식용 자색 고구마 품종 ‘단자미’

이형운^{1*} · 이준설² · 정미남¹ · 양정욱² · 남상식¹ · 한선경¹ · 김재명¹ · 안승현² · 송연상² · 황엄지¹ · 유경단¹ · 고산¹ · 문진영³ · 최규환⁴ · 황세구⁵ · 이안수⁶ · 강영식⁷ · 이경보²

¹농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소, ²농촌진흥청 국립식량과학원, ³경상남도농업기술원,

⁴전라북도농업기술원, ⁵충청북도농업기술원, ⁶강원도농업기술원, ⁷충청남도농업기술원

A Purple-Fleshed Sweetpotato Variety ‘Danjami’ for Table Use

Hyeong-Un Lee^{1*}, Joon-Seol Lee², Mi-Nam Chung¹, Jung-Wook Yang², Sik-Sang Nam¹, Seon-Kyeong Han¹, Jae-Myung Kim¹, Seung-Hyun Ahn², Yeon-Sang Song², Eom-Ji Hwang¹, Gyeong-Dan Yu¹, San Goh¹, Jin-Young Moon³, Kyu-Hwan Choi⁴, Se-Gu Hwang⁵, An-Soo Lee⁶, Young-Sik Kang⁷, and Kyeong-Bo Lee²

¹Bioenergy Crop Research Institute, NICS, RDA, Muan 58545, Republic of Korea

²National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

³Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services, Jinju 52733, Republic of Korea

⁴Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Republic of Korea

⁵Chungcheongbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Cheongju 28130, Republic of Korea

⁶Gangwon-do Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon 24226, Republic of Korea

⁷Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Services, Yesan 32418, Republic of Korea

Abstract ‘Danjami’ was developed in 2015 as a purple-fleshed sweetpotato variety with excellent palatability. It was derived from a cross between ‘Yeonjami’ with purple flesh and ‘Yeonhwangmi’ with good palatability. The storage roots of this variety are elliptical with purple skin, and light purple flesh. It is moderately resistant to fusarium wilt and resistant to root-knot nematode. The texture of the steamed storage root of ‘Danjami’ is slightly moist and more tender than that of ‘Sinjami’. Soluble solid content of steamed storage roots of ‘Danjami’ was 31.3 °Brix, which was 20.8% higher than that of ‘Sinjami’. The palatability of steamed storage roots of ‘Danjami’ was better than that of ‘Sinjami’. The anthocyanin content of storage roots of ‘Danjami’ was 55.1 mg/100g dry weight. Total polyphenol content and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity did not differ from that of ‘Sinjami’. The number of marketable storage roots per plant and the average weight of marketable storage root was 2.8 and 136 g under the normal and late-season culture in ‘Danjami’, respectively. The marketable storage root yield of ‘Danjami’ was 21.5 MT/ha under the normal and late-season culture, which was 78.8% of that of ‘Sinjami’. The yield of marketable storage root over 50 g of ‘Danjami’ was 15.3 MT/ha under the early-season culture, which was 28.8% lower than that under the normal and late-season culture. ‘Danjami’ was more suitable for the normal and late-season culture than for the early-season culture (Registration No. 6465).

Keywords Sweetpotato, Breeding, Purple-flesh, Danjami, Table use

Received on October 14, 2019. Revised on October 30, 2019. Accepted on January 6, 2020.

* Corresponding Author (E-mail: leehu79@korea.kr, Tel: +82-61-450-0141, Fax: +82-61-453-0085)

서 언

고구마는 2017년 세계 재배면적이 9,203천 ha, 생산량은 112,835천 톤으로 옥수수, 밀, 벼, 감자, 콩, 카사바, 보리 다음으로 식량작물 중에서 생산량이 8번째로 많은 중요한 작물이다 (FAO 2019). 고구마는 베타카로틴, 안토시아닌, 비타민(B1, B2, C, E), 미네랄(Ca, Mg, K, Zn), 식이섬유와 같은 유익한 대사산물

을 다량 함유하고 있어 유엔식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)에서 권장하는 건강 식품이다(Kim et al. 2012, Liu et al. 2017, Jang et al. 2019). 자색고구마의 안토시아닌은 항산화 활성, 항돌연변이성이 뛰어나며 염증, 동맥경화증, 암종, 당뇨병 예방 효과가 있다고 보고되었다(Jang et al. 2012, Hu et al. 2016, Jang et al. 2019). 자색고구마의 주요 안토시아닌은 아실화 *p*-hydroxybenzoic acid, ferulic

acid, caffeic acid를 함유한 cyanidin과 peonidin의 3,5-diglucoside 유도체이다(Kim et al. 2012). 자색고구마의 안토시아닌은 아실화 안토시아닌이 93%를 차지하는데(Tsukui et al. 1999), 자색고구마의 아실화 안토시아닌은 열, 빛 안정성이 뛰어나 산업 응용 분야에 적합하다(Montilla et al. 2010). 자색고구마는 천연색소, 주스, 음료, 잼, 빵, 케익, 국수 등 다양한 가공식품의 원료로 이용되고 있다(Lee et al. 2010, Montilla et al. 2010).

국내에서 개발된 자색고구마 품종으로는 1998년에 ‘자미’(Jeong et al. 2000) 품종이 처음 육성되었고, 2000년에 ‘보라미’(Ahn et al. 2002a), 2001년에 ‘신자미’(Ahn et al. 2002b), 2008년에 ‘연자미’(Lee JS et al. 2010) 품종이 육성되었다. ‘자미’ 품종은 ‘건미’ 품종을 모본, ‘Yamakawamurasaki’ 품종을 부본으로 하여 육성되었으며, 대비 품종인 ‘Yamakawamurasaki’ 품종보다 안토시아닌 함량이 높았고 상품괴근수량이 21.4 톤/ha로 많았다. ‘보라미’ 품종은 ‘Yamakawamurasaki’ 품종을 모본, ‘신미’ 품종을 부본으로 하여 생식용으로 육성되었고, 상품괴근수량은 24.5 톤/ha로 대비 품종인 ‘자미’ 품종보다 많았다. ‘신자미’ 품종은 ‘보라미’ 품종과 교배 양친이 같고, 상품괴근수량이 22.2 톤/ha로 ‘자미’ 품종보다 괴근수량이 많았으며 덩굴쪄짐병에 중도저항성으로 ‘자미’보다 강하였다. ‘연자미’ 품종은 ‘Ayamurasaki’ 품종을 모본으로하여 open polycross된 계통으로부터 선발되었으며 대비 품종인 ‘신자미’ 품종보다 덩굴쪄짐병 저항성과 뿌리혹선충 저항성이 강하였고, 식미가 개선되었으며 상품괴근수량이 ‘신자미’보다 많았다.

자색고구마는 찌거나 굽는 등 열을 가하여 조리하는 경우에도 안토시아닌 함량이 생고구마의 56~81% 수준으로 상당량 남아 있기 때문에(Kim et al. 2012) 조리 시에도 기능성 식품으로 이용이 가능하다. 2016년 기준 국내에서 생산된 고구마의 소비 비율은 식용 58.3%, 전분용 10.6%, 식품가공용 4.8%, 사료용 10.0%, 종자용 및 감모 등 기타 16.4%로서 생산량의 절반 이상이 식용으로 소비되고 있는데(Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation 2017, KREI 2018, MAFRA 2018), 기존 자색고구마 품종들은 찌거나 굽는 등 조리시 식미가 다소 떨어져 식용으로 재배되는 데 한계가 있었다. 이에 국립식량과학원 바이오에너지 작물연구소에서는 안토시아닌을 함유하고 있고 기존 자색고구마 품종보다 식미가 우수한 식용 자색고구마 ‘단자미’ 품종을 개발한 바 육성 경위와 주요 특성을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

재배방법 및 특성조사

‘단자미’는 ‘연자미(IT258826)’ 품종을 모본, ‘연황미(IT258821)’ (Lee et al. 2006) 품종을 부본으로 하여 2007년에 인공교배하였다. 2008년부터 2010년까지 실생개체선발시험과 계통육성시험, 2011년부터 2012년까지 생산력검정시험을 수행하여 수량성이 양호하고 괴근의 육색이 담자색이며 식미가 우수한 자색고구마 계통인 ‘MI2007-34-03’을 ‘목포87호’로 계통명을 부여하여 지역적응시험에 공시하였다. 2013년부터 2015년까지 3년간 지역적응시험을 수행하였으며 조기재배는 무안에서, 보통기재배는 강릉(춘천), 청주, 예산, 익산, 무안, 진주 등 6개 지역에서 수행하였다. 분발 정식은 조기재배의 경우 4월 중순, 적기 및 만기재배의 경우 5월 중순 내지 6월 중순에 실시하였고 약 120일 동안 재배하였다. 비닐 멀칭은 진주 지역을 제외하고 흑색 또는 배색 비닐로 피복하여 재배하였다. 농촌진흥청 표준재배법에 따라 재식밀도는 $70 \sim 75 \times 20$ cm, 시비량은 10a당 $N-P_2O_5-K_2O=5.5-6.3-15.6$ kg을 기비로 시비하였고 퇴비는 10a당 1,000 kg을 시용하였다(RDA 2006). 맹아 시기를 조사하기 위해 2월 중순경 전열 온상에 씨고구마를 파종하였다. 맹아시는 씨고구마를 파종한 날로부터 씨고구마에서 싹이 처음 발생한 날까지 소요된 기간을 조사하였고, 맹아기는 씨고구마를 파종한 날로부터 40% 내지 50%의 씨고구마에서 싹이 발생한 날까지 소요된 기간을 조사하였다. 지상부 무게는 괴근 수확 전에 시험구의 지상부를 예취한 후 생체 무게를 측정하여 ha당 무게로 환산하였다. 생고구마의 무게가 50 g 이상인 것을 상품괴근으로 하여 주당상품괴근수는 상품괴근의 개수를 정식 주수로 나누어 구하였고, 상품괴근평균중은 상품괴근의 무게를 상품괴근의 수로 나누어 구하였다. 상품괴근수량은 상품괴근의 무게를 ha당 생산량으로 환산하였다. 고유특성과 주요 농업적 특성, 생육, 수량구성요소, 수량 조사는 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA 2012), 작물별 특성 조사 기준(KSVS 2011), 농촌진흥청 신품종개발공동연구사업 과제수행계획서 조사 기준에 준하여 실시하였다(RDA 2013, 2014b, 2015b). 고구마 괴근 겉질과 내부 육색의 색도 측정은 Spectrophotometer (CM-3500d, Minolta, Japan)를 이용하였으며, 명도(lightness, L^*), 적색도(redness, a^*), 황색도(yellowness, b^*) 값으로 나타내었다. 통계분석은 R version 3.5.3 (R Core Team 2019) 프로그램을 이용하여 two-sample *t*-test 방법으로 품종 간 유의성을 검정하였다.

병해충 저항성 검정

고구마 덩굴쪼김병 저항성 검정을 위하여 감수성 대비 품종으로 '보라미', 중도저항성 대비 품종으로 '신자미', 저항성 대비 품종으로 '신건미'(Ahn et al. 2002c)를 공시하였다. 시험 계통 및 대비 품종의 묘 길이는 20 cm로 하여, 잎을 5개 가량 남긴 후 1×10^7 conidia/mL 농도의 *Fusarium oxysporum* 포자 현탁액에 24시간 침지 처리하였다. 덩굴쪼김병 상습 발생포장에 6월에 정식하였고 저항성 반응은 도관의 갈변, 고사주 발생 정도를 대비 품종과 비교하여 조사하였다. 고구마뿌리혹선충 저항성 검정은 원예용상토, 발효, 모래를 4:2:1로 섞은 토양을 멸균하여 사용하였다(Choi et al. 2006). 고구마뿌리혹선충 저항성 대비 품종으로 '주황미'(Ahn et al. 2006), 감수성 대비 품종으로 '올미'를 공시하였다. 고구마뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*) 접종을 위하여 시험 계통 및 품종의 묘를 포트에 이식하여 온실($25 \pm 5^\circ\text{C}$)에서 5일간 재배하였다. 뿌리혹선충 접종은 포트당 알 3,000 개를 접종하였으며 7반복으로 수행하였다. 난랑 조사는 접종 후 8주 가량 지난 후 실시하였고, 뿌리를 깨끗이 씻은 후 0.015% Phloxine B 용액에 15분간 침지하여 뿌리에 형성된 난랑을 염색한 다음 난랑의 개수를 측정하였다. 뿌리혹선충에 대한 저항성 반응은 뿌리에 형성된 뿌리혹선충의 난랑 개수가 감수성 대비 품종인 '올미'의 뿌리에 형성된 난랑 개수의 10% 이하이면 저항성(R, Resistance), 11~25%는 중도저항성(MR, Moderate resistance), 25%를 초과하면 감수성(S, Susceptibility)으로 판정하였다(Choi et al. 2006, Fassuliotis 1985).

품질분석

건물물은 생고구마를 잘게 썰어 100 g을 칭량한 다음 80°C 에서 48시간 열풍 건조한 후 건물 무게를 칭량하여 건조 후 무게를 건조 전 무게로 나눈 다음 100을 곱하여 구하였다. 찌고구마 육질의 경도는 Texture analyser (TA-XT plus, UK)를 이용하여 측정하였다. 경도 측정을 위한 시료는 찌고구마를 가로, 세로, 높이가 각 1 cm가 되도록 잘라 채취한 후 직경이 36 mm인 프로브를 이용하여 Strain 80%, pre-test speed는 2 mm sec^{-1} , test speed는 1 mm sec^{-1} 로 측정하였다. 생고구마와 찌고구마 유리당 함량 분석은 동결건조하여 얻은 생고구마 분말 1 g과 찌고구마 분말 0.5 g을 각각 80% ethanol 10 mL로 교반시킨 후 10분간 초음파 처리하였다. 4°C , 3,500 rpm 조건에서 10분간 원심분리한 후 0.45 μm PVDF syringe filter를 이용하여 상등액을 필터링하였다. 이동상 조건은 acetonitrile : water = 75 : 25 (v/v)로 하였다. 분석 컬럼은 Zorbax Carbohydrate $4.6 \times 250 \text{ mm}$,

5 μm (Agilent Technologies, USA)를 이용하여, HPLC (Waters Co., USA)로 분석하였다. 찌고구마 당도는 찌고구마 20 g에 물 80 mL를 넣고 50초간 분쇄한 다음 굴절당도계(PR-32 α , ATAGO, Japan)를 이용하여 값을 측정한 후 희석배수를 곱하여 구하였다. 찌고구마의 식미 평가는 대비 품종인 '신자미'의 식미 점수를 5.0 기준으로 하여 대비 품종 대비 매우 나쁨(1.0), 나쁨(3.0), 대등(5.0), 좋음(7.0), 매우 좋음(9.0)으로 식미 점수를 부여하였다. 총 안토시아닌 함량 측정은 pH differential method (Lee et al. 2005)를 이용하여 측정하였다. 고구마 동결건조 분말 0.25 g에 0.1% HCl이 함유된 Methanol을 10 mL 가하여 10분간 3회 초음파 추출하였고, 추출액을 원심분리하여 상등액을 사용하였다. 상등액은 0.45 μm membrane filter (PTFE, 13 mm, Whatman)으로 여과하여 50 μL 를 취하고 950 μL 의 0.025 M potassium chloride buffer (pH 1.0)와 0.4 M sodium acetate buffer (pH 4.5)에 각각 혼합한 후 15분간 발색시켰다. 반응액은 UV/Vis spectrophotometer (GB/Libra S22, Biochrom, UK)를 이용하여 520 nm와 700 nm에서 각각의 흡광도를 측정하였으며 총 안토시아닌 함량은 아래의 식을 이용하여 산출하였다.

안토시아닌 함량(cyanidin-3-glucoside equivalents, mg/L)

$$= (A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 10^3) / \varepsilon \times 1$$

A = $(A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})\text{pH } 1.0 - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})\text{pH } 4.5$

MW (Molecular weight)

$$= 449.2 \text{ g/mol (cyanidin-3-glucoside의 1 mol 당 분자량)}$$

DF (Dilution factor) = 희석배수

$$\varepsilon = 26,900 \text{ molar absorptivity}$$

총폴리페놀 함량은 Lee et al. (2010)의 방법을 변형하여 사용하였으며, 고구마 동결건조 분말 1 g에 80% 메탄올을 가하여 상온에서 24시간 진탕 추출하였다. 추출물 100 μL , 증류수 900 μL , 2 N Folin & Ciocalteu's phenol reagent (Sigma-Aldrich Co., Switzerland) 500 μL 를 첨가하고 20% Na_2CO_3 용액 2.5 mL를 가한 후 실온에서 20분 반응시켰다. 반응액은 UV/Vis spectrophotometer를 사용하여 735 nm에서 흡광도 값을 측정하였다. 표준물질로 chlorogenic acid (HWI, Germany)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 시료 100 g 중의 g chlorogenic acid로 나타내었다. 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 라디칼 소거 활성은 Blois (1958)의 방법으로 측정하였다. 고구마 동결건조 분말 1 g을 80% 메탄올로 진탕 추출한 추출물 1 mL에 200 μM DPPH (Sigma-Aldrich Co., USA) 용액 2.5 mL를 첨가하여 혼합

한 후 실온에서 1분간 반응 시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였으며 시료 추출물의 첨가군과 무첨가군 사이의 흡광도 차이를 백분율로 나타내었다.

DPPH radical scavenging activity (%)

$$= [(시료 무첨가군 흡광도 - 시료 첨가군 흡광도) / 시료 무첨가군 흡광도] \times 100$$

결과 및 고찰

육성경위

‘단자미’는 식미가 우수한 자색고구마 품종을 육성하기 위하여 자색고구마 ‘연자미(IT258826)’ 품종을 모본으로, 식미가 우수한 ‘연황미(IT258821)’ 품종을 부본으로 하여 2007년에 인공교배 하였다. 2008년부터 2010년까지 실생개체선발시험 및 계통육성시험을 수행하였고, 2011년부터 2012년까지 생산력 검정시험을 수행하여 수량성이 양호하고 괴근의 육색이 담자색

Fig. 1. Genealogical diagram of ‘Danjami’.

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Generation	Crossing	Seedling 1st year	Seedling 2nd year	Seedling 3rd year	Seedling 4th year	Seedling 5th year	Seedling 6th year	Seedling 7th year	Seedling 8th year
Yeonjami (IT258826) × Yeonhwangmi (IT258821)		1	MI2007-34-03	→	→	→	Danjami (Mokpo87)		
		3							
		825							
Selection and trial steps		Seedling selection	Line selection		Preliminary yield trial	Advanced yield trial	Regional yield trial		

Fig. 2. Pedigree diagram of ‘Danjami’.

이며 식미가 우수한 자색고구마 계통인 ‘MI2007-34-03’을 선발하였으며 ‘목포87호’로 계통명을 부여하여 지역적응시험에 공시하였다. 지역적응시험은 조기재배는 무안에서, 보통기재배는 강릉(춘천), 청주, 예산, 익산, 무안, 진주 등 6개 지역에서 2013년부터 2015년까지 3년간 수행하였다. 지역적응시험을 수행한 결과 식미 관련 품질특성, 뿌리혹선충 저항성이 대비 품종인 ‘신자미’보다 우수하여(RDA 2014a, 2015a, 2016) 2015년 12월 농촌진흥청 농작물직무육성신품종선정위원회에서 신품종으로 선정되었으며 품종명은 국민 대상 공모를 통해 ‘단자미’라 명명하였다. ‘단자미’의 육성과정과 계통도는 Figs. 1, 2와 같다.

주요특성

1. 고유특성

‘단자미’의 잎 모양은 열편이 없는 심장형이고, 잎 색깔은 녹색이며 엽맥의 안토시아닌 분포 정도는 매우 작다. 지상부의 안토시아닌 발현 정도는 끝잎과 잎자루는 없고, 줄기와 마디는 중간 정도이다(Table 1). ‘단자미’의 괴근 껍질색은 자색, 괴근 육색은 담자색으로 ‘신자미’ 괴근의 껍질색과 육색보다 자색의 진한 정도가 열다(Table 2, Fig. 3). Park et al. (2011)은 고구마의 육색이 밝은 붉은 색을 띠는 경우 Spectrophotometer로 측정한 a값(적색도)이 높고, 검붉은 색을 띠는 경우 a값이 낮다고 하였는데, ‘단자미’ 괴근 껍질색과 육색의 a값이 ‘신자미’보다 높았다(Table 3). ‘단자미’의 괴근 모양은 방추형이고 장폭비가 3.3으로 ‘신자미’와 차이가 없었으며 괴근의 눈 깊이가 얕다(Table 2).

2. 농업적 특성 및 병해충 저항성

‘단자미’의 맹아시와 맹아기까지 소요된 기간은 씨고구마 파종일로부터 각각 12일과 16일이었으며 ‘신자미’보다 3일 내지 5일 가량 빨랐다. 조기재배시 ‘단자미’의 주경 길이는 237.0 cm로 ‘신자미’보다 길었으며, 덩굴무게는 44.3 MT/ha으로 ‘신자미’와

Table 1. Mature vine characteristics of ‘Danjami’ on field at harvesting stage.

Variety	No. of leaf blade lobes	Depth of leaf blade lobe	Leaf color	Extent of anthocyanin coloration on abaxial veins	Anthocyanin coloration			
					Tip	Petiole	Internode	Node
Danjami	Absent (Cordate)	-	Green	Very small	Absent	Absent	Medium	Medium
Sinjami	3	Shallow	Green	Small	Medium	Absent	Weak	Medium

Table 2. Storage root characteristics of ‘Danjami’.

Variety	Skin color	Flesh color	General shape	Length/width ratio	Depth of eyes
Danjami	Purple	Light purple	Elliptic	3.3±0.9 ^{ns}	Shallow
Sinjami	Dark purple	Purple	Elliptic	3.2±0.6 ^z	Shallow

^zMean±SE (n=3).

Not significant (ns) in the *t*-test.

Table 3. Chroma value of storage root of ‘Danjami’.

Variety	Chroma value ^z					
	Skin			Flesh		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Danjami	38.9±0.9 ^{ns}	12.4±0.1*	6.5±0.8 ^{ns}	34.1±0.7*	28.5±1.0*	-8.6±0.8 ^{ns}
Sinjami	40.2±1.4 ^y	8.7±0.6	9.3±0.7	27.9±1.3	24.2±0.6	-6.6±0.4

^zL, Lightness: black=0, white=100; a, redness to greenness: green=-80, red=+80; b, yellowness to blueness: blue=-80, yellowness=+80.

^yMean±SE (n=3).

Not significant (ns) in the *t*-test, while * significant at *p*<0.05.

Fig. 3. Raw storage roots of ‘Danjami’ (left) and ‘Sinjami’ (right).

차이가 없었다. ‘단자미’의 주당상품괴근수와 상품괴근평균중은 각각 2.3개, 104.3 g으로 ‘신자미’와 차이가 없었다(Table 4). 적기 및 만기재배시 ‘단자미’의 주경 길이는 460.0 cm로 ‘신자미’보다 길었고, 덩굴무게는 39.8 MT/ha으로 ‘신자미’와 차이가 없었다. 주당상품괴근수는 2.8개였으며 상품괴근평균중은 136 g으로 ‘신자미’보다 낮았다(Table 5). 덩굴쪼김병 저항성 검정 결과 감수성 품종인 ‘보라미’의 경우 줄기의 도관이 전체적으로 황화되었고 대부분 고사하였으나 ‘단자미’는 도관의 황화 정도, 고사주 발생 정도가 중도저항성 대비 품종인 ‘신자미’ 품종과

비슷한 수준이었으며 중도저항성인 것으로 판정하였다. 고구마 뿌리흑선충 저항성 정도를 검정하기 위해 알 접종 후 뿌리에 형성된 난낭 수를 조사한 결과 감수성 품종인 ‘율미’에서는 평균 361.9개, 저항성 품종인 ‘주황미’에서는 평균 1.6개의 난낭이 형성되었다. ‘단자미’의 뿌리에 형성된 난낭수는 평균 20.1개로 감수성 품종인 ‘율미’의 뿌리에 형성된 난낭수의 5.6% 수준이었으며 감수성 품종 대비 10% 이하이므로 저항성 품종인 것으로 판정하였다(Table 6).

Table 4. Agronomic characteristics, yield components, and yield of ‘Danjami’ on regional yield trial under early-season cultivation.

Variety	Sprout appearance (DAP) ^z	Date of sprouting (DAP)	Vine length (cm)	Vine weight (MT/ha)	No. of marketable storage root per plant	Avg. weight of marketable storage root (g)	Marketable storage root yield (MT/ha)
Danjami	12.0±1.0*	16.0±0.6*	237.0±27.0**	44.3±11.7 ^{ns}	2.3±0.3 ^{ns}	104.3±17.2 ^{ns}	15.3±3.0*
Sinjami	15.3±0.3 ^y	21.0±1.2	100.0±11.2	42.2±13.9	2.8±0.1	148.0±12.2	28.0±3.4

^zDAP: Days after planting.

^yMean±SE (n=3).

Not significant (ns) in the *t*-test, while * and ** significant at *p*<0.05 and *p*<0.01, respectively.

Table 5. Agronomic characteristics and yield components of ‘Danjami’ on regional yield trial under optimum and late-season cultivation.

Variety	Vine length (cm)	Vine Weight (MT/ha)	No. of marketable storage root per plant	Avg. weight of marketable storage root (g)
Danjami	460.0±31.9**	39.8±1.0 ^{ns}	2.8±0.3 ^{ns}	136.0±1.8*
Sinjami	193.6±13.6 ^z	35.7±2.0	3.0±0.3	162.0±7.1

^zMean±SE (n=3).

Not significant (ns) in the *t*-test, while * and ** significant at *p*<0.05 and *p*<0.01, respectively.

Table 6. Reaction to fusarium wilt and root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) of ‘Danjami’.

Variety	Fusarium wilt	Root-knot nematode ^y	No. of egg mass per plant
Danjami	MR ^z	R	20.1±6.2 ^x
Yulmi	-	S (Susceptible check)	361.9±22.6
Juhwangmi	-	R (Resistant check)	1.6±0.8
Singeonmi	R (Resistant check)	-	-
Sinjami	MR (Moderately resistant check)	MR	42.7±7.5
Borami	S (Susceptible check)	-	-

^zR: Resistance, MR: Moderate resistance, S: Susceptibility.

^yResistance was determined by number of egg masses per plant. R: ≤10% of a susceptible cultivar (Yulmi), MR: 11~25%, S: >25%.

^xMean±SE (n=7).

3. 품질특성

‘단자미’는 건물률이 35.7%으로 ‘신자미’보다 높았다. 찢고구마의 경도는 1,625 g으로 ‘신자미’의 2,373 g보다 31.5% 낮았으며, 찢고구마 육질이 약점질로 ‘신자미’보다 부드럽다. ‘단자미’의 생고구마와 찢고구마 유리당 함량은 각각 9.2 g/100 g dw, 36.0 g/100 g dw이었으며, 찢고구마 당도는 31.3 °Brix로 신자미보다 20.8% 높았다. ‘단자미’의 찢고구마 식미는 6.2로 신자미(5.0) 보다 우수하였다. ‘단자미’ 괴근의 총안토시아닌 함량은 55.1 mg/100 g dw이었다. ‘단자미’의 총폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성은 각각 2.5 CAE g/100 g dw, 77.2%였으며 ‘신자미’와 비슷하였다(Table 7).

4. 수량성

‘단자미’는 생산력검정시험에서 상품괴근수량이 21.6 MT/ha

으로 ‘신자미’의 89% 수준이었다(Table 8). 적기 및 만기재배시 6개 지역 평균 상품괴근수량이 21.5 MT/ha으로 ‘신자미’의 79% 수준이었으며, 지역별로는 ‘신자미’의 52% 내지 88% 수준이었다(Table 9). ‘단자미’는 조기재배시 상품괴근수량이 15.3 MT/ha으로 보통기재배 21.5 MT/ha의 71.2% 수준이었다(Tables 4, 9).

5. 적응지역 및 재배상 유의점

‘단자미’는 산간 고랭지를 제외한 전국에서 재배가 가능하고, 덩굴쪼감병에 대한 저항성이 중도저항성으로 덩굴쪼감병 발생이 심한 토양에서 재배할 경우 유의하여야 한다(Table 6). ‘단자미’는 조기재배시 상품괴근수량이 떨어질 수 있으므로 보통기재배가 적합하다.

Table 7. Quality characteristics of storage root of ‘Danjami’.

Variety	Dry matter content (%)	Hardness of steamed storage root (g)	Texture of steamed storage root	Total sugar contents (g/100 g dw)		°Brix of steamed storage root	Palatability (1-9)	Total anthocyanin (mg/100 g dw)	Total polyphenol (CAE g/100 g dw)	DPPH radical scavenging activity (%)
				Raw	Steaming					
Danjami	35.7±1.7 ^{ns}	1,625±222 ^{ns}	Slightly moist	9.2±1.7 ^{ns}	36.0±10.4 ^{ns}	31.3±1.5 ^{ns}	6.2±0.2*	55.1±3.8**	2.5±0.2 ^{ns}	77.2±3.9 ^{ns}
Sinjami	30.4±1.7 ^z	2,373±153	Intermediate	8.9±0.1	40.0±9.4	25.9±2.4	5.0±0.0	229.8±7.3	2.5±0.1 ^y	79.6±4.9

^zMean±SE (n=3), ^yMean±SE (n=8).Not significant (ns) in the *t*-test, while * and ** significant at *p*<0.05 and *p*<0.01, respectively.**Table 8.** Storage root yield (MT/ha) over 50 g of ‘Danjami’ on preliminary and advanced yield trials.

Variety	Storage root yield (MT/ha)			
	2011	2012	Mean	Index ^z
Danjami	22.5	20.6	21.6	89
Sinjami	22.4	25.8	24.1	100

^z(Yield of ‘Danjami’ / yield of ‘Sinjami’) × 100.**Table 9.** Marketable storage root yield (MT/ha) of ‘Danjami’ on regional yield trial under optimum and late season cultivation at six regions.

Region	Danjami (Mt/ha)				Index ^z (A/B)	Sinjami (MT/ha)			
	2013	2014	2015	Mean (A)		2013	2014	2015	Mean (B)
Muan	15.0	30.8	33.3	26.4	81	16.8	35.2	45.8	32.6
Gangreung (Chuncheon)	(15.8)	35.4	20.3	23.8	83	(22.6)	39.2	24.3	28.7
Cheongju	21.8	18.0	25.0	21.6	85	20.7	28.4	27.2	25.4
Yesan	-	-	27.8	27.8	76	-	-	36.5	36.5
Iksan	20.2	20.6	32.2	24.3	88	33.8	15.5	33.7	27.7
Jinju	12.2	6.2	13.1	10.5	52	20.8	20.5	19.5	20.3
Mean	17.0	22.2	25.3	21.5 ^{ns}	79	22.9	27.8	31.2	27.3

^z(Yield of ‘Danjami’ / yield of ‘Sinjami’) × 100.Not significant (ns) in the *t*-test.

적 요

‘단자미’는 식미가 우수한 자색고구마 품종을 개발하기 위하여 자색고구마 ‘연자미’ 품종과 식미가 우수한 ‘연황미’ 품종을 교배하여 2015년에 육성한 고구마 품종이다. ‘단자미’의 괴근 껍질색은 자색, 육색은 담자색이고, 괴근 모양은 방추형이다. 덩굴쪼김병에 중도저항성이며 ‘신자미’보다 고구마뿌리혹선충에 저항성이 강하다. 찢고구마 육질은 약점질로 ‘신자미’ 품종보다 부드럽다. ‘단자미’의 찢고구마 당도는 31.3 °Brix로 ‘신자미’보다 20.8% 높았고, 식미가 ‘신자미’보다 우수하였다. ‘단자미’ 괴근의 총안토시아닌 함량은 55.1 mg/100 g dw이었다. 총폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성은 ‘신자미’ 품종과 차이가

없었다. 적기 및 만기재배시 ‘단자미’의 주당상품괴근수는 2.8개, 상품괴근평균중은 136 g이었으며, 상품괴근수량은 21.5 MT/ha으로 ‘신자미’의 79% 수준이었다. ‘단자미’는 조기재배시 상품괴근수량이 15.3 MT/ha으로 보통기재배시 상품괴근수량보다 28.8% 낮았으며, 보통기재배에 적합하였다(품종보호권 등록번호: 제6465호, 2017. 2. 7.).

사 사

본 ‘단자미’ 품종은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 고구마 육성계통 생산력 검정시험, 세부과제번호: PJ00871602)의 지원에 의해 이루어졌다. ‘단자미’를 육성함에 있어 협력하여 주신

국립식량과학원 및 바이오에너지작물연구소 고구마 연구진, 각도 농업기술원 지역적응시험 담당자분들과 농촌진흥청 연구정책국 관계관 여러분들께 깊은 감사를 드리는 바이다.

REFERENCES

- Ahn YS, Jeong BC, Chung MN, Lee JS, Oh YH, Min KS, Lee JH, Kim ES, Ryu IM. 2002a. A new sweetpotato cultivar, "Borami" with light purple flesh suitable for fresh food and processing. *Korean J Breed* 34: 132-133.
- Ahn YS, Jeong BC, Chung MN, Lee JS, Oh YH. 2002b. A new purple-flesh and high anthocyanin sweetpotato variety, "Sinjami". *Korean J Breed* 34: 379-380.
- Ahn YS, Chung MN, Jeong BC, Lee JS, Oh YH. 2002c. A new sweetpotato variety resistant to Fusarium Wilt, "Singeonmi". *Korean J Breed* 34: 381-382.
- Ahn YS, Chung MN, Lee JS, Jeong BC. 2006. A new sweetpotato variety for food and processing, "Juhwangmi". *Korean J Breed* 38: 69-70.
- Blois MS. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
- Choi DR, Lee JK, Park BY, Chung MN. 2006. Occurrence of root-knot nematodes in sweet potato fields and resistance screening of sweet potato cultivars. *Korean J Appl Entomol* 45: 211-216.
- Fassuliotis G. 1985. The role of nematologist in the development of resistance cultivars. pp. 234-240. In: Sasser JN, Cater CC (eds.) *An advanced treatise on Meloidogyne*. Vol. I: Biology and Control. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Accessed May 6, 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Hu Y, Deng L, Chen J, Zhou S, Liu S, Fu Y, Yang C, Liao Z, Chen M. 2016. An analytical pipeline to compare and characterise the anthocyanin antioxidant activities of purple sweet potato cultivars. *Food Chemistry* 194: 46-54.
- Jang HH, Park MY, Kim HW, Lee YM, Hwang KA, Park JH, Kwon O. 2012. Black rice (*Oryza sativa* L.) extract attenuates hepatic steatosis in C57BL/6 J mice fed a high-fat diet via fatty acid oxidation. *Nutrition and Metabolism* (London) 9: 27.
- Jang HH, Kim HW, Kim SY, Kim SM, Kim HB, Lee YM. 2019. *In vitro* and *in vivo* hypoglycemic effects of cyanidin 3-caffeoyl-p-hydroxybenzoylsophoroside-5-glucoside, an anthocyanin isolated from purple-fleshed sweet potato. *Food Chem* 272: 688-693.
- Jeong BC, Ahn YS, Chung MN, Lee JS, Jeong KB, Oh YB, Jeong DH, Cho SY, Min KS, Lee JS, Kim ES, Kim TG, Park SJ. 2000. A new purple colored sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) cultivar, "Zami" for processing. *Korean J Breed* 32: 91-92.
- Kim HW, Kim JB, Cho SM, Chung MN, Lee YM, Chu SM, Che JH, Kim SN, Kim SY, Cho YS, Kim JH, Park HJ. 2012. Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, Shinzami, as affected by steaming and baking. *Food Chem* 130: 966-972.
- Korea Rural Economic Institute (KREI). 2018. 2017 FOOD BALANCE SHEET. KREI, Naju, Korea. ISBN No. 979-11-6149-297-1. Accessed May 6, 2019. <http://library.krei.re.kr/pyxis-api/1/digital-files/077550c7-3128-4605-9277-8d82a8f9cef4>
- Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation. 2017. 2017 Survey on raw material consumption in food industry. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation., Naju, Korea. Accessed May 6, 2019. <http://library.mafra.go.kr/skyblueimage/26408.pdf>
- Korea Seed & Variety Service (KSVS). 2011. Characteristics investigation method of sweetpotato for evaluation of new variety. KSVS, Suwon, Korea. Accessed May 6, 2019. <http://www.seed.go.kr/seed/192/subview.do>
- Lee HK, Hwang IG, Kim HY, Woo KS, Lee SH, Woo SH, Lee J, Jeong HS. 2010. Physicochemical characteristic and antioxidant activities of cereals and legumes in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1399-1404.
- Lee JM, Durst RW, Wrolstad RE, Barnes KW, Eisele T, Giusti MM, Hache J, Hofsommer H, Koswig S, Krueger DA, Kupina S, Martin SK, Martinsen BK, Miller TC, Paquette F, Ryabkova A, Skrede G, Trenn U, Wightman JD. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *J AOAC Int* 88: No. 5.
- Lee JS, Ahn YS, Kim HS, Chung MN, Kim JJ, Kim JM, Jeong BC, Bang JK. 2006. A new sweetpotato cultivar for table use, "Yeonhwangmi". *Korean J Breed* 38: 149-150.
- Lee JS, Ahn YS, Chung MN, Kim HS, Jeong KH, Bang JK, Song YS, Shim HK, Han SK, Suh SJ. 2010. A new purple sweetpotato cultivar for table use 'Yeonjami'. *Korean*

- J Breed Sci 42: 679-683.
21. Liu X, Xiang M, Fan Y, Yang C, Zeng L, Zhang Q, Liao Z. 2017. A root-preferential DFR-Like gene encoding dihydrokaempferol reductase involved in anthocyanin biosynthesis of purple-fleshed sweet potato. *Front Plant Sci* 8: 279.
 22. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2018. 2018 Agriculture, food and rural affairs statistics. MAFRA, Sejong, Korea. Publication No. 11-1543000-0001 28-10. Accessed May 6, 2019. <http://library.mafra.go.kr/skyblueimage/27470.pdf>
 23. Montilla EC, Hillebrand S, Butschbach D, Baldermann S, Watanabe N, Winterhalter P. 2010. Preparative isolation of anthocyanins from Japanese purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties by high-speed countercurrent chromatography. *J Agric Food Chem* 58: 9899-9904.
 24. Park JS, Bae JO, Chung BW, Jung MY, Choi DS. 2011. Degradation kinetics of anthocyanin pigment solutions from purple-fleshed sweet potato cultivars. *Korean J Food & Nutr* 24: 559-566.
 25. R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Austria. <https://www.R-project.org/>
 26. Rural Development Administration (RDA). 2006. Sweetpotato cultivation. RDA, Suwon, Korea. Publication No. 11-13900 00-001644-01. Accessed May 6, 2019. <http://203.241.55.164/ezpdf/customLayoutNew3.jsp?contentId=2F2F493A2F2F646C5F696D6167652F494D472F32392F2F303030303030303134303932332F534552564943452F3030303030303134303932335F30312E504446>
 27. Rural Development Administration (RDA). 2012. Standard of analysis and survey for agricultural research. RDA, Suwon, Korea. Publication No. 11-1390000-003149-10.
 28. Rural Development Administration (RDA). 2013. 2013 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop. RDA, Suwon, Korea. pp. 121-125. Publication No. 11-1390000-002747-10.
 29. Rural Development Administration (RDA). 2014a. 2013 Project report of collaborative research program to develop new variety of summer crop. RDA, Suwon, Korea. pp. 553-571. Publication No. 11-1390000-000377-10.
 30. Rural Development Administration (RDA). 2014b. 2014 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop. RDA, Suwon, Korea. pp. 131-138. Publication No. 11-1390000-002747-10.
 31. Rural Development Administration (RDA). 2015a. 2014 Project report of collaborative research program to develop new variety of summer crop. RDA, Jeonju, Korea. pp. 489-508. Publication No. 11-1390000-003860-10.
 32. Rural Development Administration (RDA). 2015b. 2015 Project plan for collaborative research program to develop new variety of summer crop. RDA, Jeonju, Korea. pp. 133-140. Publication No. 11-1390000-003859-10.
 33. Rural Development Administration (RDA). 2016. 2015 Project report of collaborative research program to develop new variety of summer crop. RDA, Jeonju, Korea. pp. 495-517. Publication No. 11-1390000-003860-10.
 34. Tsukui A, Sukuki A, Komaki K, Terahara N, Yamakawa O, Hayashi K. 1999. Stability and composition ratio of anthocyanin pigments from *Ipomoea batatas* Poir. *J Jpn Soc Food Sci Technol* 46: 148-154.