



## *In Vitro* antioxidant effect of ethanol extract from *Pennisetum purpureum*

Young Ji Kwon<sup>1</sup> · Dong Chung Kim<sup>1</sup>

### Napier grass (*Pennisetum purpureum*) 에탄올 추출물의 *in vitro* 항산화 효과

권영지<sup>1</sup> · 김동청<sup>1</sup>

Received: 27 March 2019 / Accepted: 1 May 2019 / Published Online: 30 June 2019  
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2019

**Abstract** *In vitro* antioxidant effect of 50% ethanol extract from Napier grass (*Pennisetum purpureum*) was investigated. The yield and polyphenol content of the Napier grass extract were 6.3±0.35% and 79.6±3.65 µg gallic acid equivalents/mg-extract, respectively. Antioxidant ability of the Napier grass extract such as free radical and cation radical scavenging activities, reducing power, nitrite scavenging activity, and lipid peroxidation inhibitory activity proportionally increased as concentration of the extract increased. EC<sub>50</sub> values of the Napier grass extract for free radical scavenging, cation radical scavenging, reducing power, and nitrite scavenging were 1,930.0, 350.0, 840.0, and 1,470.0 µg/mL, respectively. In the presence of 85.0 µg/mL of the Napier grass extract, lipid peroxidation was potently inhibited by 74.6%.

**Keywords** Antioxidant effect · Ethanol extract · Napier grass (*Pennisetum purpureum*) · Polyphenol

## 서 론

Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schumach)는 아프리카

Dong Chung Kim (✉)  
E-mail: kimdc@chungwoon.ac.kr

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Chungwoon University, Incheon 22100, Republic of Korea

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

와 남아시아의 열대 및 아열대 지역에서 자생하는 다년생 풀의 일종으로 elephant grass 및 Uganda grass로도 알려져 있다[1]. Napier grass는 물과 영양분이 적은 척박하고 오염된 토양에서도 잘 자라 동아프리카의 낙농업에 있어서 중요한 사료 작물로 활용되고 있다[1]. Napier grass는 토양 침식을 막아주고 땅을 비옥하게 해주는 환경 식물로 이용되고 있고[1], 식량 및 바이오 에너지 생산의 원료로 활용하기 위한 시도가 이루어지고 있다[2]. Napier grass에는 섬유질 성분인 lignin, cellulose 및 hemicellulose가 다량 함유되어 있을 뿐만 아니라 wax, steryl ester, sterol, sterol glyceride 및 다양한 phytochemical이 들어 있다[3]. Napier grass의 ligno-cellulosic 바이오매스는 산업적인 활용도가 뛰어나 바이오 에너지, 화공 원료, 펄프 및 종이 생산에 적용되고 있다[4,5]. 특히 Napier grass의 추출물은 냉장상태에서 장기 저장하는 닭고기에 대해 지질과산화 억제 효과가 있다고 알려진 바와 같이 Napier grass의 항산화 효과를 식품 산업에 적용하기 위한 연구가 시도되고 있다[6].

생체 내에 발생하는 활성산소, 유리라디칼 등의 산화물은 반응성이 강해서 단백질, 지질 및 핵산 등을 공격하고, 이로 인해 체내 세포와 조직에 손상을 초래하여 노화 및 암 등의 질병의 원인이 된다[7,8]. 식물이 외부로부터 자신을 보호하기 위해 만들어내는 phytochemical은 사람이 음식을 통해 섭취하였을 때 항산화 효과를 포함하는 다양한 생리적 효과를 얻을 수 있어[9], 다양한 식물 자원으로부터 생체 내에서 항산화 작용을 하는 천연물을 탐색하고 그 생리활성을 활용하는 연구가 지속되고 있다[10,11].

Napier grass는 국내에서도 사료 원료로 도입되고 있고, 그 추출물이 지질과산화에 효과[6]가 있어 식품 산업에서의 활용이 검토되고 있음에도 불구하고 Napier grass의 생리 활성에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Napier grass의 50% 에탄올 추출물을 시료로 하여 폴리페놀 함량을 측정하고, 유리라디칼과 양이온라디칼 소거능, 환원력, 아질산염 소거능 및

지질과산화 억제능을 확인함으로써 Napier grass 추출물을 식품 산업에서 항산화 소재로서의 용도 확대에 기여하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료 및 에탄올 추출물 제조

Napier grass는 태국산(Yoarream Yoarhaeng사, Bangkok, Thailand)으로 펠렛 형태로 들어온 것을 60 °C에서 4시간 재건조한 후 미분쇄(<400 μm)하여 분말로 만들었다. Napier grass 분말에 추출용매인 50% 에탄올 용액을 10배(w/w) 넣고 진탕조에서 2시간 동안 추출한 후 3,000×g에서 7분간 원심분리하여 상등액을 얻었다. 상등액은 동결건조한 후 50% 에탄올에 농도별로 희석하여 항산화 실험에 사용하였다.

### 폴리페놀 화합물 함량

Napier grass 50% 에탄올 추출물의 폴리페놀 함량은 Folin과 Denis의 방법으로 측정하였다[12]. Napier grass 추출물 1 mL에 폴린(Folin-Ciocalteu) 시약 2 mL를 넣고 3분 동안 반응시키고, 2 mL의 10% sodium carbonate 용액을 넣어 1시간 정치시킨 후 760 nm에서의 흡광도를 측정하여 폴리페놀 화합물의 함량을 계산하였다. 총 폴리페놀 화합물의 함량은 μg gallic acid equivalent (GAE)/mg으로 나타내었다.

### 유리라디칼 소거활성

Napier grass 50% 에탄올 추출물의 유리라디칼 소거능은 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl (DPPH)를 이용한 Blois의 방법으로 확인하였다[13]. 농도별로 희석한 Napier grass 추출물 1 mL와 0.15 mM DPPH 용액 3 mL를 혼합하여 실온에서 30분간 반응시킨 후 525 nm에서의 흡광도를 측정하여 유리라디칼 소거활성을 계산하였고, 대조군으로 L-ascorbic acid를 사용하였다.

### 양이온라디칼 소거활성

Napier grass 50% 에탄올 추출물의 양이온라디칼 소거능은 2,2'-azino-bis-(3-ethyl-benzothiazoline)-sulfonic acid (ABTS)를 이용한 Re 등의 방법으로 확인하였다[14]. 최종 용액에서 ABTS는 7.4 mM 농도가 되고 potassium persulfate는 2.6 mM 농도가 되도록 혼합 용액을 만들었다. 암소에서 15시간 동안 정치시켜 ABTS가 양이온라디칼이 되도록 한 후 414 nm의 흡광도값이 1.5가 되도록 ABTS 라디칼 용액을 희석하였다. 농도별로 희석한 Napier grass 추출물 0.1 mL에 ABTS 라디칼 용액 3 mL를 가하여 실온에서 1시간 30분간 반응시킨 후 414 nm에서 흡광도를 측정하여 양이온라디칼 소거활성을 계산하였고, 대조군으로 L-ascorbic acid를 사용하였다.

### 환원력

Napier grass 50% 에탄올 추출물의 환원력은 Fe<sup>3+</sup> 이온을 사용하여 Oyaizu의 방법으로 확인하였다[15]. 0.2 M phosphate 완충액(pH 6.6) 2.5 mL에 농도별로 희석한 Napier grass 추출물 1 mL를 넣고 순차적으로 1% potassium ferricyanide(III) 용액을 2.5 mL 첨가하여 50 °C, 20분 동안 반응시켰다. 반응 후 10% trichloroacetic acid 용액을 2.5 mL 처리하고 2,500×g에서 5분

동안 원심분리하였다. 상등액 2.5 mL을 얻어 증류수 2.5 mL에 희석하고 0.1% ferric chloride 용액 0.5 mL와 반응시킨 후 700 nm에서 흡광도를 측정하여 환원력으로 나타내었고, 대조군으로 L-ascorbic acid를 사용하였다.

### 아질산염 소거활성

Napier grass 50% 에탄올 추출물의 아질산염 소거활성은 nitrite를 사용하여 Gray와 Dugan의 방법으로 확인하였다[16]. 0.2 M citric acid 완충액(pH 1.2) 8 mL에 농도별로 희석한 1 mL의 Napier grass 추출물과 1 mL의 1 mM sodium nitrite 용액을 첨가한 후 37 °C, 1시간 동안 반응시켰다. 반응액 1 mL에 2% acetic acid 용액 3 mL를 넣고 섞은 후 0.4 mL의 Griess 시약 [11]을 첨가하였다. 실온에서 15분간 정치시킨 후 520 nm의 흡광도를 측정하여 아질산염 소거활성을 계산하였고, 대조군으로 L-ascorbic acid를 사용하였다.

### 지질과산화 억제활성

Napier grass 50% 에탄올 추출물의 지질과산화 억제활성은 linoleic acid를 사용하여 산화에 의해 생성되는 과산화물을 ferric thiocyanate법으로 확인하였다[17]. 농도별로 희석한 Napier grass 추출물 1 mL에 2.5 mg/mL linoleic acid 용액 2 mL와 50 mM phosphate 완충액(pH 7.0) 2 mL를 혼합하여 45 °C에서 96시간 동안 반응시켰다. 24시간 마다 채취한 시료 0.1 mL를 75% ethanol 용액 4.7 mL에 혼합한 후 0.1 mL의 30% ammonium thiocyanate 용액을 순차적으로 가하여 실온에서 5분간 정치시켰다. 반응액에 0.1 mL의 20 mM ferrous chloride 용액을 첨가한 후 500 nm에서 흡광도를 측정하여 지질과산화 억제활성을 계산하였고, 대조군으로 α-tocopherol을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### Napier grass 추출물의 수율 및 총 폴리페놀 화합물 함량

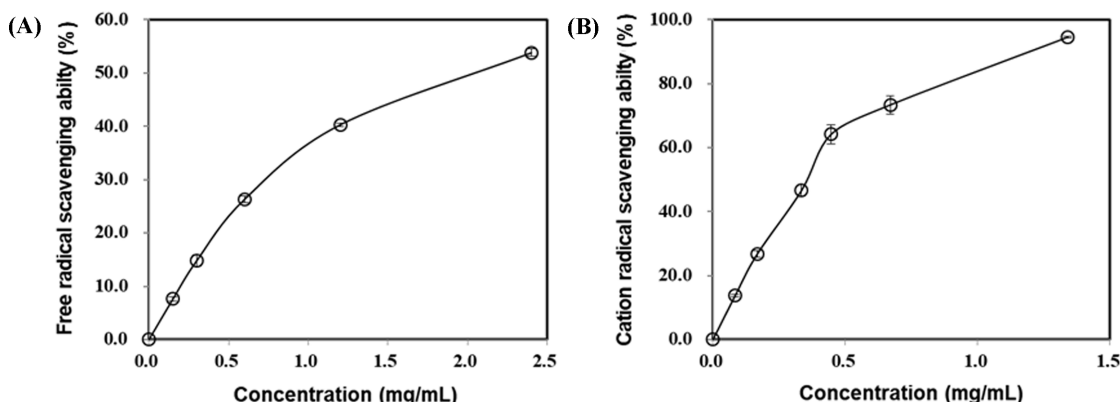
식품 산업에서 용매로 사용 가능한 물, 에탄올 및 물과 에탄올의 혼합 용액으로 Napier grass를 추출하였고, 폴리페놀 함량이 가장 높은 50% 에탄올 용액을 Napier grass의 추출 용매로 사용하였다. Napier grass를 물과 에탄올이 1:1로 혼합된 50% 에탄올 용액으로 추출하였을 때, 추출 수율은 6.3±0.35%으로 나타났다(Table 1). 일반적으로 천연물을 극성 용매인 물로 추출하는 경우, 당류, 무기질 및 단백질 등의 극성 분자들이 잘 추출되어 수율이 높게 나타나고, 추출 용매가 비극성이 될수록 수율이 낮아진다[18]. Napier grass 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 화합물 함량은 추출물 mg 당 79.6±3.65 μg (Table 1)으로 나타났다(Table 1). 식물에 다량 함유되어 있는 폴리페놀 화합물에

**Table 1** Yield and polyphenol content of 50% ethanol extract of *Pennisetum purpureum*

Yield (%)	polyphenol content <sup>2)</sup> (μg GAE/mg)
6.3±0.35 <sup>1)</sup>	79.6±3.65 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Data represent means and SD of triplicate measurements

<sup>2)</sup>Polyphenol content was expressed as gallic acid equivalents (GAE)



**Fig. 1** 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl (DPPH) free radical scavenging (A) and 2,2'-azinobis-(3-ethyl-benzothiazoline)-sulfonic acid (ABTS) cation radical scavenging (B) activities of 50% ethanol extract from *Pennisetum purpureum*. Data were means and SD of triplicate measurements

는 페놀류, 페놀산류, 플라보노이드류 및 phenylpropanoid류가 포함되며 고유의 phenolic hydroxyl기로 인해 항산화 활성을 나타내는 것으로 알려져 있다[19]. Napier grass 에탄올 추출물의 폴리페놀 함량을 다른 식용 및 약용 식물 추출물과 비교하였을 때, 썩 메탄올 추출물의 55.6 µg/mg [20]보다는 높았고, 고구마 잎 80% 에탄올 추출물의 46.3-85.1 µg/mg [21], 녹차잎 물 추출물의 85.6 µg/mg [22], 두충잎 물 추출물의 75.8-110.0 µg/mg [23]과는 비슷하였으며, 모시잎 70% 에탄올 추출물의 105.0 µg/mg [10]보다는 낮게 나타났다.

본 연구에서는 79.6 µg/mg의 폴리페놀 화합물을 함유하고 있는 Napier grass의 50% 에탄올 추출물을 이용하여 유리라디칼과 양이온라디칼 소거능, 환원력, 아질산염 소거능 및 지질과산화 억제능을 확인하였고, 천연 항산화 물질인 L-ascorbic acid 또는 α-tocopherol과 항산화 활성을 비교하였다.

**Napier grass 추출물의 유리라디칼 소거능**

구조적으로 안정한 DPPH 라디칼을 사용하여 Napier grass 추출물의 농도에 따른 유리라디칼 소거활성을 확인하였다. Napier grass 50% 에탄올 추출물의 DPPH 유리라디칼 소거활성은 농도의존적으로 증가하였으나(Fig. 1A), 유리라디칼을 절반 소거하는 농도인 EC<sub>50</sub>값이 1,930.0 µg/mL로 높게 나타나 유리라디칼 소거활성이 매우 낮은 수준임을 알 수 있었다(Table 2). 이는 양성대조군인 L-ascorbic acid의 EC<sub>50</sub>값인 65.9 µg/mL에 비해서 30배 가까이 높았고(Table 2), 다른 식물 추출물의 유리라디칼 소거능에 대한 EC<sub>50</sub>값인 고구마잎 80% 에탄올 추출물의 109.0-168.0 µg/mL [21], 곤드레잎 에탄올 추출물의 111.2 µg/mL [24], 백연수잎 50% 에탄올 추출물의 133.5 µg/mL [11] 및 모시잎 70% 에탄올 추출물의 688.0 µg/mL [25]보다도 매우 높게 나타나 Napier grass 에탄올 추출물은 유리라디칼을 잘 소거하지 못하는 것으로 나타났다.

**Napier grass 추출물의 양이온라디칼 소거능**

ABTS를 사용하여 Napier grass 추출물의 농도에 따른 양이온라디칼 소거활성을 확인하였다. Napier grass 50% 에탄올 추출물의 ABTS 양이온라디칼 소거활성 역시 농도의존적으로 증가하였다(Fig. 1B). Napier grass 추출물이 양이온라디칼을 절반

**Table 2** Antioxidant ability of 50% ethanol extract of *Pennisetum purpureum*

Antioxidant ability	EC <sub>50</sub> values <sup>1)</sup> (µg/mL)	
	Napier grass extract	L-ascorbic acid <sup>2)</sup>
Free radical scavenging	1,930.0	65.9
Cation radical scavenging	350.0	44.4
Reducing power	840.0	76.9
Nitrite scavenging	1,470.0	500.0

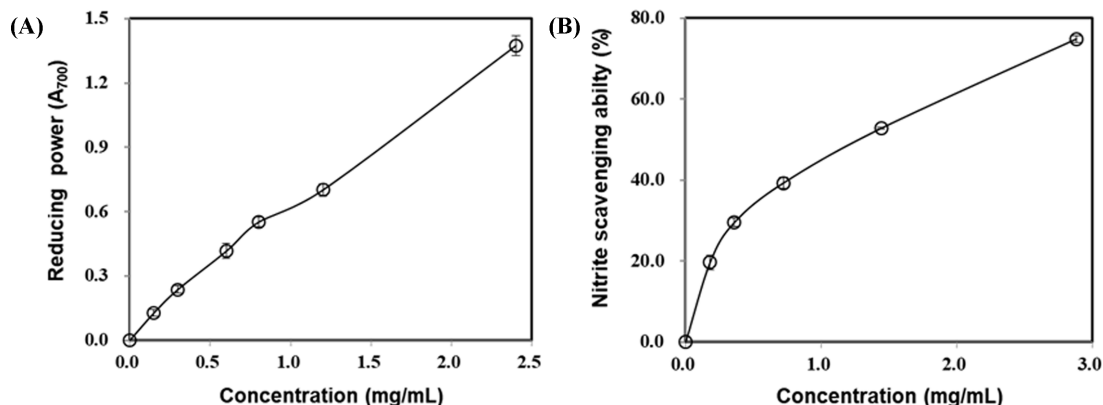
<sup>1)</sup>EC<sub>50</sub> values for radicals scavenging activity, reducing power, and nitrite scavenging activity are expressed as the effective concentrations at which 50% of free and cation radicals were scavenged, at which the absorbance was 0.5, and at which 50% of nitrite were scavenged, respectively

<sup>2)</sup>L-ascorbic acid was used as a positive control

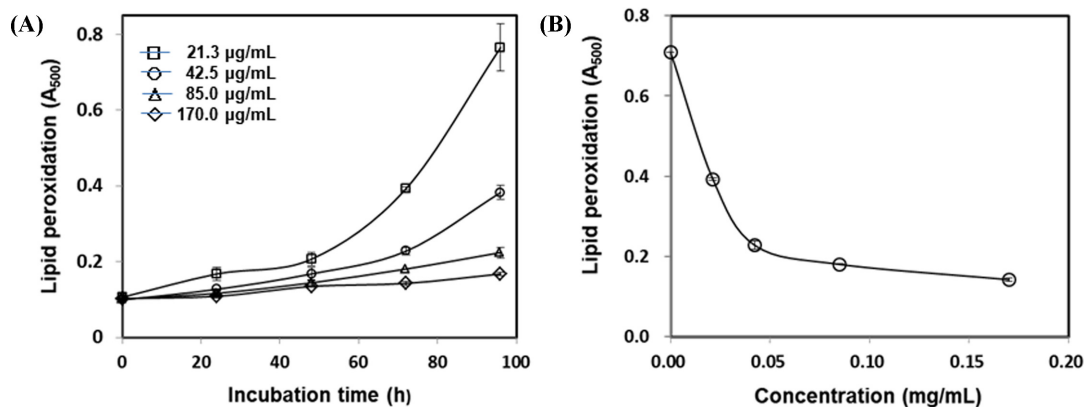
소거하는 농도인 EC<sub>50</sub>값은 350.0 µg/mL로 낮게 나타나서 Napier grass 추출물의 양이온라디칼 소거활성은 유리라디칼 소거활성에 비해 많이 우수하였다(Table 2). 이는 양성대조군인 L-ascorbic acid의 EC<sub>50</sub>값인 44.4 µg/mL에 비해서 7.8배 높았으나(Table 2), Napier grass 추출물에는 항산화 물질 이외에도 다양한 화합물이 들어있고 L-ascorbic acid는 단일 성분인 것을 감안하면 Napier grass 추출물의 양이온라디칼 소거활성은 매우 우수한 것으로 사료된다. Napier grass 50% 에탄올 추출물의 양이온라디칼 소거활성에 대한 EC<sub>50</sub>값을 다른 식물 추출물과 비교하였을 때, 백연수잎 50% 에탄올 추출물의 667.2 µg/mL [11]보다는 절반 정도 낮았으나, 섬고사리잎과 물영경귀 70% 메탄올 추출물의 92.6 및 40.7 µg/mL [26]보다는 높게 나타났다. Napier grass 추출물의 ABTS 양이온라디칼 소거능은 DPPH 유리라디칼 소거능과 같이 농도에 비례하여 증가하는 동일한 경향을 보였지만, 양이온라디칼 소거능의 EC<sub>50</sub>값이 유리라디칼 소거능보다 훨씬 낮은 값을 보여 Napier grass 추출물은 양이온라디칼을 효과적으로 소거하였다.

**Napier grass 추출물의 환원력**

Napier grass 추출물의 농도에 따른 ferric (Fe<sup>3+</sup>) 이온에 전자를 공여하여 ferrous (Fe<sup>2+</sup>) 이온으로 전환시키는 환원력을 확인하였다. Napier grass 50% 에탄올 추출물의 환원력은 유리라디칼



**Fig. 2** Reducing power (A) and nitrite scavenging activity (B) of 50% ethanol extract from *Pennisetum purpureum*. Data were means and SD of triplicate measurements



**Fig. 3** Lipid peroxidation inhibitory effect of 50% ethanol extract from *Pennisetum purpureum*. (A) Inhibition effect of the extract on linoleic acid oxidation as a function of incubation time. (B) Lipid peroxidation inhibition as a function of the extract concentration after 72 h of incubation. Data were means and SD of triplicate measurements

및 양이온라디칼 소거활성과 마찬가지로 추출물의 농도에 비례하여 증가하였다(Fig. 2A). 환원력 측정 시 반응액의 흡광도가 0.5가 되는데 필요한 농도인  $EC_{50}$ 값이 Napier grass 추출물은 840.0  $\mu\text{g/mL}$ , 양성대조군인 L-ascorbic acid는 76.9  $\mu\text{g/mL}$ 로 나타났다(Table 2). Napier grass 50% 에탄올 추출물의 환원력에 대한  $EC_{50}$ 값을 다른 식물 추출물과 비교하였을 때, 자색고구마 70% 에탄올 추출물의 236.0  $\mu\text{g/mL}$  [27], 백연수잎 50% 에탄올 추출물의 250.0  $\mu\text{g/mL}$  [11]에 비해서는 높았으나, 일반 고구마 70% 에탄올 추출물의 1,587.0  $\mu\text{g/mL}$  [27] 및 복분자 아세톤 추출물의 871.0  $\mu\text{g/mL}$  [28]보다는 낮은 값을 나타내어 Napier grass 추출물의 환원력은 우수한 것으로 여겨진다.

#### Napier grass 추출물의 아질산염 소거능

산성 pH의 조건에서 Napier grass 50% 에탄올 추출물의 아질산염 소거활성을 확인하였다. Napier grass 50% 에탄올 추출물의 아질산염 소거활성은 유리라디칼과 양이온라디칼 소거활성 및 환원력과 동일하게 추출물의 농도에 비례하여 증가하였다(Fig. 2B). 아질산염을 절반 소거하는데 필요한 농도인  $EC_{50}$ 값이 Napier grass 추출물은 1,470.0  $\mu\text{g/mL}$ , 양성대조군인 L-ascorbic acid는 500.0  $\mu\text{g/mL}$ 로 나타났다(Table 2). 동일한 산성 조건(pH

1.2)일 때, 썩 에탄올 추출물은 1,000.0  $\mu\text{g/mL}$ 의 농도에서 41%의 아질산염을 소거하였고[29], 백연수잎 50% 에탄올 추출물의 아질산염 소거에 대한  $EC_{50}$ 값은 2,582.9  $\mu\text{g/mL}$  [11]로 보고된 바 있어 상대적으로 Napier grass 추출물의 아질산염 소거활성은 우수한 것으로 여겨진다. 아질산염은 식품 및 생체 내의 amine류와 반응하여 발암 물질인 nitrosamine을 생성하는데, 식물의 폴리페놀 화합물은 산성 조건에서도 아질산염을 효과적으로 제거하여 nitrosamine의 생성을 억제하는 것으로 알려져 있다[30].

#### Napier grass 추출물의 지질과산화 억제능

불포화 지방산인 linoleic acid가 산화될 때 만들어지는 과산화물을 측정함으로써 Napier grass 50% 에탄올 추출물의 지질과산화 억제활성을 확인하였다. Linoleic acid의 산화에 의한 과산화물은 시간에 따라 증가하였고(Fig. 3A), Napier grass 50% 에탄올 추출물은 과산화물의 생성을 농도의존적으로 억제하였다(Fig. 3B). 지질 산화반응 72시간 후에 Napier grass 추출물은 85.0  $\mu\text{g/mL}$ 의 농도에서 과산화물의 생성을 74.6% 억제하였고, 양성대조군인  $\alpha$ -tocopherol은 25.0  $\mu\text{g/mL}$  처리 시 52.9%의 억제활성을 보였다. 백연수잎 50% 에탄올 추출물은 555.0  $\mu\text{g/mL}$

mL 처리 시 지질과산화물 54.1% 억제하였고[11], 삼나무잎의 ethyl acetate 추출물은 200.0 µg/mL 처리 시 지질과산화물 약 85% 억제하였다[31]. 울릉도산 고사리잎, 물영경귀와 쇠무릅의 70% 메탄올 추출물들이 100.0 µg/mL의 농도에서 과산화물의 생성을 90% 이상 억제한 것[26]과 비교하여도 Napier grass 추출물의 지질과산화 억제활성은 매우 우수하였다. 이는 Napier grass 추출물에 존재하는 비극성 폴리페놀 화합물이 지질의 산화를 효과적으로 억제함으로써 세포막의 기능을 유지하는데 도움을 주는 것으로 여겨진다[18].

이상의 결과에서 Napier grass 50% 에탄올 추출물은 낮은 유리라디칼 소거능을 나타냈지만 우수한 양이온라디칼 소거능, 환원력, 아질산염 소거능 및 지질과산화 억제능을 보여주었다. Napier grass 추출물이 단일 성분이 아니라 폴리페놀 화합물 등을 포함하는 여러 다양한 성분들의 혼합물임을 고려하면 항산화 효과가 뛰어난 것으로 사료된다. 향후 Napier grass 추출물의 분리정제와 구조분석을 통해 Napier grass 유래의 천연 항산화 물질을 규명하고, 항산화 소재로의 용도 확대에 대한 연구가 필요한 것으로 여겨진다.

## 초 록

Napier grass (*Pennisetum purpureum*)의 50% 에탄올 추출물의 수율, 폴리페놀 함량 및 항산화 활성을 확인하였다. Napier grass 추출물의 수율은 6.3±0.35%이었고, 총 페놀성 화합물 함량은 79.6±3.65 µg gallic acid equivalents/mg-추출물로 나타났다. Napier grass 추출물의 유리라디칼과 양이온라디칼 소거능, 환원력, 아질산염 소거능 및 지질과산화 억제능은 모두 추출물의 농도에 비례하여 증가하였다. Napier grass 추출물의 DPPH 유리라디칼에 대한 EC<sub>50</sub>값은 1,930.0 µg/mL로 유리라디칼에 대한 소거활성이 높지 않았다. Napier grass 추출물의 ABTS 양이온라디칼 소거, 환원력 및 아질산염 소거에 대한 EC<sub>50</sub>값은 각각 350.0, 840.0 및 1,470.0 µg/mL로 나타나 유리라디칼 소거활성에 비해 높은 항산화 능력을 보유하고 있었다. 특히 Napier grass 추출물은 85.0 µg/mL의 농도에서 과산화물의 생성을 74.6% 억제할 정도로 뛰어난 지질과산화 억제활성을 보여주었다.

**Keywords** Napier grass (*Pennisetum purpureum*) · 에탄올 추출물 · 폴리페놀 · 항산화 효과

**감사의 글** 본 논문은 권영지의 청운대학교 석사학위논문을 바탕으로 작성되었습니다.

## References

- Farrell G, Simons SA, Hillocks RJ (2002) Pests, diseases, and weeds of Napier grass, *Pennisetum purpureum*: a review. *Int J Pest Manage* 48: 39–48
- Khan ZR, Midega CAO, Wadhams LJ, Pickett JA, Mumuni A (2007) Evaluation of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) varieties for use as trap plants for the management of African stemborer (*Busseola fusca*) in a push-pull strategy. *Entomol Exp Appl* 124: 201–211
- Prinsen P, Gutierrez A, del Rio JC (2012) Lipophilic extractives from the cortex and pith of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) stems. *J Agric Food Chem* 60: 6408–6417
- Madakadze IC, Masamvu TM, Radiotis T, Li J, Smith DL (2010) Evaluation of pulp and paper making characteristics of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.). *Afr J Environ Sci Technol* 4: 465–467
- Somerville C, Youngs H, Taylor C, Davis SC, Long SP (2010) Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science* 329: 790–792
- Olorunsanya AO, Adeyemi KD, Babatunde IA (2011) Effect of bamboo (*Bambusa vulgaris*) and elephant grass (*Pennisetum purpureum*) leaf extracts on oxidative stability of cooked and raw broiler meat. *J Agric Res Develop* 10: 1–10
- Yen GC, Duh PD (1994) Scavenging effect of methanolic extracts of peanut hulls on free-radical and active-oxygen species. *Agric Food Chem* 42: 629–632
- Barry HM, Chirix S, Okezie IA (1995) Free radicals and antioxidants in food and *in vivo*: What they do and how they work. *Crit Rev Food Sci Nutr* 35: 7–20
- Phillipson JD (2001) Phytochemistry and medicinal plants. *Phytochem* 56: 237–243
- Kim C, In MJ, Kim DC (2015) *In vitro* antioxidant activity of ethanol extract from *Boehmeria nivea* L. leaves. *Food Eng Prog* 19: 76–81
- Kim DC, In MJ (2017) Antioxidative ability of ethanol extract from the leaves of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *J Appl Biol Chem* 60: 185–190
- Folin O, Denis W (1912) On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12: 239–243
- Blois MS (1958) Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199–1200
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol Med* 26: 1231–1237
- Oyaizu M (1985) Studies on products of browning reaction: antioxidant activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Jap J Nutr* 44: 307–315
- Gray JI, Dugan Jr LR (1975) Inhibition of N-nitrosamine formation in model food system. *J Food Sci* 40: 981–985
- Nakatani N, Kikuzaki H (1987) A new antioxidative glucoside isolated from oregano (*Origanum vulgare* L.). *Agric Biol Chem* 51: 2727–2732
- In MJ, Kim EJ, Kim DC (2018) *In vitro* anticancer and antioxidant effects of acetone extract of *Eucommia ulmoides* Oliver leaves. *J Appl Biol Chem* 61: 119–124
- Amin A, Yazdparast R (2007) Antioxidant and free radical scavenging potential of *Achillea santolina* extracts. *Food Chem* 104: 21–29
- Lee YM, Bae JH, Jung HY, Kim JH, Park SD (2011) Antioxidant activity in water and methanol extracts from Korean edible wild plants. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 29–36
- Li M, Jang GY, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS, Lee J, Jeong HS (2012) Chemical compositions and antioxidant activities of leaves and stalks from different sweet potato cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1656–1662
- Jeong CH, Kang ST, Joo OS, Lee SC, Shin YH, Shim KH, Cho SH, Choi SG, Heo HJ (2009) Phenolic content, antioxidant effect and acetylcholinesterase inhibitory activity of Korean commercial green, puer, oolong, and black teas. *Korean J Food Preserv* 16: 230–237
- Zhang Q, Su Y, Zhang J (2013) Seasonal difference in antioxidant capacity and active compounds contents of *Eucommia ulmoides* Oliver leaf. *Molecules* 18: 1857–1868
- Lee SH, Jin YS, Heo SI, Shim TH, Sa JH, Choi DS, Wang MH (2006) Composition analysis and antioxidative activity from different organs of *Cirsium setidens* Nakai. *Korean J Food Sci Technol* 38: 571–576
- Park SS, Kim SI, Sim KH (2011) The quality characteristics and antioxidant activity of Sulgidduk supplemented with ramie leaf powder. *Korean J Food Cookery Sci* 27: 763–772
- Lee SO, Lee HJ, Yu MH, Im HG, Lee IS (2005) Total polyphenol

- contents and antioxidant activities of methanol extracts from vegetables produced in Ullung Island. Korean J Food Sci Technol 37: 233–240
27. Kim DC, Kim C, In MJ (2015) Antioxidant activities of extracts prepared from sweet potatoes with different flesh colors. J Appl Biol Chem 58: 21–24
28. Jun HI, Kim YA, Kim YS (2014) Antioxidant activities of *Rubus coreanus* Miquel and *Morus alba* L. fruits. Korean Soc Food Sci Nutr 43: 381–388
29. Park CS, Kim ML (2006) Functional properties of mugwort extracts and quality characteristics of noodle added mugwort powder. Korean J Food Preserv 13: 161–167
30. Mirvish SS (1995) Role of N-nitroso compounds (NOC) and N-nitrosation in etiology of gastric, esophageal, nasopharyngeal and bladder cancer and contribution to cancer of known exposure to NOC. Cancer Lett 93: 17–48
31. Ismail M, Manickam E, Danial AM, Rahmat A, Yahaya A (2000) Chemical composition and antioxidant activity of *Strobilanthes crispus* leaf extract. J Nutr Biochem 11: 536–542