPH radical scavenging (%)	Hydroxyl radical scavenging activity (%)
Control ¹⁾	18.60±0.60 ^{4)d5)}	16.89±0.59 ^d
MD ²⁾	82.97±2.26 ^b	41.89±3.33 ^b
CD ³⁾	89.25±0.46 ^a	37.50±1.22 ^c
MD+CD ⁴⁾	79.40±2.88 ^c	47.64±6.73 ^a

¹⁾Corn silk extracts

²⁾Maltodextrin microencapsulated corn silk extracts

³⁾Cyclodextrin microencapsulated corn silk extracts

⁴⁾Mean±SD

⁵⁾Means with different superscripts in the column are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

Tyrosinase 저해활성

미세캡슐화 처리에 따른 옥수수 수염 추출물의 tyrosinase 저해활성 측정 결과는 Table 4와 같다. Tyrosinase는 인체

Table 4. Tyrosinase inhibition activity of microencapsulated corn silk extracts

Sample	Tyrosinase inhibition activity (%)
Control ¹⁾	7.16±0.10 ^{4)c5)}
MD ²⁾	40.42±0.09 ^a
CD ³⁾	39.45±0.16 ^b
MD+CD	39.35±0.56 ^b

¹⁾Corn silk extracts

²⁾Maltodextrin microencapsulated corn silk extracts

³⁾Cyclodextrin microencapsulated corn silk extracts

⁴⁾Mean±SD

⁵⁾Means with different superscripts in the column are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.

내의 멜라닌 생합성경로에서 가장 중요한 초기 속도결정단계에 관여하는 효소로서 많은 미백 성분이 이 효소를 억제하는 작용기전을 가지고 있다. 대표적인 tyrosinase 활성 억제물질로는 phenol compound, flavonoid, glycolic acid, ferulic acid, isoflavonoids 등으로 알려져 있다(Cabanes et al., 1994). 대조구는 7.16%로 낮은 활성을 보인 반면 처리구는 39.35-40.42%로 보다 높은 활성을 보였다. 미세캡슐화 시료 중 MD 처리구가 40.42%로 가장 높았으며, CD와 MD+CD 처리구는 유사한 값을 나타내었고, 대조구와 처리구 간에 유의적 차이를 보였다($p < 0.05$). 처리구의 tyrosinase 저해활성의 향상현상은 처리구의 수분용해도 및 침투력 향상과 밀접한 관계가 있다고 하였다(Ephrem et al., 2017).

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(PJ011305022017)의 지원에 의한 연구결과로 이에 감사를 드립니다.

요 약

본 연구는 옥수수 수염 추출물을 핵물질로 사용하였고 피복물질로는 maltodextrin (MD), cyclodextrin (CD), MD와 CD를 1:1(w/w)로 혼합한(MD+CD) 세 가지 피복물질을 이용하여 미세캡슐화 하였을 때 흡습제어, DPPH radical 소거능(DRSA), hydroxyl radical 소거능(HRSA) 및 tyrosinase 저해활성(TIA)의 향상 정도를 비교 분석하였다. 대조구의 WAI 값은 0.68로 가장 높은 지수를 보였으며 처리구의 경우는 MD+CD 처리구가 0.20으로 가장 낮게 나타내었다. 이러한 현상은 피복물질에 의한 유리전이온도 상승과 같은 수분함량에서의 수분활성도 증가에 기인되기 때문이다. WSI에서는 대조구가 72.23%로 가장 낮은 지수를 나타내었으며 CD 처리구가 95.23%로 가장 높은 지수를 나타내었으며 피복물질의 수분용해도 및 미세캡슐화 과정에서의 입자크기감소가 주요원인이다. DRSA의 경우 대조구는 18.60%로 가장 낮았으며 CD 처리구에서는 89.25%이었고 HRSA는 대조구의 경우 16.89%인 반면 MD+CD 처리구는 47.64%로 나타났다. TIA에서는 대조구는 7.16%로 낮은 활성을 보인 반면 MD 처리구가 40.42%로 가장 높은 활성을 보였다. 이와 같은 생리활성도 향상은 수분용해도와 비표면적 증가에 기인되었기 때문이다. 모든 분석 치에서 대조구와 처리구간에 유의성차이를 보였다($p < 0.05$).

References

Aceituno-Medina M, Mendoza S, Rodriguez BA, Lagaron JM, Lopez-Rubio A. 2015. Improved antioxidant capacity of quercetin and ferulic acid during *in vitro* digestion through encapsula-

tion within food-grade electrospun fibers. *J. Funct. Foods* 12: 332-341.

Aguilera JM, Valle JM, Karel M. 1995. Caking phenomena in amorphous food powder. *Trends Food Sci. & Technol.* 6: 149-155.

Anjani K, Kailasapathy K, Philips M. 2007. Microencapsulation of enzymes for potential application in acceleration of cheese ripening. *Int. Dairy J.* 17: 79-86.

Augustin MA, Sanguansri L, Margetts C, Young B. 2001. Microencapsulation of food ingredients. *Food Aust.* 53: 220-223.

Betz M, Kulozik U. 2011. Microencapsulation of bioactive bilberry anthocyanins by means of whey protein gels. *Procedia Food Sci.* 1: 2047-2056.

Cabanes JS, Chazarra S, Garcia-Carmona F. 1994. Kojic acid, a cosmetic skin whitening agent, is a slow binding inhibitor of catecholase activity of tyrosinase. *J. Pharm. Pharmacol.* 46: 982-985.

Cha KH, Yang JS, Yeon SH, Hong JH, Kim MS, Kim JS, Hwang SJ. 2007. Microencapsulation of fish oil by spray drying using different wall materials. *J. Kor. Pharm. Sci.* 37: 113-117.

Chae HY, Hong JH. 2016. Quality characteristics of spray-dried powder from purple sweet potato extract. *J. Chitin Chitosan* 21: 271-277.

Chaiittianan R, Chayopas P, Rattanathongkom A, Tippayawat P, Sutthanut K. 2016. Anti-obesity potential of corn silk: Relationships of phytochemicals and antioxidation, anti-pre-adipocyte proliferation, anti-adipogenesis, and lipolysis induction. *J. Funct. Food* 23: 497-510.

Champagne CP, Fustier P. 2007. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Curr. Opin. Biotech.* 18: 184-190.

Chen S, Chen H, Tian J, Wang J, Wang Y, Xing L. 2014. Enzymolysis-ultrasonic assisted extraction: chemical characteristics and bioactivities of polysaccharides from corn silk. *Carbohydr. Polym.* 101: 332-341.

Choi DJ, Kim SL, Choi JW, Park YI. 2014. Neuroprotective effects of corn silk maysin via inhibition of H₂O₂ induced apoptotic cell death in SK-N-MC cells. *Life Sci.* 109: 57-64.

Ebrahimzadeh MA, Pourmorad F, Hafezi S. 2008. Antioxidant activities of Iranian corn silk. *Turk. J. Biol.* 32: 43-49.

Ephrem E, Elaissari H, Greige-Gerges H. 2017. Improvement of skin whitening agents efficiency through encapsulation: Current state of knowledge. *Int. J. Pharm.* 526: 50-68.

Estevinho BN, Rocha F, Santos L, Alves A. 2013. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications-A review. *Trends in Food Sci. & Technol.* 31: 138-155.

Gomez-Estaca J, Balaguer MP, Lopez-Carballo G, Gavara R, Hernandez-Munoz P. 2017. Improving antioxidant and antimicrobial properties of curcumin by means of encapsulation in gelatin through electrohydrodynamic atomization. *Food Hydrocolloid.* 70: 313-320.

Guo J, Liu T, Han L, Liu Y. 2009. The effects of corn silk on glycemic metabolism. *Nutr. Metab.* 6: 47-52.

Halliwell B, Gutteridge JM, Aruoma OI. 1987. The deoxyribose method: a simple "test-tube" assay for determination of rate constants for reactions of hydroxyl radicals. *Anal. Biochem.* 165: 215-219.

Hong EM, Yu MG, Noh BS, Chang PS. 2002. Optimization of

- onion oil microencapsulation by response surface methodology. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 437-443.
- Hu QL, Zhang LJ, Li YN, Ding YJ, Li FL. 2010. Purification and anti-fatigue activity of flavonoids from corn silk. I. J. Phys. Sci. 5: 321-326.
- Jafari SM, Ghalehnoei MG, Dehnad D. 2017. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. Powder Technol. 311: 59-65.
- Kfoury M, Landy D, Ruellan S, Auezova L, Gerges H, Fourmentin S. 2017. Nootkatone encapsulation by cyclodextrins: Effect on water solubility and photostability. Food Chem. 236: 41-48.
- Kim KA, Choi SK, Choi HS. 2004. Corn silk induces nitric oxide synthase in murine macrophages. Exp. Mol. Med. 36: 545-550.
- Konno A, Misaki M, Toda J, Wada T, Yasumatsu K. 1982. Bitterness reduction of naringin and limonin by β -cyclodextrin. Agr. Biol. Chem. Tokyo 46: 2203-2208.
- Krishnan S, Kshiragar AC, Singghal RS. 2005. The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. Carbohydr. Polym. 62: 309-315.
- Kwon SC, Jeon TW, Park JS, Kwak JS and Kim TY. 2012. Inhibitory effect on tyrosinase ACE and xanthine oxidase, and nitrite scavenging activities of *Jubak* (alcohol filter cake) extracts. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41: 1191-1196.
- Mahdijafari S, Ghalehnoei MG, Dehnad D. 2017. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. Powder Technol. 311: 59-65.
- Nesterenko A, Alric I, Silvestre F, Durrieu V. 2012. Influence of soy protein's structural modifications on their properties: α -tocopherol microparticles preparation. Food Res. Int. 48: 387-396.
- Peterson AHJ, Brockel U. 2015. Caking development in lemon juice powder. Procedia Eng. 102: 142-149.
- Phillips RD, Chinnan MS, Granch AL, Miller J, Mcwatters KH. 1988. Effects of pretreatment on functional and nutritional properties of cowpea meal. J. Food Sci. 53: 805-809.
- Sarepoua E, Tangwongchai R, Suriharn B and Lertrat K. 2013. Relationship between phytochemicals and antioxidant activity in corn silk. Int. Food Res. J. 20(5): 2073-2079.
- Shi G, Rao L, Yu H, Xiang YH, Pen G, Long S, Yang C. 2007. Yeast-cell-based microencapsulation of chlorogenic acid as a water-soluble antioxidant. J. Food Eng. 80: 1060-1067.
- Yang J, Li X, Xue Y, Wang N, Liu W. 2014. Anti-hepatoma activity and mechanism of corn silk polysaccharides in H22 tumor-bearing mice. J. Biol. Macromolecules 64: 276-280.
- Yoshino M, Murakami K. 1998. Interaction of iron with polyphenolic compounds application to antioxidant characterization. Anal. Biochem. 257: 40-44.
- Zilic S, Jankovic M, Basic Z, Vancetovic J, Maksimovic V. 2016. Antioxidant activity, phenolic profile, chlorophyll and mineral matter content of corn silk (*Zea mays* L): Comparison with medicinal herbs. J. Cereal Sci. 69: 363-370.