

PLANT&FOREST

Growth characteristics and antioxidant activity of domestic calla lily (*Zantedeschia aethiopica*)

Kyung Hye Seo^{1*}, Myung Suk Ahn¹, Ji Hun Yi¹, Young Ran Lee¹, Yun-Im Kang¹, Youn Jung Choi², Jung Nam Suh¹, Hye Sook Jang¹

¹Floriculture Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea

²Korea Program on International Agriculture (KOPIA), RDA, Jeonju 54875, Korea

*Corresponding author: seokh@korea.kr

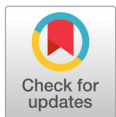
Abstract

Calla lily is one of the most iconic and widely recognized ornamental plants. This study compared the extracts of 11 cultivars of domestic calla lily bred by the National Institute of Horticultural and Herbal Science for their total polyphenol and antioxidant activities. Eleven cultivars were evaluated for their growth and flowering characteristics as per the Manual for Agricultural Investigation Rural Development Administration (RDA) form. The antioxidant activities were measured using 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoloine-6-sulfonic acid)-diammonium salt (ABTS⁺) and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging effect. The plants have an average height of 63.80 ± 5.4 cm, average flower diameter of 7.2 ± 1.1 cm, and width of 12.4 ± 1.7 cm. On average, the diameter and width of leaves were 33.7 ± 3.5 cm and 20.0 ± 1.4 cm, respectively. Extracts of flowers and leaves in the 11 cultivars of white calla lily were compared for their antioxidant activities and total polyphenol contents. ABTS⁺ and DPPH radical scavenging, which are indicative of antioxidant activity, were higher in flowers than in leaves. When comparing by cultivar, we found that 'White Egg' showed the highest antioxidant activity in both the flowers and the leaves. Additionally, we found that by part, the content of total polyphenols was highest in flowers, and by cultivar, it was highest in the 'Swan' and 'White Egg' cultivars. Furthermore, the days to flowering showed correlations with ABTS⁺ radical scavenging, total phenolic contents (TPC), and total flavonoid contents (TFC). Our results indicate that calla lily can be used as breeding material according to its growth characteristics and as a natural antioxidant source.

Key words: anti-oxidant, calla lily, total polyphenol, *Zantedeschia aethiopica*

Introduction

칼라(*Zantedeschia* spp.)는 열대성 구근작물로 전남성과에 속하는 단자엽이다. 칼라는 원예학적으로 2개의 그룹으로 분류되며 습지생육형 백색칼라, 건지생육형 유색칼라가 있다. 백색칼라는 겨울철에 잎이 죽지 않고 늦가을부터 봄까지 꽃이 피는 에티오피카(*Z. aethiopica*) 종이다. 자생지는 서늘한 기후조건으로 겨울평균 12 - 14°C, 최저기온이 5°C이며 비가 주



OPEN ACCESS

Citation: Seo KH, Ahn MS, Yi JH, Lee YR, Kang YI, Choi YJ, Suh JN, Jang HS. Growth characteristics and antioxidant activity of domestic calla lily (*Zantedeschia aethiopica*). Korean Journal of Agricultural Science 50:219-230. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20230017>

Received: December 26, 2022

Revised: December 26, 2022

Accepted: April 26, 2023

Copyright: © 2023 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

로 오는 곳이다. 화포가 유색인 유색칼라는 주로 여름철에 꽃이 피는 레마흐니(*Z. rehmannii*)종, 엘리오티아나(*Z. elliotiana*)종, 펜트랜드(*Z. pentlandii*)종, 쥬쿤다(*Z. juncund*)종, 알보마쿨라타(*Z. albomaculata*)종이 있다. 자생지가 여름 우기의 서늘한 기후대에 분포하고 여름평균 20°C, 최고기온이 27°C이다(Singh et al., 1996; Choi et al., 1998). 백색칼라는 1912년 국내 도입되어 1980년대 중반부터 농가에서 재배되기 시작하였다(RDA, 2018). 재배면적은 2017년부터 7-9 ha로 재배면적이 유지되고 있다(MAFRA, 2021). 칼라 구근은 습한 기후를 좋아하기 때문에 곰팡이와 세균의 공격을 받기 쉬우며, 특히 무름병(soft rot) 병원인 *Erwinia carotovora* subsp. *carotovoras*는 개화 전에 급격히 확산하고 심하면 구근까지 부패된다(Hyang et al., 2015a; 2015b; Nam et al 2016; Seo et al., 2021). 국립원예특작과학원은 2008년 Silky White 품종 개발을 시작으로 2022년까지 총 11품종의 백색칼라를 개발하였다. 개발된 품종은 대부분 무름병 저항성이 중도이상으로 무름병에 강하며, 구근번식력이 높은 것이 특징이다(NIHHS, 2018).

식물에 널리 분포하는 페놀화합물은 대표적인 생리활성 물질로 다양한 질병을 예방하며 특히, 항산화 작용에 중요한 역할을 한다(Ares et al., 2009; Mugisha et al., 2016). 합성항산화제는 대표적으로 butylated hydroxytoluene (BHT), butylated hydroxyanisole (BHA)가 있으며, 이는 주로 식품첨가물로 이용되고 있으나, 과량 이용 시 암을 촉진한다는 보고가 있다(Suh and Choi, 2010). 따라서, 안정성이 보장된 천연 항산화제 개발 요구가 증가되고 있다. 화훼류에서는 장미, 구절초, 해당화 등 다양한 꽃의 항산화 활성이 보고되었다(Hyun et al., 2011; Kim et al., 2018; Jo et al., 2021).

백색칼라는 유전자 EST-SSR 마커(Chen et al., 2005; Wei et al., 2012) 등 유전자 분석 연구는 보고된 바 있으나, 품종 간의 특성 비교, 성분 및 항산화에 대한 연구가 전혀 보고되어 있지 않았다. 따라서 우리는 국내에서 개발된 11 품종 백색칼라의 생육 특성과 부위(꽃, 잎)를 이용하여 항산화 활성 및 총 페놀 함량에 관한 연구를 수행하였다. 이는 새로운 품종 육성 및 기능성 원료 가능성을 제시하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

Materials and Methods

재배

칼라 구근은 2019년부터 2021년까지 3년동안 재배하여 농사시험연구조사기준(RDA, 2012)에 따라 초장, 화폭 등 생육 특성을 조사하였다. 수확 구근은 큐어링 단계를 거쳐 3개월간 10°C에서 휴면타파를 하였다. 이후 구근은 9월말에 농촌진흥청 표준영농재배법(RDA, 1996)에 준하여 가온 하우스에서 구근상자를 이용하여 정식하고 재배하였다. 정식 후에는 식물체가 자라는데 지장이 없도록 충분히 관주 하였고, 7-10일 간격으로 지속적으로 관주 하였다.

추출물 제조

실험에 사용된 백색칼라 시료는 2021년 국립원예특작과학원에서 재배하여 꽃과 잎을 동결 건조하여 분말화하였다. 건조된 꽃과 잎을 10 g을 70% 에탄올로 실온에서 24 시간 동안 추출하였다(시료/용매 비율, 1 : 10). 여과 후, 추출물을 vacuum evaporator (Ratavapor R-121, Buchi, Flawil, Switzerland)로 감압농축하고 동결 건조시킨 후 -80°C에 저장하여 실험에 사용하였다.

2,2'-azinobis (3-ethylbebzothiazoloine-6-sulfonic acid)-diammonium salt (ABTS⁺) radical scavenging 측정

ABTS⁺ radical scavenging 측정하기 위하여 ABTS tablet (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 7 mM 농도로 H₂O에 용해시킨 후 2.45 mM potassium peroxodisulfate (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)와 1 : 1 비율로 혼합시켜 16시간 상온에 둔 후 사용하였다. 에탄올에 녹인 시료 20 µL와 ABTS 용액 180 µL를 섞어 실온으로 암실에서 30분간 반응시켰다. 흡광도는 734 nm에서 multi-plate reader를 사용하여 측정하였다(Soundharajan et al., 2014). ABTS⁺ 라디칼 소거활성은 다음과 같이 계산한 후(% inhibition = [control - sample]/control), 라디칼을 50% 저해하는 농도 값인 IC₅₀ 값을 사용하여 나타내었다.

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging 측정

DPPH free radical scavenging 측정하기 위해 DPPH를 0.2 mM로 에탄올에 용해시켜 DPPH 용액을 제조하였다. 에탄올에 녹인 시료 50 µL와 0.2 mM DPPH 용액 200 µL를 섞어 암실에서 30분간 유지시킨 후 517 nm에서 multi-plate reader를 사용하여 측정하였다(Ko et al., 2012). DPPH 라디칼 소거능의 비율은 다음과 같이 계산한 후(% inhibition = [control - sample]/control), 라디칼을 50% 저해하는 농도 값인 IC₅₀ 값을 사용하여 나타내었다.

총 페놀함량 및 총 플라보노이드 측정

총 페놀함량은 Folin-Dennis법을 이용하였다(Folin and Denis, 1912). 각 시료 25 µL 추출물과 2 N Folin-Ciocalteu 시약 25 µL와 6분간 반응 후 7.5% sodium carbonate anhydrous 용액 100 µL를 넣고 90분 동안 상온에서 암반응시켰다. 흡광도는 multi-plate reader (Biotek, Vermont, USA)를 사용하여 765 nm에서 측정하였으며 기준물질로는 gallic acid (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 사용하였다.

총 플라보노이드 함량은 각 시료 25 µL 추출물과 50 g·L⁻¹ NaNO₂ 시약 10 µL를 5분간 반응 후 100 g·L⁻¹ AlCl₃를 15 µL 넣고 상온에서 반응시킨다. 6분뒤 0.5 M NaOH 50 µL를 넣은 후 multi-plate reader (Biotek, Vermont, USA)를 사용하여 흡광도 765 nm에서 측정하였으며 기준물질로는 catechin (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 사용하였다.

통계 처리

통계 분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 사후검증을 실시하였다. 특성 실험군은 3회, 항산화 및 함량은 9회 반복 실시하였으며, 평균(mean) ± 표준편차(standard deviation, SD)로 표기하였다. 각 처리군 간의 평균과 표준편차를 산출하여 Duncan's multiple range test로 유의성을 검정(p < 0.05)하였다. 이후 상관관계는 Pearson's correlation analysis를 이용해 분석(p < 0.05, p < 0.01)하였다.

Results and Discussion

국내 육성 백색칼라 생육 특성 평가

국립원예특작과학원에서 육성한 백색칼라의 품종별 차이를 알아보기 위해서 생육 특성을 평가하였다(Fig. 1). 개발된 11품종 백색칼라는 구근 정식 후부터 개화 소요일이 평균 143.02 ± 18.14 일이였다. 개화소요기가 130일 이전은 조생종, 130 - 150일은 중생종, 150일 이상은 만생종으로 구분하며 조생종으로는 'Silky White', 'White Heart' (Hyang et al., 2015b), 'White Ring', 'Blanco', 'Swan' (Seo et al., 2021), 중생종은 'Mont Blanc', 'White Cutie' (Hyang et al., 2015a), 'White Egg', 만생종은 'Pure Love', 'Cotton Candy', 'Saeha'이다. 백색칼라의 평균 63.80 ± 5.44 cm로 초장이 가장 큰 품종은 72.00 ± 3.46 cm 'White Cutie'이고 작은 품종은 'Pure Love'과 'White Egg'로 54.33 ± 6.49 cm, 54.00 ± 3.51 cm로 그 외 품종은 초장은 평균과 비슷하다. 화포의 길이는 평균 11.8 ± 1.11 cm, 화포의 폭은 평균 9.40 ± 1.63 cm으로 'White Heart', 'White Ring', 'Cotton Candy'는 화폭이 10 cm 미만으로 꽃이 작고 'White Egg', 'White Cutie'의 화폭이 14 cm 정도로 다른 품종보다 크다. 평균 엽장은 33.7 ± 3.48 cm, 엽폭은 평균 20.0 ± 1.38 cm으로 가장 큰 잎을 가진 품종은 'Mont Blanc'이었고 가장 작은 잎은 'White Ring'이였다(Table 1). 백색칼라는 품종 간의 생육 특성의 차이가 있으므로 재배 및 새로운 품종으로 육성하는데 유용한 유전자원으로서 활용가능성이 있다고 생각된다.

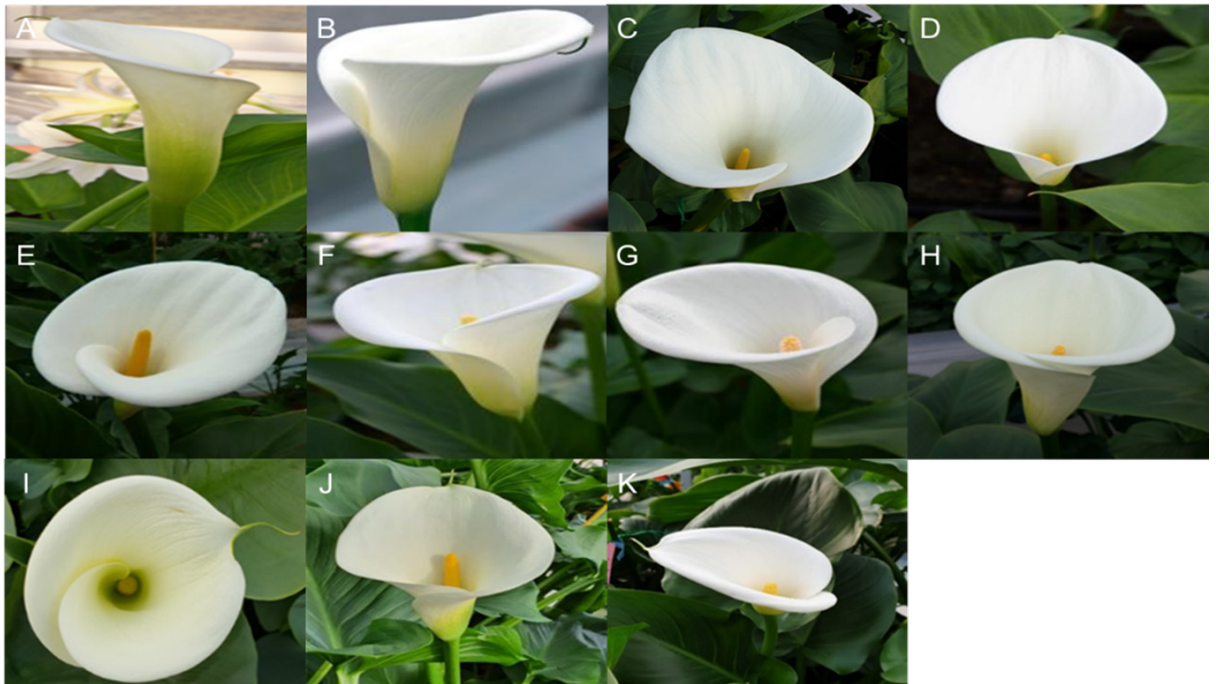


Fig. 1. Eleven cultivars of calla lily used in this study. (A) 'Silky White', (B) 'Mont Blanc', (C) 'White Cutie', (D) 'White Egg', (E) 'White Heart', (F) 'Pure Love', (G) 'White Ring', (H) 'Blanco', (I) 'Swan', (J) 'Cotton Candy', and (K) 'Saeha'.

Table 1. The growth and flowering characteristics by calla lily (*Zantedeschia aethiopica*) cultivars.

Item	Silky White	Mont Blanc	White Cutie	White Egg	White Heart	Pure Love	White Ring	Blanco	Swan	Cotton Candy	Saeta
Days to flowering	123.30±4.84 ^{ab}	153.70±2.19 ^{cde}	150.30±4.98 ^{cde}	140±3.79 ^{bcd}	125.00±5.86 ^b	152.70±1.2 ^{cde}	168.30±9.33 ^a	135.30±14.95 ^{bc}	137.70±11.78 ^{bcd}	163.40±6.84 ^{dde}	176.90±5.87 ^e
Plant height (cm)	62.44±5.50 ^a	69.11±8.48 ^a	72.00±3.46 ^a	62.28±8.66 ^a	61.59±9.01 ^a	54.33±6.49 ^a	54.00±3.51 ^a	66.67±1.20 ^a	67.56±14.89 ^a	67.30±9.06 ^a	64.43±6.90 ^a
Number of Spathe	1.00±0.00 ^a	1.00±0.00 ^a	1.56±0.29 ^a	1.00±0.00 ^a	1.00±0.00 ^a	1.33±0.33 ^a	1.33±0.33 ^a	1.00±0.00 ^a	1.33±0.33 ^a	1.33±0.18 ^a	1.70±0.51 ^a
Spathe diameter (mm)	12.29±0.62 ^{abc}	10.85±0.94 ^{ab}	14.68±0.97 ^c	13.92±0.37 ^{bc}	9.01±1.11 ^a	11.62±0.92 ^{abc}	8.82±1.19 ^a	10.79±0.41 ^{ab}	11.07±1.82 ^{ab}	9.77±0.20 ^a	10.96±1.69 ^{ab}
Spathe width (cm)	10.20±0.77 ^a	8.20±1.42 ^a	9.30±2.34 ^a	7.50±1.61 ^a	7.20±1.14 ^a	8.80±1.2 ^a	7.60±0.19 ^a	10.30±1.01 ^a	12.30±0.75 ^a	10.85±0.98 ^a	11.38±0.82 ^a
Spathe height of overlapping part (cm)	8.22±0.64 ^{ab}	8.74±0.72 ^{ab}	8.00±1.00 ^{ab}	6.02±2.28 ^a	6.52±1.34 ^{ab}	7.50±1.32 ^{ab}	5.38±0.45 ^a	8.67±0.83 ^{ab}	10.01±1.53 ^c	6.17±0.85 ^{ab}	5.82±0.07 ^a
Leaves diameter (cm)	33.78±2.90 ^a	37.90±2.58 ^a	34.61±1.15 ^a	32.82±2.45 ^a	35.49±1.03 ^a	34.44±2.51 ^a	28.28±3.18 ^a	36.83±3.83 ^a	37.91±4.86 ^a	32.35±2.88 ^a	32.97±3.19 ^a
Leaves width (cm)	18.57±2.69 ^a	21.53±2.00 ^a	20.39±2.18 ^a	19.52±1.34 ^a	20.39±1.24 ^a	21.50±2.50 ^a	16.88±0.12 ^a	21.44±3.27 ^a	19.89±1.46 ^a	18.70±1.25 ^a	20.65±1.35 ^a
Number of leaf	9.00±1.15 ^a	9.89±1.60 ^a	9.22±2.99 ^a	7.33±2.40 ^a	7.78±0.78 ^a	8.44±3.35 ^a	12.44±5.79 ^a	14.11±3.45 ^a	17.22±4.36 ^a	11.54±3.29 ^a	14.50±5.71 ^a
RHS	NN155C	155C	155C	157D	155C	155C	W155C	W155B	W155C	W155B	NN155C

RHS, Royal Horticultural Society color chart.

^y Each value is mean ± standard error of mean (N = 3).

^z a - e: Means with the same letter within a column are not significantly different (p < 0.05).

백색칼라 품종의 부위별 ABTS⁺ 및 DPPH radical scavenging 활성

항산화 활성을 측정하는 방법은 대표적으로 ABTS⁺ 과 DPPH radical scavenging 활성법을 이용하고 그 결과는 서로 약간의 차이가 있다. 비교적 안정한 radical인 ABTS⁺ radical scavenging은 양이온 radical을 생성하고 DPPH radical scavenging은 음이온 라디칼을 생성하는 차이가 있어 상이한 결과 값이 나올 수 있다고 알려져 있다(Lee et al., 2012; Kwak and Choi, 2015). ABTS⁺ radical scavenging 활성은 potassium persulfate와 반응에 의해 생성된 ABTS⁺ radical이 항산화 성분에 의해 소거되는 원리(Re et al., 1999)를 이용해서 백색칼라 꽃과 잎 추출물의 항산화 활성을 평가하였다(Fig. 2A and B). ABTS⁺ radical scavenging 활성 결과는 Fig. 1A, B와 같이 IC₅₀값으로 비교하여 분석하였다. 꽃은 ‘White Egg’가 71.71 ± 4.45 µg·mL⁻¹로 가장 높은 항산화 활성이 나타났다. 그리고 ‘Silky White’ (IC₅₀ 73.09 ± 5.69 µg·mL⁻¹), ‘Swan’ (IC₅₀ 78.50 ± 10.64 µg·mL⁻¹), ‘White Cutie’ (IC₅₀ 78.97 ± 3.82 µg·mL⁻¹) 순으로 높은 항산화 활성을 확인하였다(Fig. 2A). 잎에서는 ‘White Egg’가 240.21 ± 4.45 µg·mL⁻¹, ‘Cotton Candy’ 240.90 ± 14.79 µg·mL⁻¹가 IC₅₀값이 낮게 나타나 항산화 활성이 높을 것을 확인하였다(Fig. 2B). 꽃과 잎을 비교해 보면 꽃이 잎보다 높은 ABTS⁺ radical scavenging 활성이 높은 것을 확인하였고, 품종은 ‘White Egg’이 부위에 관계없이 높은 활성이 나타났다. DPPH radical scavenging 활성은 식물에서 추출한 화합물의 항산화력을 측정하는 가장 대표적인 방법으로 hydrodrazyl의 질소원자가 불안정한 상태일 때 수소원자를 받아들이기 쉬운 상태로 항산화 물질과 반응하는 방법을 이용한 측정법이다(Bondet et al., 1997). DPPH radical scavenging은 자유 라디칼인 DPPH 시약으로 시료의 항산화 능력을 이용하여 측정하였다(Fig. 2C and D). ABTS⁺ radical scavenging활성과 DPPH radical scavenging과 유사한 경향을 보였으며, 꽃의 IC₅₀값은 ‘Swan’ 43.14 ± 5.20 µg·mL⁻¹, ‘Silky White’ 48.25 ± 8.34 µg·mL⁻¹, ‘White Egg’ 47.52 ± 5.76 µg·mL⁻¹가 항산화 활성이 높았다(Fig. 2C). 또한 잎의 IC₅₀값은 ‘Sacha’ 161.92 ± 6.24 µg·mL⁻¹, ‘White Egg’ 178.87 ± 9.11 µg·mL⁻¹로 항산화 활성이 높은 것으로 나타났다. 부위별로는 꽃이 잎보다 DPPH radical scavenging 활성이 높았고 품종별로는 꽃은 ‘Swan’, 잎은 ‘Sacha’이 활성이 높았다. 백색칼라 항산화 활성 결과, 꽃과 잎이 모두 활성이 높은 품종은 ‘White Egg’로 확인되었다. 이 결과는 백색칼라 ‘White Egg’ 품종이 국내에서 육성한 식용이 가능 장미 중 항산화 활성이 높은 러버샤이 품종이 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거 활성이 각각 428.10 및 419.59 mg AAE/extract g (Jo et al., 2021)이고, 진달래 꽃이 257 mg·mL⁻¹ (Lee et al., 2007) 보다 높은 활성을 가지고 있었다.

백색칼라 품종의 부위별 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 비교

백색칼라 품종의 꽃과 잎에 함유된 총 폴리페놀 양은 gallic acid, 총 플라보노이드는 catechin 함량으로 환산하여 표시하였다(Table 2). 식물계의 페놀성 화합물은 약 8,000여종 이상 알려져 있으며, 항산화, 항암 등 다양한 기능성이 보고되고 있다(Aruona, 2003; Soobrattee et al., 2005; Bertoncelj et al., 2007). 총 폴리페놀 함량이 꽃에서는 ‘Swan’과 ‘White Egg’가 370.55 ± 4.15 mg GAE·g⁻¹, 366.21 ± 13.58 mg GAE·g⁻¹으로 잎은 ‘Pure Love’ 216.59 ± 19.80 mg GAE·g⁻¹, ‘White Egg’ 210.82 ± 0.93 mg GAE·g⁻¹가 가장 높았다. ‘Mont Blanc’ 이 꽃은 219.82 ± 34.11 mg GAE·g⁻¹, 잎은 165.13 ± 0.39 mg GAE·g⁻¹로 총 폴리페놀 함량이 가장 낮았다. 총 플라보노이드는 ‘White Egg’과 ‘Silky White’가 꽃에서 352.65 ± 6.25 mg CAE·g⁻¹, 341.46 ± 20.67 mg CAE·g⁻¹, 잎에서는 229.73 ± 2.40 mg CAE·g⁻¹, 216.61 ± 32.26 mg CAE·g⁻¹로 11품종 중에서 가장 높은 함량은 가지고 있었다. ‘White Heart’가 173.69 ± 7.60 mg CAE·g⁻¹, 113.48 ± 5.56 mg CAE·g⁻¹으로 총 플라보노이드 함량이 가장 낮았다. 부위별 함량분석에서는 꽃의 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량이 높은 것으로 확인되었으며, 품종 간에는 ‘White Egg’가 부위에 관계없이 높은 함량을 가지고 있었다. 본 실험에 사용된 백색칼라 품종은 복숭아 꽃의 총 페놀화합물 함량과 총 플라보노이드 함량은 각각 78.1 mg·g⁻¹과 55.3 mg·g⁻¹ (Kwak and Choi, 2015), 백목련의 총 페놀함량이 72.6 - 118.0 mg·kg⁻¹, 매화 53.2 - 83.8 mg·kg⁻¹와 홍화(29.3 - 42.5 mg·kg⁻¹) (Lee et al., 2014), 진달래는 209.1 mg GAE·g⁻¹ (Lee et al., 2007)와 비교해 볼 때 높은 수치임을 알 수 있

다. 또한, 국내 육성 식용이 가능한 21 가지 장미 품종의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량이 379.70 - 130.23 mg GAE·g⁻¹, 50.10 - 9.46 mg CAE·g⁻¹ (Jo et al., 2021)보다 높은 함량을 나타내었다. 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량과 ABTS⁺ 및 DPPH radical scavenging이 유사한 경향을 보였는데, Wong과 Kitts (2006)의 보고에서 식물에 존재하는 항산화 활성은 페놀성 화합물의 함량과 높은 연관성을 가진다는 결과와 일치하는 경향이였다.

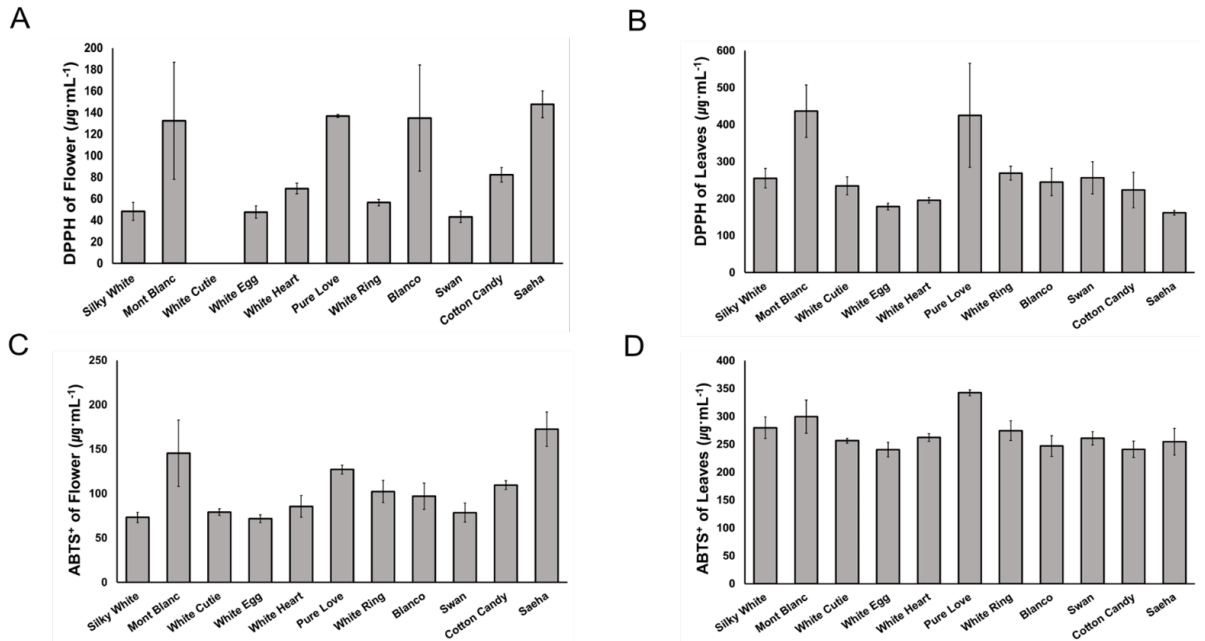


Fig. 2. Anti-oxidative activities of calla cultivars extract by 70% ethanol (Silky White, Mont Blanc, White Cutie, White Egg, White Heart, Pure Love, White Ring, Blanco, Swan, Cotton Candy, Saeha). Results were expressed the radical activities measurement as IC₅₀ values (µg·mL⁻¹). A, flower of ABTS⁺ IC₅₀ values (µg·mL⁻¹); B, leaves of ABTS⁺ IC₅₀ values (µg·mL⁻¹); C, flower of DPPH IC₅₀ values (µg·mL⁻¹); D, IC₅₀ leaves DPPH values (µg·mL⁻¹). Error bar are mean ± standard deviation (SD) (N = 9). a - d: Values with different letters within the same column differ significantly (p < 0.05) through one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test, 5% level. ABTS⁺, 2,2'-azinobis (3-ethylbebzothiazoloine-6-sulfonic acid)-diammounium salt radical scavenging activity; DPPH, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity; N.D., non-detection.

Table 2. Content of total polyphenols and flavonoid in various Calla lily cultivars.

Cultivar	Flower		Leaves	
	TPC (mg GAE·g ⁻¹)	TFC (mg CAE·g ⁻¹)	TPC (mg GAE·g ⁻¹)	TFC (mg CAE·g ⁻¹)
Silky White	350.88 ± 12.18d	341.46 ± 20.67e	195.28 ± 5.22b	216.61 ± 32.26d
Mont Blanc	219.82 ± 34.11a	217.02 ± 14.02b	165.13 ± 0.39a	210.77 ± 13.30cd
White Cutie	362.62 ± 1.37d	201.33 ± 18.87ab	204.20 ± 4.35b	153.69 ± 7.98ab
White Egg	366.21 ± 13.58d	352.65 ± 6.25a	210.82 ± 0.93b	229.73 ± 2.40a
White Heart	326.12 ± 16.64bcd	173.69 ± 7.60ab	196.58 ± 7.14b	113.48 ± 5.56a
Pure Love	224.99 ± 2.12a	183.83 ± 29.64ab	216.59 ± 19.80b	199.87 ± 9.64bcd
White Ring	339.07 ± 5.73cd	299.66 ± 14.91e	187.81 ± 3.54ab	157.23 ± 9.72abc
Blanco	280.44 ± 39.39b	266.88 ± 20.40cd	210.81 ± 3.70b	218.27 ± 24.67d
Swan	370.55 ± 4.15d	287.99 ± 11.75d	191.99 ± 12.41ab	201.40 ± 23.02bcd
Cotton Candy	286.06 ± 3.03bc	220.08 ± 8.24f	201.25 ± 13.13b	198.76 ± 23.03bcd
Saeha	224.72 ± 14.11a	220.07 ± 7.32bc	207.20 ± 11.61b	219.45 ± 5.95d

Values are mean ± standard deviation (SD) (N = 9).

TPC, total phenol contents; TFC, total flavonoid contents.

a - e: Means with the same letter within a column are not significantly different (p < 0.05).

생육 특성, 유용 성분과 항산화 활성 간의 상관관계

백색칼라의 생육 특성 항목, 항산화 활성과 총 폴리페놀의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson's correlation coefficient 분석을 시행하였으며 그 결과는 Table 3과 같다. 개화일수는 화포길이($r = 0.366, p > 0.05$), 화포 폭($r = 0.434, p > 0.05$)와 양의 상관관계를 나타내었다. 초장은 화포의 길이($r = 0.711, p > 0.01$)와 높은 양의 상관관계를 나타냈다. 또한, 꽃포개짐높이($r = 0.347, p > 0.05$), 잎 길이($r = 0.398, p > 0.05$), 잎 넓이($r = 0.352, p > 0.05$), 화포의 길이($r = 0.351, p > 0.05$)가 양의 상관관계를 나타냈다. 화포 길이는 잎 길이($r = 0.495, p > 0.01$), 꽃 포개짐은 잎의 길이($r = 0.580, p > 0.01$), 넓이($r = 0.569$)와 높은 양의 상관관계를 보였다. 생육 특성과 유효성분, 항산화 활성의 상관관계를 확인한 결과, 개화일수가 꽃의 ABTS⁺ radical scavenging ($r = 0.364, p > 0.05$)와 양의 상관관계를 가지며, 총 페놀($r = -0.393, p > 0.05$), 총 플라보노이드($r = 0.513, p > 0.01$)는 음의 상관관계를 가졌다. 잎 넓이는 꽃의 DPPH radical scavenging ($r = 0.349, p > 0.05$), 잎의 총 플라보노이드($r = 0.370, p > 0.05$)와 양의 상관관계를 가지며 꽃의 총 페놀($r = -0.363, p > 0.05$)은 음의 상관관계가 있었다. 잎의 총 플라보노이드 함량은 꽃포개짐($r = 0.361, p > 0.05$), 잎길이($r = 0.363, p > 0.05$), 넓이($r = 0.370, p > 0.05$)와 양의 상관관계가 나타났다. 이는 재배 시 개화일수와 잎 넓이를 통해서 꽃의 유효 성분과 항산화활성을 유추할 수 있으며, 품종 개발 시에는 개화 일수가 길고, 잎이 넓은 품종을 이용하여 교배한다면 항산화 활성이 높은 실생을 얻을 수 있을 것이다. 꽃의 유효 성분과 항산화 활성의 상관관계에서는 ABTS⁺ radical scavenging는 DPPH radical scavenging ($r = 0.676, p > 0.01$)과 높은 양의 상관관계이며, 총 페놀($r = -0.886, p > 0.01$)과 총 플라보노이드($r = -0.371, p > 0.05$)는 음의 상관관계를 나타냈다. DPPH radical scavenging는 총 페놀($r = -0.853, p > 0.01$), 총 플라보노이드($r = -0.542, p > 0.01$)와 높은 상관관계를 나타냈다. 잎에서는 ABTS⁺ radical scavenging가 DPPH radical scavenging ($r = 0.600, p > 0.01$)으로 높은 양의 상관관계이며, DPPH radical scavenging는 총 페놀($r = -0.486, p > 0.01$)과 높은 음의 상관관계를 나타냈다. 항산화 활성은 페놀과 플라보노이드 등 기능성 물질 함량과 밀접한 상관관계를 보인 것으로 알 수 있었다. DPPH radical scavenging는 총 플라보노이드 함량과 상관관계를 찾기 어려운 것으로 나타났는데, 이는 폴리페놀 화합물의 종류 및 성분에 따라 항산화 활성의 차이가 있다는 기존의 연구결과(Kang et al., 1996; Zhou and Yu, 2006; Kim et al., 2012; Lee et al., 2019)와 일치하였다.

Table 3. The growth and flowering characteristics by calla lily (*Zantedeschia aethiopica*) cultivars.

Item	Days to flowering	Number of flowers	Plant height	Flower height of overlapping part	Leaves diameter	Leaves width	Flower diameter	Number of leaf	Leaves width	Leaves diameter	Leaves width	ABTS ⁺ flowers	ABTS ⁺ leaves	DPPH flowers	DPPH leaves	TPC flowers	TPC leaves	TFC flowers	TFC leaves
Days to flowering	1																		
Number of flowers	0.206	1																	
Plant height	0.317	-0.022	1																
Flower height of overlapping part	0.153	-0.049	0.347*	1															
Leaves diameter	0.266	-0.187	0.398*	0.580**	1														
Leaves width	0.330	-0.107	0.352*	0.569**	0.779**	1													
Flower diameter	0.366*	0.021	0.351*	0.267	0.165	0.174	1												
Number of leaf	-0.058	0.153	-0.025	0.039	-0.199	-0.223	-0.337	1											
Leaves width	0.434*	0.219	0.127	-0.382*	-0.111	-0.155	0.303	-0.012	1										
ABTS ⁺ flowers	0.364*	0.215	0.119	0.050	0.163	0.248	-0.092	-0.016	0.174	1									
ABTS ⁺ leaves	0.034	0.167	-0.199	0.014	0.143	0.140	0.005	-0.266	-0.067	0.215	1								
DPPH flowers	0.339	-0.038	0.047	0.094	0.289	0.349*	-0.123	0.022	0.002	0.676**	0.367*	1							
DPPH leaves	0.061	0.054	0.054	0.275	0.131	0.103	0.033	0.024	0.012	0.268	0.600**	0.316	1						
TPC flowers	-0.393*	-0.084	-0.033	-0.162	-0.301	-0.363*	0.107	-0.037	-0.170	-0.886**	-0.378*	-0.853**	-0.366*	1					
TPC leaves	0.112	-0.052	0.209	-0.076	0.039	0.204	0.202	-0.130	0.186	-0.136	-0.118	0.072	-0.486**	0.033	1				
TFC flowers	-0.513**	0.016	-0.099	0.102	-0.093	-0.149	0.049	0.009	-0.147	-0.371*	0.017	-0.542**	-0.003	0.394*	-0.158	1			
TFC leaves	0.127	0.118	0.213	0.361*	0.363*	0.370*	0.072	-0.032	0.172	0.403*	0.341	0.231	0.289	-0.475**	0.083	0.312	1		

ABTS⁺, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)-diammonium salt radical scavenging activity; DPPH, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity; TPC, total phenolic contents; TFC, total flavonoid contents.

*Correlation coefficient is significant at 0.05 level.

**Correlation coefficient is significant at 0.01 level.

Conclusion

본 연구는 국립원예특작과학원에서 육성된 백색칼라 11 품종의 생육특성과 항산화 성분 및 활성평가를 통하여 국내육성품종의 이용 방안을 모색하고자 수행하였다. 백색칼라 품종의 초장은 비슷하였지만, 개화기와 화폭의 크기에 따라 품종의 특성을 구분할 수 있었다. 부위별(꽃, 잎)시험 시, 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성은 잎에 비해 꽃이 우수하였고 품종에서는 'White Egg'가 항산화 활성이 높았으며 유효성분인 총 페놀과 총 플라보노이드의 함량이 많았다. 그리고 개화기가 길수록 잎 넓이가 클수록 꽃의 항산화 활성과 유효성분의 함량이 낮은 것으로 확인되어, 항산화 활성의 특성을 목적으로 육종 및 재배하는 경우 유용할 것으로 보여진다. 이러한 결과는 백색칼라의 생육 특성을 비교와 기능성 물질 함량이 높고 항산화활성이 우수한 품종을 선발할 수 있었다. 현재 절화용으로만 재배되는 백색 칼라가 천연 항산화 소재로 개발될 가능성이 있음을 제시하고 있다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 국립원예특작과학원 기본연구사업 (과제번호: PJ01441103)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Authors Information

Kyung Hye Seo, <https://orcid.org/0000-0002-8155-8051>

Myung Suk Ahn, <https://orcid.org/0000-0003-3886-3381>

Ji Hun Yi, <https://orcid.org/0000-0003-0197-6438>

Young Ran Lee, <https://orcid.org/0000-0003-0197-6438>

Yun-Im Kang, <https://orcid.org/0000-0002-5759-065X>

Youn Jung Choi, <https://orcid.org/0000-0003-2590-4690>

Jung Nam Suh, <https://orcid.org/0000-0002-6191-8400>

Hye Sook Jang, <https://orcid.org/0000-0002-4609-9582>

References

- Ares G, Barreiro C, Deliza R, Gámbaro A. 2009. Alternatives to reduce the bitterness, astringency and characteristic flavour of antioxidant extracts. *Food Research International* 42:871-878.
- Aruona OI. 2003. Methodological considerations for characterizing potential antioxidant active of bioactive components in plant foods. *Mutant Research* 523:9-20.
- Bertoncelj J, Doberšek U, Jamnik M, Golob T. 2007. Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and cooler of Slovenia honey. *Food Chemistry* 105:822-828.
- Bondet V, Williams WB, Berset C. 1997. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. *LWT-Food Science & Technology* 30:609-615.

- Chen Z, Pang Y, Liu X, Wang X, Deng Z, Sun X, Tang K. 2005. Molecular cloning and characterization of a novel mannose-binding lectin cDNA from *Zantedeschia aethiopica*. *Biocell* 29:187-193.
- Choi JY, Kim HJ, Hyung NI. 1998. Plant regeneration via organogenesis from leaf and stipule segments of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Korean Journal of Plant Tissue Culture* 25:347-357. [in Korean]
- Hyang YJ, Cho HR, Rhee JH, Shin HK, Park SK. 2015b. Breeding of a multi-flowering and early-flowering white calla lily cultivar 'White Cutie' resistant to soft rot disease. *Korean Journal of Horticultural Science Technology* 33:618-623. [in Korean]
- Hyang YJ, Goo DH, Kang YI, Choi YJ, Lee YR. 2015a. 'White Heart': A mid-flowering *Zantedeschia aethiopica* cultivar with round flowers and soft rot resistance. *Flower Research Journal* 25:165-169. [in Korean]
- Hyun MR, Lee YS, Park YH. 2011. Antioxidative activity and flavonoid content of *chrysanthemum zawadskii* flowers. *Journal of Horticultural Science Technology* 29:68-73. [in Korean]
- Jo YJ, Seo JH, Hong CY, Kim ST, Choi EK, Kim YB, Lee JS, Jeong HS. 2021. Phenolic compounds and antioxidant activities of 21 different rose flower cultivar. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 50:354-361. [in Korean]
- Kang YH, Park YK, Lee GD. 1996. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Korean Journal of Food Science and Technology* 28:232-239. [in Korean]
- Kim EJ, Choi JY, Yu MR, Kim MY, Lee SH, Lee BH. 2012. Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *Korean Journal of Food Science and Technology* 44:337-342. [in Korean]
- Kim JW, Um M, Lee JW. 2018. Antioxidant activities of hot water extracts from different parts of rugosa rose (*Rosa rugosa* Thunb.). *Journal of Korean Wood Science and Technology* 46:38-47. [in Korean]
- Ko MS, Lee HJ, Kang MJ. 2012. Antioxidant activities and whitening effects of extracts from *Hippophae rhamnoides* L. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life* 22:812-817. [in Korean]
- Kwak CS, Choi HI. 2015. *In vitro* antioxidant and anti-inflammatory activities of ethanol extract and sequential fractions of flowers of *Prunuspersica* in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Journal of the Korean Society Food Science Nutrition* 44:1439-1449. [in Korean]
- Lee BB, Chun JH, Lee SH, Park HR, Kim JM, Park EJ, Lee SC. 2007. Antioxidative and antigenotoxic activity of extracts from *Rhododendron mucromulatum* Turcz. Flowers. *Journal of the Korean Society Food Science Nutrition* 36:1628-1632. [in Korean]
- Lee HJ, Lee JH, Jung JT, Lee YJ, Oh MW, Chang JK, Jeong HS, Park CG. 2019. Changes in free sugar, coixol contents and antioxidant activities of *Adlay* sprout (*Coixlacryma-jobi* L. var. ma-yuen Stapf.) according to different growth stage. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 27:339-347. [in Korean]
- Lee MK, Park JS, Song HJ, Chon SU. 2014. Effects of polyphenol and catechin levels on antioxidant activity of several edible flower extracts. *Korean Journal of Plant Resources* 27:111-118. [in Korean]
- Lee S, You Y, Kim K, Park J, Jeong C, Jhon DY, Jun W. 2012. Antioxidant activities of native Gwangyang *Rubus coreanus* Muq. *Journal of the Korean Society Food Science Nutrition* 41:327-332. [in Korean]
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2021. Flower cultivation status. p. 48. MAFRA, Sejong, Korea. [in Korean]
- Mugisha J, Asekova S, Kulkarni KP, Park CW, Lee JD. 2016. Evaluation of crude protein, crude oil, total flavonoid, total polyphenol content and DPPH activity in the sprouts from a high oleic acid soybean cultivar. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:723-733.
- Nam CW, Yoo DL, Kim SJ, Suh JT, Peak KY, An SW, Chun H. 2016. Growth and flowering as affected by tuber hardness, GA3 concentrations and treatment duration in Calla (*Zantedeschia*). *Korean Journal of Agricultural Science* 43:28-32. [in Korean]
- NIHHS (National Institute of Horticultural and Herbal Science). 2018. Developed cultivates of flower bulbs. pp. 290-305. NIHHS, Jeonju, Korea. [in Korean]
- RDA (Rural Development Administration). 1996. Bulbous floriculture cultivation technology. pp. 319-328. RDA, Suwon, Korea. [in Korean]

- RDA (Rural Development Administration). 2012. Manual for agricultural investigation. p. 596. RDA, Suwon, Korea. [in Korean]
- RDA (Rural Development Administration). 2018. Standard manual for growing calla. pp. 10-12. RDA, Jeonju, Korea. [in Korean]
- Re R, Pelligrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26:1231-1237.
- Seo KH, Choi YJ, Suh JN, Kang YI, Lee YR. 2021. Breeding of white calla lily 'Swan' with early flowering and many numbers of flowers. *Flower Research Journal* 29:42-46.
- Singh Y, Wyk AE, Baijnath H. 1996. Taxonomic notes on the genus *Zantedeschia* Spreng. (Araceae) in Southern Africa. *South African Journal of Botany* 62:321-324.
- Soobrattee MA, Neergheen VS, Luximon-Ramma A, Aruoma OI, Bahorun T. 2005. Phenolic as potential antioxidant therapeutic agents: Mechanism and actions. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 579:200-213.
- Soundharrajan I, Arasu MV, Lee JC, Kim DH, Roh SG, Park HS, Choi GJ, Mayakrishnan V, Choi KC. 2014. Trigonelline attenuates the adipocyte differentiation and lipid accumulation in 3T3-L1 cells. *Phytomedicine* 21:758-765.
- Suh HJ, Choi SH. 2010. Safety assessment of estimated daily intakes of antioxidants in Korean using dietary survey approach and food supply survey approach. *Korean Journal of Food Science and Technology* 42:762-767. [in Korean]
- Wei ZZ, Luo LB, Zhang HL, Xiong M, Wang X, Zhou D. 2012. Identification and characterization of 43 novel polymorphic EST-SSR markers for arum lily, *Zantedeschia aethiopica* (Araceae). *American Journal Botany* 99:e493-7.
- Wong PYY, Kitts DD. 2006. Studies on the dual antioxidant and antibacterial properties of parsley (*Petroselinum crispum*) and cilantro (*Coriandrum sativum*) extracts. *Food Chemistry* 97:505-515.
- Zhou K, Yu L. 2006. Total phenolic contents and antioxidant properties of commonly consumed vegetables grown in Colorado. *LWT-Food Science & Technology* 39:1155-1162.