

어젠다코드	2 - 6 - 1		구분	세부완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	H03	작목구분코드	FR-03-FR35
과제종류	기관고유		세부사업(약어)	-	
과제명	고구마 활용한 가공용 식품 소재 개발				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	박아름		농업연구사	강원도원 농식품연구소	
연구기간	2018 ~ 2019		참여연구기관	-	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
1) 고구마 식이섬유 및 기능성 탐색			농식품연구소	박아름	'18~'19
2) 고구마 이용 가공품 개발			농식품연구소	이효영	'18~'20
색인용어	고구마, 지상부, 식이섬유, 기능성				

ABSTRACT

The sweet potatoes is rich in water-soluble dietary fiber in its above-ground part, high in protein and high in protein value, and is rich in antioxidants including polyphenols, anthocyanins and flavonoids. Researches have been focused on sweet potato roots in Korea. However, studies on the nutritional analysis and functional properties of sweet potato should be conducted to use its above-ground parts, which have sufficient values, as a functional vegetable. As a result of the analysis of the general composition of each ground part, protein content was high in the leaves, crude fiber was high in the stem, and ash was high in the petiole area. The inorganic component analysis showed that calcium and potassium were the major inorganic components in each part of the ground. Soluble, insoluble and total dietary fiber were analyzed for each of the above-ground parts, and the total dietary fiber in the stem area of Shinjami cultivar was the highest(61.77%). The analysis of the total carotenoids and beta-carotene content showed that the leaf area was significantly higher, and BeniHaruka cultivar showed the highest content. Antioxidant activity was the highest in the order of leaves, stems, and petioles respectively, and antidiabetic activity was high at the petiole area, activity was good especially in Pungwonmi cultivar. In anti-inflammatory activity, Pungwonmi cultivar were good. Ant-inflammation activity was good in Pungwonmi cultivar, and immunity activity was high in Beniharuka cultivars which showed the best inhibition of TNF- α production.

1. 연구목표

고구마는 쌀, 보리 등의 곡류와 함께 주요 식량 자원으로 이용되어 왔으며(FAO, 1997), 최근 고구마에 대한 인식이 구황작물에서 기능성식품, 다이어트 식품 등으로 전환되면서 국내외 생산과 소비가 증가되고 있다. 또한 고구마는 식이섬유, 미네랄, 비타민뿐 아니라 안토시아닌, 토코페롤 베타카로틴 등과 같은 항산화 성분도 많이 함유 되어있다(Jin 등, 2005). 괴근 뿐 아니라 고구마 잎도 수용성 식이섬유가 풍부하며 단백질의 함량 및 단백질이 높아 질적으로 우수하며 폴리페놀, 안토시아닌, 플라보노이드를 비롯한 항산화 물질이 많이 함유되어 있다(Inshida H 등, 2000). 아시아, 아프리카 등 지역에서는 잎과 잎자루를 채소로 이용하고 있으며 다량의 단백질은 함유하고 있어 단백질 사료로의 가능성이 제기되기도 하였지만 지상부에 대한 이용은 아직 미미한 실정이다(Li, 2013). 국내에서도 고구마의 괴근을 중심으로 연구되어지고, 이용도에서도 지상부 중 잎자루 소량만 채소용으로 이용되며, 나머지 부위는 전량 폐기되고 있는 실정이다. 기능성 채소로 충분한 가치가 있는 지상부를 산업적으로 이용하기 위해서 영양성분 분석 및 기능성탐색 연구가 수행되어야 할 것으로 판단한다. 따라서 본 연구에서는 고구마 지상부의 품종 및 부위별 영양성분 분석 및 기능성 탐색을 수행하여 정보를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

〈제1세부과제: 고구마 식이섬유 및 기능성 탐색〉

(시험 1) 고구마 지상부 부위별 영양성분 분석

가. 시험재료

고구마 지상부 6품종(풍원미, 호감미, 진흥미, 베니하루까, 신자미, 자황)을 수확하여 잎, 잎자루, 줄기로 분리하였다. 각각 분리된 지상부를 냉풍건조 후 분쇄하여 시료로 사용하였다.

나. 분석방법

(1) 일반성분 및 무기성분 분석

일반성분 분석은 AOAC의 표준분석법에 준하여 수분은 105℃상압 가열 건조법, 조단백질은 Kjeldahl법, 조지방은 조지방 자동추출기(Soxtec 2050, Foss, hoganas, Sweden), 조회분은 직접 회화법, 조섬유는 조섬유자동추출기(Fibertec, Foss, hoganas, Sweden), 무기질은 습식분해법(11)에 따라 분해하여 증류수 100mL로 정용하여 Inductively coupled plasma spectrometer(Integra XL, Gbc scientific equipment, Victoria, Australia)로 분석하였고, 인(P)은 molybdenum blue 흡광도법으로 UV-Visible spectrometer(HP 8453E, Hewlett Packard Co., Palo Alto, CA, USA)로 470nm에서 비색 정량하였다.

(2) 식이섬유 분석

총 식이섬유 함량은 AOAC 법에 준한 효소중량법(Enzymatic gravimetric method)으로 측정한다. 건조시료 100g을 (시료무게: S)를 인산완충용액 1500ml에 현탁시킨 후, termamyl (heat stable α -amylase)용액 30ml로 첨가하여 95°C의 수욕상에서 5분 간격으로 흔들며 주면서 60분간 항온을 유지하여 액화시켰다. 이어 1ml protease(50 mg/ml)용액을 가하여 60°C에서 60분간 반응시킨 후 다시 냉각하여, amyloglucosidase 3ml를 가하고 60°C에서 30분간 반응시켜 전분 및 단백질의 효소적 가수분해과정을 거쳐 감압여과하여 여액과 잔사를 분리하였다. 잔사는 ethanol과 acetone으로 세척하여 데시케이터에서 건조시킨 후 건조 전, 후의 무게 차에 의하여 총 식이섬유함량을 산출하였다. 불용성 식이섬유는 건조시료 0.5~1g을(시료무게:S)를 인산완충용액 50 ml에 현탁시킨 후, termamyl, protease 및 amyloglucosidase를 차례로 처리하여 전분 및 단백질을 가수분해하고, 감압여과로 분리된 잔사를 ethanol과 acetone으로 세척한 후 105°C의 건조기에서 1~2시간 건조시키고 데시케이터 안에서 방냉하여 칭량하였다. 건조를 반복하여 함량을 구하고 여과기 중량을 빼어 잔사의 중량을 구하여 불용성 식이섬유 회분으로 하였다. 불용성 식이섬유 회분 중의 단백질 함량을 Kieldal법으로 구하고 (질소 단백질 환산계수 6.25) 525°C에서 5시간 회화법으로 회분량을 정량하여 보정함으로써 불용성 식이섬유 함량으로 구한다. 수용성 식이섬유는 총 식이섬유 값으로부터 불용성 식이섬유 값을 뺀 값으로 산출하였다.

(3) 펙틴 함량

시료 약 10g에 두 배의 증류수를 가하여 homogenizer로 5분간 균질화한 후균질화된 시료는 -70°C에 보관하면서 시료로 사용하였다. 균질화된 시료 2.5mL를 원심분리(29,000 g, 10 분, 4°C)시키고 남은 잔사에 95% ethanol 5mL를 첨가하여 2회 세척한 후 다시 원심분리 시켰다. Ethanol 세척 후 남은 잔사를 acetone 5 mL로 1회 세척한 후 원심분리하여 상층액은 질소가스로 5min 동안 농축 후 농축하고 남은 잔사는 60°C dry oven에서 2시간 건조한다. 건조된 잔사에 2mL의 증류수를 첨가하여 100°C에서 1 시간 끓인 후 원심분리하여 얻은 상층액을 pectin 정량에 이용하였다. 상층액 1mL에 12.5mM sodium tetraborate [dissolved in 95% sulfuric acid]를 5mL 첨가하여 100°C에서 5min 동안 끓인 후 0.15% NaOH 0.1 mL을 첨가 하고 실온에서 20min 동안 반응시켰다. 반응 후 540nm에서 흡광도를 측정하여 정량분석 한다. 표준용액은 pectin (Sigma, catalog #P7536)을 이용하였다.

(4) 셀룰로오스 함량

시료 10g에 두 배의 증류수를 넣어 5분간 homogenizer로 균질화 시켜 시료로 사용한다. 균질화 된 시료 1.5mL를 원심분리(29,000g, 10 분, 4°C)시키고 남은 잔사에 cellulase solution [0.1M sodium acetate buffer(pH 5) 5mL에 cellulase (4.7 units/mg, sigma, catalog #c1794) 16.17mg을 녹인 용액]을 5mL 첨가하고 37°C incubator에서 20시간 동안 반응시켰다. 반응 후 원심분리 하여 얻은 상층액을 환원당 함량 분석에 이용하였다. 상층액 1mL에 DNS solution[heated 2 N NaOH 100mL에 3,5-dinitrosalicylic acid 5g과 potassium sodium tartrate tetrahydrate (Rochell

salt) 150g을 녹인 후 500mL로 정용] 300μL와 증류수 300μL를 넣고 섞은 후 100°C에서 5min 동안 끓였다. 반응액은 상온에서 20min 동안 식힌 후 540nm에서 흡광도를 측정하여 정량분석 하였다. 표준용액은 glucose (Sigma, catalog #47829, USA)를 이용하였다.

(5) 총플라보노이드 함량

시료용액 200μL를 취하고 에탄올 800μL와 5% NaNO₂ 60 μL를 첨가하여 균질화한 후, 5분간 실온에서 반응시키고 10% AlCl₃를 60 μL 첨가하여 실온에서 다시 5분간 반응시킨다. 1 M NaOH 용액을 400μL 첨가하여 1분간 상온에서 반응시키고 증류수 500μL를 가하여 혼합한 후, 415nm에서 흡광도를 측정하였다.

(6) β-carotene 함량

시료 0.2g에 chloroform: methanol(1:1,v/v) 10ml를 넣고 2시간 진탕 후 감압농축 하였다. 이 용액에 2ml를 취한 뒤 chloroform: methanol(8:2,v/v)로 재용해하여 0.45μm membrane syringe filter로 이물질을 제거 한 후 vial에 담아 HPLC로 분석하였다. 기기 조건은 표 1과 같다.

표 1. β-carotene 분석기기 조건

조 건	기기조건
컬럼	Cadenza CL-C18, 150×3mm, 3μ m
검출기	UV_460nm
이동상	90%methanol, 100%methanol
유속	500μ L
주입량	5μ L
컬럼온도	37°C

(시험 2) 고구마 지상부 기능성 성분 탐색

가. 기능성 검정 전처리

시험 1에서 제조한 시험재료를 이용하여 에탄올 추출물을 조제하였다. 건조시료 일정량에 20배 부피의 60% 에탄올을 플라스크에 붓고 입구를 봉한 다음 shaking water bath를 이용하여 30°C 150rpm 조건에서 24시간 동안 2회 반복 추출하였다. 추출액을 모아 40°C에서 r감압 농축하여 에탄올을 날리고 남은 농축액을 동결건조하여 시료로 사용하였다.

나. 기능성 검정

(1) 항산화: 폴리페놀 함량 측정

추출물 1mL을 test tube에 넣고 각각 10% Folin-Ciocalteu 시약과 2% Sodium carbonate

(Na₂CO₃)용액 각각 1mL을 첨가한 다음 1시간 동안 반응시켜 Microplate reader을 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 Gallic acid을 이용하였다.

(2) 항산화: 플라보노이드 함량 측정

추출물 1mL과 증류수 4mL을 test tube에 넣고 각각 5% Sodium nitrite(NaNO₂) 0.3mL첨가한 다음 5분간 반응시킨 후 10% Aluminium chloride(AlCl₃)0.3mL첨가한 다음 5분간 반응시켰다. test tube에 1M Sodium hydroxide(NaOH) 2mL 첨가한 다음 1분간 정치시킨 후 증류수 2.4mL 첨가하였다. 혼합 한 후 Microplate reader을 이용하여 510nm에서 흡광도를 측정하였고, 표준물질은 Rutin을 이용하였다.

(3) 항산화: DPPH radical 소거활성

각 농도의 추출물 0.2mL에 0.2mM의 DPPH 용액 0.8mL를가하여 혼합 한 뒤 상온에서 30분간 반응시킨 후 microplate reader(UVM 340, ASYS Hitech GmbH, Engendorf, Austria)를 이용하여 517nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH radical 소거활성은 시료 용액의 첨가구와 무첨가구 사이의 흡광도 차이를 백분율로 나타냈으며, DPPH radicals scavenging activity의 값이 50%가 되는 시료의 농도를 IC₅₀ 값으로 구하였다. 양성대조군으로 항산화제인 ascorbic acid(Sigma, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 비교하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity(\%)} = \left(1 - \frac{\text{시료첨가구의 흡광도}}{\text{무첨가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

(4) 항산화: ABTS radical 소거활성

7.4mM ABTS와 2.6mM potassium persulfate를 혼합 후 실온 암소에서 24시간 동안 방치하여 radical을 형성시킨 ABTS용액 950uL에 농도별 추출물 50uL을 첨가하여 실온에서 10분동안 방치한 다음, Microplate reader를 이용하여 734nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS radical소거 활성은 시료 용액의 첨가구와 무첨가구 사이의 흡광도 차이를 백분율로 나타냈으며, 기존의 항산화제인 ascorbic acid(Sigma, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 동일한 방법으로 흡광도를 측정한 후 활성을 비교하였다.

(5) 항당뇨: α-amylase 활성 검정

에탄올추출물의 α-amylase 저해활성은 돼지 췌장 α-amylase(Sigma Co USA: 100U/mL)를 효소로 기질 p-nitrophenyl-α-maltoheptaoside(Megazyme, Ireland)를 0.1M phosphate buffer(pH 6.9)에 용해시켜 5mM농도로 사용하였고, 반응시간은 10분으로 한다. Microplate reader를 이용하여 405nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준품으로 아카보스(Byer-Korea)를 사용하여 메탄올추출물의 저해활성을 비교하였다.

(6) 항당뇨: α-glucosidase 활성 검정

50μl yeast α-glucosidase (Sigma, USA: 0.7U/mL)와 추출물 10μl를 96-well plate에 넣고

microplate reader(Model 550, Biorad, USA)를 이용하여 파장 405nm에서 흡광도를 측정하였다. 5분 후에 기질 p -nitrophenyl- α -D-glucopyranoside를 0.1M phosphate buffer(pH 7.0)에 용해시켜 5mM 농도로 50 μ l를 첨가하여 실온에서 5분간 반응시킨 뒤, 동일한 파장에서 흡광도를 측정하고, 흡광도 변화로부터 효소 저해활성을 계산하였다. 표준품으로 acarbose를 사용하여 추출물의 저해활성을 비교하였다.

(7) 항염활성: Nitric Oxide(NO) 생성량 측정

NO 소거활성은 한국 세포주 은행에서 분양받은 마우스의 대식세포 세포주인 Raw264.7 세포를 지시세포로 이용하여 측정하였다. Raw264.7 세포는 10%의 FBS가 함유된 DMEM media에서 계대배양하였다. NO 소거활성을 측정하기 위하여 Raw264.7 세포를 24 well에 well당 1×10^5 cells을 분주한 후, 37°C, 5% CO₂ Incubator에서 24시간 배양하였다. 그리고 final 농도를 1mg mL⁻¹로 한 추출물을 세포배양 well에 첨가하여 37°C, 5% CO₂ Incubator에서 24시간 배양하였다. 시료에 대한 대조구는 1 μ g mL⁻¹의 lipopolysaccharide (LPS)를 20 μ L처리하여 활성화된 세포를 사용하였다. 배양 후 상등액 100 μ L를 회수하고 여기에 2-naphthylamine이 포함된 Griess solution(Fluka)을 첨가하여 상온에서 15분간 반응시킨 후 상등액의 발색도를 ELISA reader(ASYSUVM-340)를 사용하여 517nm에서 흡광도를 측정하였다. 세포가 생산한 NO는 sodium nitrate를 사용하여 표준곡선을 작성한 후 NO를 정량하였다.

(8) 면역활성

RAW264.7 세포는 10%의 FBS가 함유된 DMEM media에서 계대배양 하였다. RAW 264.7 cells은 96well plate 1 \times 10⁵ cells/well이 되게 0.18mL 분주하고, 시료를 농도 별로 조절하여 0.02mL 첨가한 후 37°C, 5% CO₂ Incubator에서 24시간 배양하였다. 추출물 농도별로 24시간 처리 후 상등액 100 μ L를 회수하고 남은 배양액에 EZ-Cytox용액을 0.01mL 첨가하여 4시간 배양한 후 흡광도 측정 전 1분정도 Shaking하여 ELISA reader로 450nm에서 흡광도를 측정하였다. 세포 독성 측정은 시료 용액의 첨가군과 무첨가군의 흡광도 감소율로 나타냈다. 싸이토카인 측정은 RAW 264.7 세포를 1 \times 10⁵ cells/well로 조절한 후 6 well plate에 접종하고 24시간 동안 전 배양하였다. 세포에 1 μ g/mL의 LPS와 추출물을 동시에 처리하여 24시간 재 배양한다. 세포배양액 내의 TNF- α , cytokine의 분비량을 ELISA kit(Mouse ELISA set, R&D Systems, Minneapolis, MN 55413, USA)를 이용하여 측정한다.

3. 결과 및 고찰

〈제1세부과제: 고구마 식이섬유 및 기능성 탐색〉

(시험 1) 고구마 지상부 부위별 영양성분 분석

지상부 부위별 일반성분을 분석한 결과 탄수화물은 호감미 줄기가 48.93%으로 가장 높게 나타

났으며 단백질 함량은 주로 잎 부위에서 높았으며 품종간의 차이는 크게 없었다. 이는 동일한 재배 조건으로 재배한 고구마 300품종에 대하여 총 단백질을 조사한 결과, 12.1-25.7%로 품종 내 부위 간에는 많은 차이가 있었으며, 잎에서 가장 높았다고 보고한 연구(Li 등, 1974)와 일치하였다. 조섬유는 줄기 부위에서 함량이 높았으며, 회분은 잎자루 부위에서 높게 나타났고 특히 진홍미 잎자루가 가장 높았다. 이러한 성분차이의 주요 원인은 품종에 따른 유전적 요인으로 사료되며, 조단백질 및 조지방이 배추나 들깨잎 보다 더 높게 나타났다고 보고하였다(Jung 등, 2003).

표 2. 일반성분 분석

품종	부위	수분	탄수화물	단백질	조지방	조섬유	회분
풍원미	잎	5.74±0.03	43.84±0.74	22.56±0.49	3.18±0.03	12.47±0.33	12.19±0.11
	잎자루	6.46±0.04	41.72±0.23	9.01±0.08	2.09±0.04	17.29±0.20	23.42±0.07
	줄기	4.38±0.04	42.41±0.54	11.16±0.03	1.65±0.04	29.44±0.48	10.97±0.14
호감미	잎	5.57±0.02	46.51±0.23	23.67±0.16	2.65±0.05	11.09±0.02	10.51±0.15
	잎자루	5.94±0.04	44.02±0.24	8.37±0.13	1.95±0.02	18.42±0.09	21.31±0.06
	줄기	4.29±0.11	48.93±0.43	9.82±0.02	1.72±0.09	25.15±0.28	10.08±0.02
진홍미	잎	6.10±0.02	43.09±0.32	23.80±0.06	2.84±0.04	12.88±0.35	11.29±0.01
	잎자루	5.21±0.05	38.86±0.21	11.05±0.07	1.30±0.01	19.00±0.15	24.57±0.04
	줄기	4.90±0.04	39.05±0.24	12.64±0.42	1.67±0.02	30.43±0.40	11.32±0.04
베니하루까	잎	6.31±0.09	41.58±0.41	26.57±0.06	2.52±0.16	11.44±0.16	11.59±0.01
	잎자루	6.11±0.03	42.02±0.22	10.99±0.10	1.70±0.12	17.14±0.09	22.04±0.04
	줄기	4.50±0.05	40.60±0.38	17.07±0.06	2.04±0.02	24.94±0.33	10.86±0.06
신자미	잎	7.81±0.05	41.67±0.15	23.92±0.05	2.91±0.02	12.56±0.14	11.14±0.00
	잎자루	7.53±0.04	35.41±0.46	10.04±0.09	1.92±0.05	21.03±0.32	24.08±0.08
	줄기	5.06±0.01	35.87±0.27	11.70±0.10	1.44±0.07	30.12±0.27	15.81±0.02
자황	잎	5.67±0.24	43.61±0.15	22.69±0.16	2.64±0.05	13.80±0.19	11.60±0.07
	잎자루	5.93±0.05	37.16±0.16	9.91±0.03	1.93±0.06	20.69±0.25	24.39±0.19
	줄기	4.40±0.03	42.65±0.25	11.30±0.05	1.28±0.01	28.76±0.21	11.61±0.03

고구마 품종별 지상부의 무기성분 함량을 측정된 결과는 표 3, 4과 같다. 지상부에 각 부위에 있는 주요 무기성분으로는 칼슘과 칼륨 이었다. Hamme(2004)의 연구에 의하면 잎과 잎자루에는 무기 성분이 풍부하게 함유되어 있으며, 특히 칼슘과 칼륨의 함량이 높았다고 보고하였는데 본 연구에서도 유사한 경향을 나타내었다. 칼슘은 베니하루까를 제외한 5품종에서 모두 잎자루 부위가 높게 나타났으며, 베니하루까는 잎이 가장 함량이 높게 나타났다. 마그네슘은 6품종 모두 잎 부위가 높게 나타났으며 함량은 408.61-516.83mg/100g 수준 이었으며 풍원미 잎이 가장 함량이 높았다. 그 밖에 나트륨, 철, 망간 등이 미량으로 검출되었다.

표 3. 다량 무기성분 분석

품 종	부 위	Ca	K	Mg	Na
풍원미	잎	1093.13±4.09	3207.94±18.05	516.83±10.75	55.72±0.60
	잎자루	1467.43±22.07	7774.95±117.63	383.90±3.95	38.41±0.33
	줄기	916.63±24.04	3296.43±67.51	270.56±2.11	25.37±2.58
호감미	잎	1052.16±28.18	2841.38±118.70	422.93±7.91	5.81±0.92
	잎자루	1419.39±8.59	7228.27±150.54	332.48±0.74	2.62±0.51
	줄기	885.01±10.34	3019.50±92.26	297.98±0.87	2.58±0.58
진흥미	잎	1084.66±6.36	3326.66±48.78	410.99±2.62	10.43±0.25
	잎자루	1203.12±12.21	9271.85±157.16	289.25±2.11	16.86±0.25
	줄기	730.81±10.93	3773.59±48.52	295.10±3.55	12.43±0.96
베니하루까	잎	1267.01±15.38	3158.94±52.93	481.80±4.38	3.10±1.32
	잎자루	1150.40±5.58	8044.55±26.14	345.68±11.15	3.34±1.84
	줄기	532.55±4.20	3790.09±54.13	324.36±4.89	1.41±0.24
신자미	잎	1057.75±11.83	3299.62±61.89	408.61±7.83	6.00±1.11
	잎자루	1536.71±12.60	8799.22±132.85	310.65±5.23	6.36±0.72
	줄기	1175.48±10.51	5497.70±50.85	381.10±0.88	6.36±0.72
자 황	잎	1097.59±28.76	3200.89±90.90	470.43±9.77	5.26±3.48
	잎자루	1157.83±3.46	8812.88±152.89	302.43±4.67	4.04±0.90
	줄기	893.09±19.20	3933.69±105.25	343.57±10.44	2.44±0.21

표 4. 미량 무기성분 분석

품 종	부 위	Fe	Mn	P
풍원미	잎	21.73±0.54	36.95±1.12	191.81±14.27
	잎자루	6.97±1.03	14.84±0.37	247.06±14.56
	줄기	7.33±0.26	5.12±0.58	226.30±31.99
호감미	잎	15.00±1.46	45.69±1.56	222.34±26.65
	잎자루	4.85±0.31	14.29±0.37	237.72±23.61
	줄기	8.92±0.00	6.81±0.25	240.61±44.78
진흥미	잎	19.74±0.85	32.74±0.62	233.52±29.68
	잎자루	6.75±1.21	8.37±0.25	268.77±16.24
	줄기	7.07±0.40	4.19±0.14	289.30±46.27
베니하루까	잎	22.13±0.78	54.17±1.09	299.71±20.39
	잎자루	8.13±1.50	13.24±0.41	349.21±63.18
	줄기	8.64±0.41	6.47±0.16	351.68±18.35
신자미	잎	32.40±1.42	34.90±0.38	354.62±30.51
	잎자루	8.31±1.18	11.82±0.25	350.72±42.34
	줄기	11.79±0.38	7.40±0.22	373.13±35.58
자 황	잎	35.42±5.30	33.83±0.55	295.31±17.95
	잎자루	13.55±3.88	8.96±0.16	349.86±65.27
	줄기	8.58±0.69	5.01±0.05	341.20±7.63

품종별 잎의 식이섬유 함량은 수용성 6-9.75%, 불용성 41.42-45.69%, 총식이섬유는 49.84-52.43%의 함량을 나타냈으며, 품종간의 차이는 크게 나타나지 않았다. 잎자루는 수용성 5.75-10.7%, 불용성 38.28-45.88%, 총식이섬유는 49.38-55.93%의 수준 이었으며, 총식이섬유는 베니하루까 품종이 가장 높았으며 다른 품종들 간의 차이는 없었다. 줄기의 식이섬유는 수용성 식이섬유 5.18-7.66%, 불용성 43.39-54.78%, 총식이섬유는 50.37-61.77% 수준으로 나타났다. 총식이섬유는 6품종 중 신자미 줄기 부위가 61.77%로 가장 높게 나타났다.

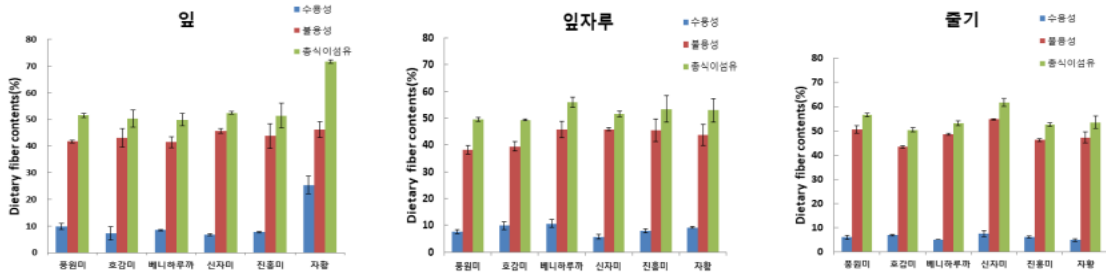


그림 1. 식이섬유 함량

품종 및 부위별 총카로티노이드 및 β -carotene 함량을 측정한 결과 모든 품종에서 잎 부위가 총 카로티노이드 및 베타카로틴 함량이 높은 경향을 나타냈다. 총카로티노이드는 잎의 경우 152.92-226.59mg/100g, 베타카로틴은 36.85-58.66mg/100g 범위로 베니하루까가 가장 높게 나타났다. 잎자루의 경우 총카로티노이드는 10.84-25.76mg/100g, 베타카로틴은 0.39-2.10mg/100g 범위로 호감미가 가장 높게 나타났으며, 줄기는 각각 13.24-17.83mg/100g, 2.65-1.87mg/100g 수준이었다.

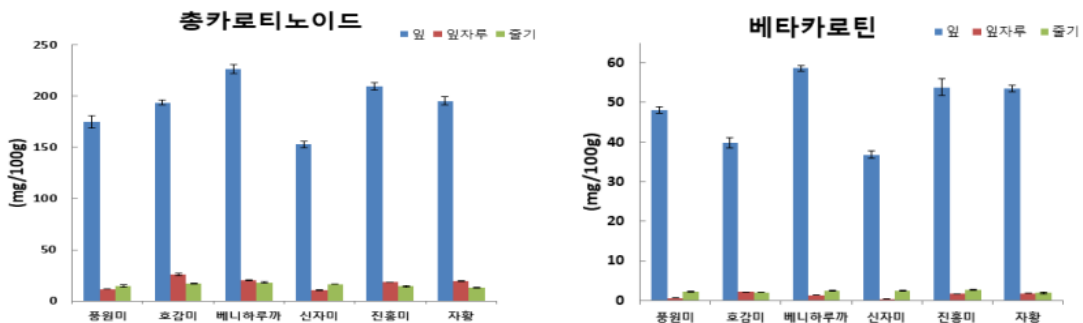


그림 2. 총카로티노이드 및 베타카로틴 함량

연구 2년차에는 베니하루까, 풍원미, 신자미, 진홍미 품종의 지상부 전체의 셀룰로오스와 펙틴의 함량을 분석하였다. 불용성 식이섬유 중 셀룰로오스의 함량을 분석한 결과 7.99-18.47mg/g의 함량 수준으로 분석되었으며, 베니하루까>풍원미>진홍미>신자미 순으로 셀룰로오스 함량이 높게 나타났다. 4품종의 펙틴함량을 분석한 결과 13.21-28.34 mg/g 수준이었으며 베니하루까, 풍원미, 진홍미의 함량 차이는 크게 나타나지 않았으며, 신자미의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났다.

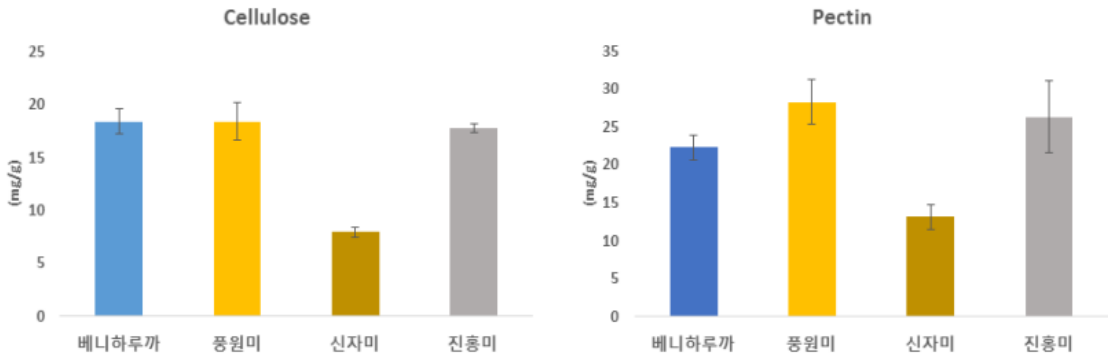


그림 3. 셀룰로오스, 펙틴 함량

(시험 2) 고구마 지상부 기능성 성분 탐색

고구마 6품종의 지상부 부위별 총폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 측정된 결과 진홍미를 제외하고 모든 품종에서 잎 부위에서 대체적으로 함량이 높은 경향을 보였다. 특히 풍원미 잎에서 각각 41.21mg/g, 109.15mg/g으로 가장 높은 함량을 나타냈다. Yoshi-moto(2006) 등의 연구에 의하면 총 폴리페놀 함량은 잎에서 61.9mg/g, 잎자루에는 18.8mg/g 함유되어 있다고 보고하였는데 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타냈다. 또한 식물체에서도 잎의 폴리페놀 함량과 플라보노이드 함량이 잎이 잎자루에 비하여 많이 함유되어 있다고 보고하였는데(Beom 등, 2007) 본 연구에서도 잎이 잎자루에 비하여 많은 함량을 나타내었다.

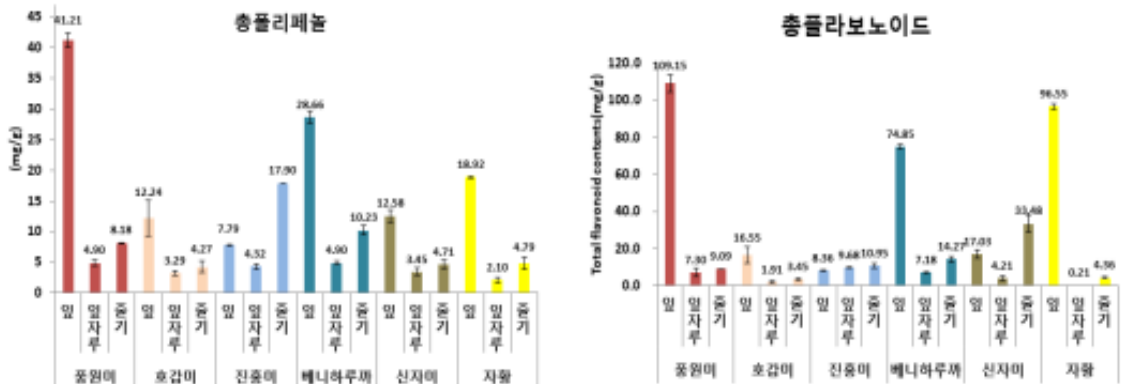


그림 4. 셀룰로오스, 펙틴 함량

품종별 및 부위별 지상부의 항산화 활성 검정을 위해 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능을 측정된 결과 DPPH와 ABTS 라디칼 모두 부위별로 잎 > 줄기 > 잎자루 순으로 높게 나타났다. DPPH 라디칼 소거능은 풍원미 잎이 0.1, 1, 5mg/mL의 농도에서 각각 14.73%, 90.60%, 95.37%로 가장 높았으며 ABTS 라디칼 소거능은 자황 잎이 1, 5, 10mg/mL의 농도에서 각각 14.98%, 53.76%, 87.99%으로 나타났다.

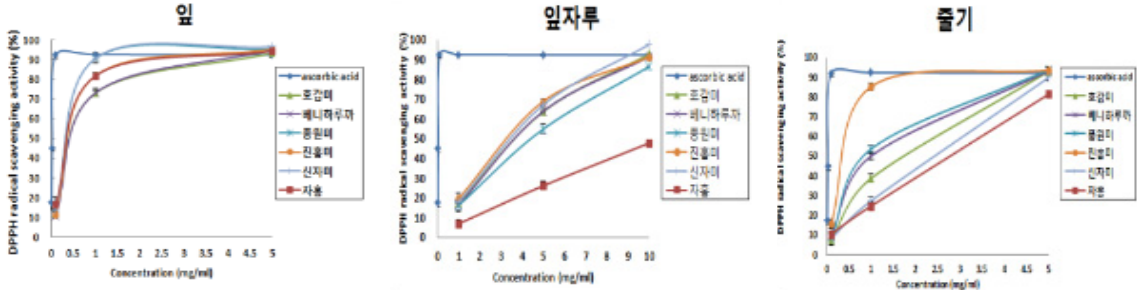


그림 5. DPPH 라디칼 소거능

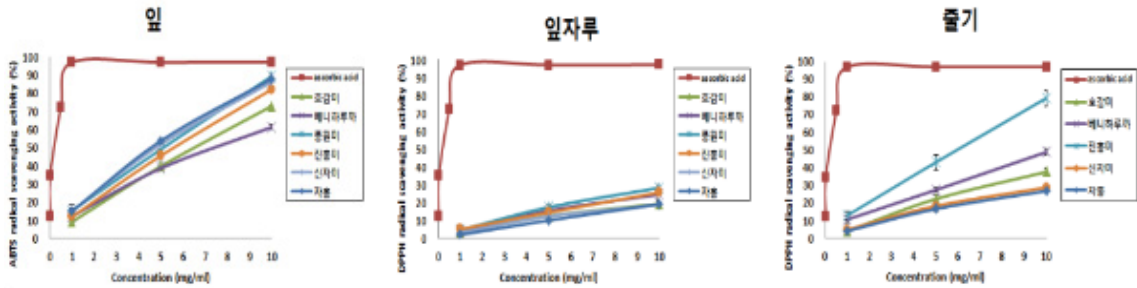


그림 6. ABTS 라디칼 소거능

지상부 추출물에 대한 라디칼 소거활성을 50%로 감소시키는 농도인 IC_{50} 값을 측정된 결과는 표 5, 6과 같다. DPPH, ABTS 라디칼 IC_{50} 값이 잎에서 각각 0.60–1.33mg/mL, 5.05–7.66mg/mL의 수준으로 활성이 가장 높게 나타났으며 다음으로 줄기, 잎자루 순으로 활성이 높게 나타났다. Liao 등의 연구에 의하면 4가지 고구마 품종에 대한 DPPH 라디칼 소거활성을 분석한 결과 IC_{50} 값이 0.19–0.41mg/mL 범위라 하였는데 본 연구 결과보다는 낮게 나타났으며, 품종 간의 차이가 있었는데 이는 고구마 품종 및 생육조건에 따른 차이인 것으로 보고하였다.

표 5. 지상부 부위별 DPPH 라디칼 소거능 IC_{50} 값 (단위: mg/mL)

구 분	Ascorbic acid	풍원미	호감미	베니하루까	진흥미	신자미	자황
잎		0.60	1.30	1.33	1.03	0.64	0.77
잎자루	0.02	7.90	4.36	4.45	4.19	4.08	10.43
줄기		1.95	2.08	1.97	1.61	2.20	2.31

표 6. 지상부 부위별 ABTS 라디칼 소거능 IC_{50} 값 (단위: mg/mL)

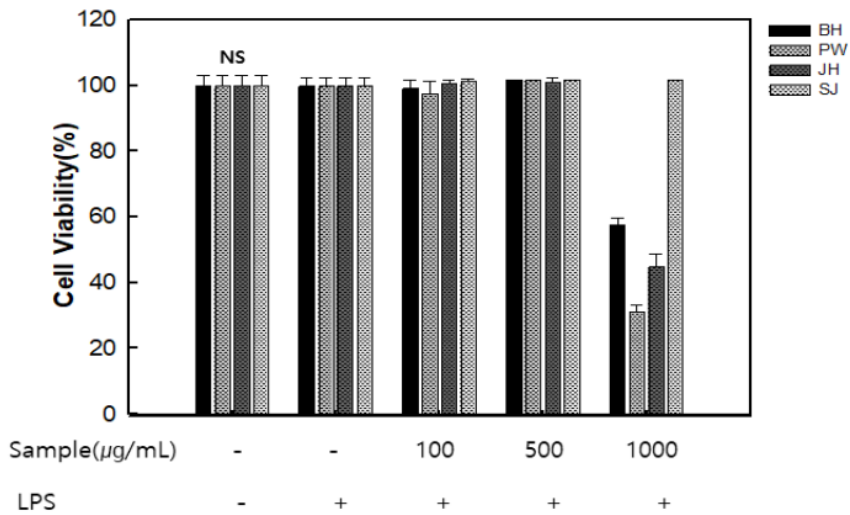
구 분	Ascorbic acid	풍원미	호감미	베니하루까	진흥미	신자미	자황
잎		5.18	6.66	7.66	5.78	5.19	5.05
잎자루	0.46	18.09	27.04	20.89	20.66	27.89	26.15
줄기		9.38	13.05	10.25	5.97	17.72	18.95

항당뇨 활성은 측정 방법 중 α -amylase 저해 활성도 검정하여 IC₅₀ 값을 측정한 결과 호감미, 베니하루까, 풍원미 잎자루에서 활성이 대체적으로 높게 나타났으며, 특히 풍원미 잎자루에서 항당뇨 활성이 좋게 나타났다.

표 7. 지상부 부위별 α -amylase 저해 활성도 IC₅₀값 (단위: mg/mL)

구 분	Acarbose	풍원미	호감미	베니하루까	진홍미	신자미	자황
잎		8.32	8.17	8.99	10.75	17.39	7.92
잎자루	0.92	3.93	4.17	4.40	7.61	8.49	5.66
줄기		4.52	4.61	7.58	7.23	7.14	4.78

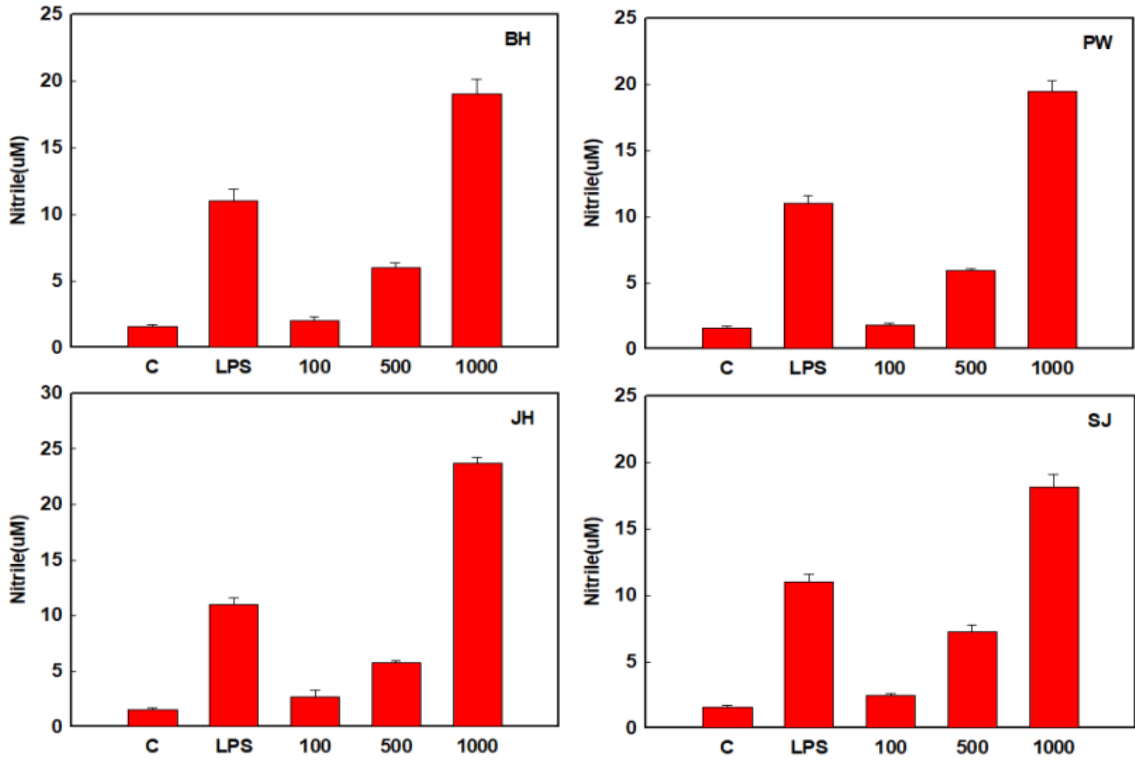
연구 2년차에는 베니하루까, 풍원미, 진홍미, 신자미 총 4품종의 지상부 전체의 항염활성 및 면역활성 검정을 수행하였다. 고구마 지상부 4품종의 70% 에탄올 추출물을 이용하여 RAW264.7 세포생존을 측정결과 신자미는 1,000 μ g/mL의 농도까지 세포 독성이 나타나지 않았으며, 신자미를 제외한 나머지 품종은 500 μ g/mL 농도까지 세포 독성이 나타나지 않았다.



(BH: 베니하루까, PW: 풍원미, JH: 진홍미, SJ: 신자미,)

그림 7. 세포생존율(항염)

NO(Nitrile Oxide) 생성량 측정결과 LPS 처리군에 비해 각 품종은 저농도인 100 μ g/mL에서 75.76~83.84%의 NO 생성 저해율을 보여 품종별 고구마 지상부는 저농도에서 높은 항염 활성을 나타냈다. 베니하루까는 100 μ g/mL서 2.0 μ M의 농도로 LPS 단독 처리군에 비해 약 81.82%의 NO 생성 저해율을 나타냈으며, 풍원미는 100 μ g/mL서 1.8 μ M의 농도로 LPS 단독 처리군에 비해 약 83.84%의 NO 생성 저해율을 나타내 4품종 중 가장 높은 항염활성을 보였다. 진홍미는 100 μ g/mL에서 2.7 μ M의 농도로 LPS 단독 처리군에 비해 약 75.764%의 저해활성을 보였으며, 신자미는 100 μ g/mL에서 2.4 μ M의 농도로 LPS 단독 처리군에 비해 약 77.78%의 저해활성을 나타냈다.



(BH: 베니하루까, PW: 풍원미, JH: 진흥미, SJ: 신자미)

그림 8. NO 생성 저해율

고구마 지상부 4품종의 70% 에탄올 추출물을 이용하여 RAW264.7 세포생존을 측정결과 100 μ g/mL 농도까지 세포독성이 나타나지 않았으며, 농도가 높을수록 품종별로 세포 생존율이 차이가 있는 것으로 나타났으며 1,000 μ g/mL의 고농도에서는 신자미를 제외한 3품종은 낮은 생존율을 나타내 세포독성이 있는 것으로 나타나, 면역활성 효능에 대한 상대적 비교를 위하여 세포독성을 나타내지 않은 500 μ g/mL 농도를 시험시료 농도조건으로 설정하였다.

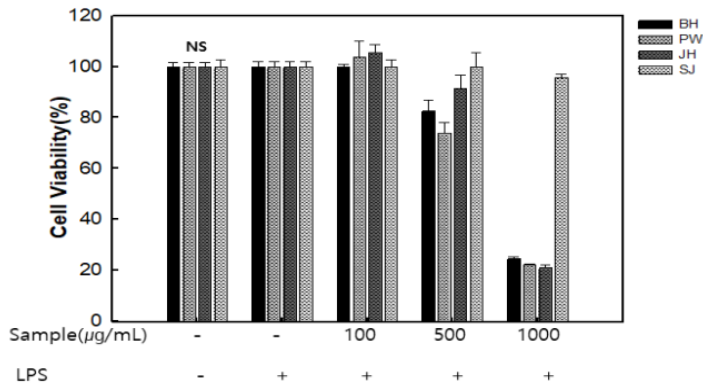


그림 9. 세포생존율(면역)

고구마 지상부에서 추출물의 면역 활성 효과를 검정하기 위해 마우스 대식세포인 RAW 264.7 cell을 사용하여 추출물을 처리하였을 때 사이토카인인 TNF- α 생성량을 측정하였다. 대식세포는 항원의 자극을 받아 활성화 되면 TNF- α , IL-1 β , IL-6, IL-12 그리고 GM-CSF 등을 분비하여 면역 반응을 조절한다. TNF- α 는 종양괴사인자로 알려질 물질로 종양세포를 파괴시키는 사이토카인이다 (김 등, 2013). TNF- α 생성량은 LPS 처리군에서 657.16pg/mL로 아무것도 처리하지 않은 정상세포군의 139.15pg/mL에 비해 약 5배 정도 높아졌으며, LPS와 동시에 처리한 모든 품종의 지상부 추출물에서 TNF- α 의 생성이 억제됨을 확인하였으나, 농도 의존적으로 감소하지는 않았다. 4품종 중 베니하루까 품종의 TNF- α 생성 억제능이 가장 좋은 것으로 나타났다.

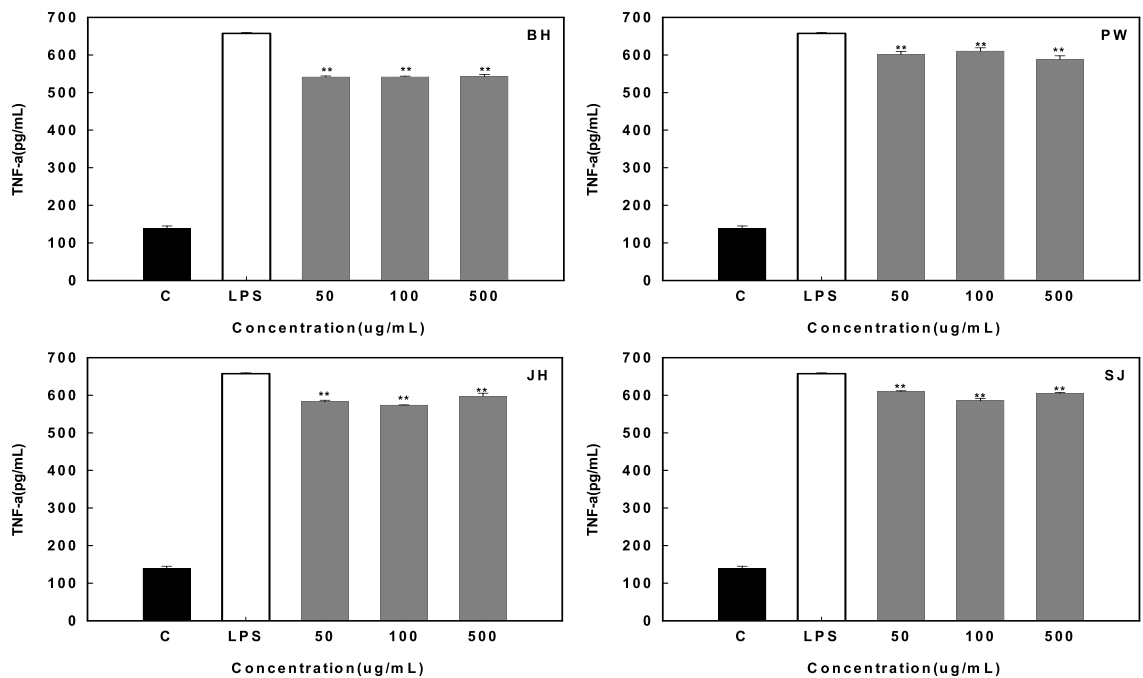


그림 10. TNF- α 생성량

4. 적 요

〈제1세부과제: 고구마 식이섬유 및 기능성 탐색〉

- 가. 지상부 부위별 일반성분 분석 결과 단백질 함량은 잎 부위에서 높았으며, 조섬유는 줄기에서, 회분은 잎자루 부위에서 높게 나타남
- 나. 무기성분 분석 결과 지상부 각 부위에 있는 주요 무기성분으로는 칼슘과 칼륨 이었으며 잎자루에서 함량이 높게 나타났으며, 마그네슘은 잎 부위에서 높게 나타났음
- 다. 식이섬유는 지상부 각 부위별로 수용성, 불용성, 총 식이섬유를 분석하였으며 신자미품종의 줄기 부위의 총식이섬유가 61.77%로 가장 높게 나타났음

- 라. 총카로티노이드 및 베타카로틴 함량 분석 결과 잎 부위가 월등히 높게 나타났으며 품종 중에는 베니하루까가 높은 함량을 나타냈음
- 마. 셀룰로오스는 베니하루까>풍원미>진홍미>신자미 순으로 셀룰로오스 함량이 높게 나타났으며, 4품종의 펙틴함량을 분석한 결과 13.21-28.34 mg/g 수준 이었으며 신자미의 함량이 가장 낮았음
- 바. DPPH, ABTS 라디칼 IC50 값이 잎에서 각각 0.60-1.33mg/mL, 5.05-7.66mg/mL의 수준으로 활성이 가장 높게 나타났으며 다음으로 줄기, 잎자루 순으로 활성이 높게 나타났음
- 사. 항당뇨 효과를 검정한 결과 호감미, 베니하루까, 풍원미 잎자루 부위에서 활성이 대체적으로 높았으며 특히 풍원미 잎자루 부위가 항당뇨 효과가 가장 뛰어났음
- 아. 항염활성 검정을 위해 RAW264.7 세포생존율 측정결과 신자미는 1,0000 μ g/mL의 농도까지 세포 독성이 나타나지 않았으며, 신자미를 제외한 나머지 품종은 500 μ g/mL 농도까지 세포 독성이 나타내 않았음
- 자. 풍원미는 100 μ g/mL서 1.8 μ M의 농도로 LPS 단독 처리군에 비해 약 83.84%의 NO 생성 저해율을 나타내 4품종 중 가장 높은 항염활성을 보였음
- 차. TNF- α 생성량은 LPS 처리군에서 657.16 pg/mL로 무처리 정상세포군의 139.15pg/mL에 비해 약 5배 정도 높아졌으며, LPS와 동시에 처리한 모든 품종의 지상부 추출물에서 TNF- α 의 생성이 억제됨을 확인하였으나, 농도 의존적으로 감소 하지는 않았음. 4품종 중 베니하루까 품종이 TNF- α 생성 억제능이 가장 좋은 것으로 나타났음

5. 인용문헌

- FAO, 1997. Food and Agriculture Organization, FAO production yearbook of Rome. FAO 51.
- Jin S, Chung M.N, Kim J.T, Chi H.Y, Son J.R, 2005. Quality characteristics and antioxidative activities in various cultivars of sweet potato. Korean J. Crop Sci. 50:141-146
- India H, Suzuno H, Sugiyama N, Innami S, Tadokoro T, Maekawa A, 2000. Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes. Food Chem. 68:359-367
- Li Meishan, 2013. Physicochemical Characteristics and Optimization of Funtional Components Extraction in Sweet potato(Ipomoea batatas L.) Leaves and Stalks, Chungbuk University.
- Li L, 1974. Variation in protein content and its relation to other characters in sweet potatoes(Ipomoea bataas L.). Chinese J. Agric assoc 88:17-22

- Jung IC, Kang SJ, Kim JK, Hyon JS, Kim MS, Moon YH. 2003. Effects of addition of perilla leaf powder and carcassgrade on the quality and palatability of pork sausage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 350-355.
- Hamme LK. 1984. Influence of N source, N rate, and K rate on the yield mineral concentration of sweet potato. *J Am Soc Hort Sci* 109: 294-298.
- Yoshimoto M, Kurata R, Okuno S, Ishiguro K, Yamakawa O, Tsubata M, Mori S, Takagaki K. 2006. Nutritional value and physiological functions of sweet potato leaves. *Acta Hort* 703: 107-116.
- Beom HJ, Kang DJ, Lee BD, Shon J, Im S, Eun JB. 2007. Physicochemical characteristics of powder from hot air and freeze dried and roots of *Acorous calamus* L. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1451-1457.
- Liao WC, Lai YC, Yuan MC, Hsu YL, Chan CF. 2011. Antioxidative activity of water extract of sweet potato leaves in Taiwan. *Food Chem* 127: 1224-1228.

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2018(1년)	영농정보	고구마 품종별 지상부의 향산화 및 항당뇨 효과 정보제공
	학술발표	Comparison of general components and Dietary Fiber Contents of Above-ground Parts of Domestic sweet potato "Pungwonmi" (한국식품영양과학회)
	학술발표	Antioxidant activities of Above-ground Parts from different sweet potato (한국식품저장유통학회)
	학술발표	Antidiabetic activities of Above-ground Parts from different sweet potato (한국산업식품공학회)
2019(2년)	학술발표	Anti-inflammatory Effect of Above-ground Parts from Different Sweet Potato (한국산업식품공학회)

성과지표명		연도		1년차(2018)		2년차(2019)		계	
		목 표	실 적	목 표	실 적	목 표	실 적		
학술 발표	국제		2						2
	국내	1	1	1	1	2	2		2
영농 활용	기술								
	정보		1						1
계			4	1	1	2	5		

7. 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
					'18	'19
과제책임자	농식품연구소	농업연구사	박아름	과제 총괄	○	○
세부책임자	농식품연구소	농업연구사	박아름	세부주관 수행	○	○
공동연구자	농식품연구소	농업연구관	김시창	연구자문	○	-
	"	"	권순배	연구자문		○
	"	"	최성진	연구자문	-	○
	"	농업연구사	노희선	시험수행	○	-
	"	"	김희연	시험수행	-	○
	"	"	이효영	시험수행	-	○
	"	공업주사보	최병철	연구지원	○	-
	"	공업서기	정은경	생리활성 검정	○	
	"	운전서기	신경신	생리활성 검정	○	
	"	공무직	이기연	성분 분석	○	-
	"	공무직	김태희	성분 분석	○	○
	"	공무직	배선화	시료 추출	-	○
"	공무직	정은자	시료 전처리	-	○	