J Plant Biotechnol (2018) 45:190-195
DOI:https://doi.org/10.5010/JPB.2018.45.3.190

ISSN 1229-2818 (Print)
ISSN 2384-1397 (Online)

Review

세계 고구마 재배현황 및 대량생산의 선결과제

김호수 · 이찬주 · 김소은 · 지창윤 · 김성태 · 김진석 · 김상용 · 곽상수

Current status on global sweetpotato cultivation and its prior tasks of mass production

Ho Soo Kim · Chan-Ju Lee · So-Eun Kim · Chang Yoon Ji · Sung-Tai Kim · Jin-Seog Kim · Sangyong Kim · Sang-Soo Kwak

Received: 17 September 2018 / Revised: 17 September 2018 / Accepted: 21 September 2018
ⓒ Korean Society for Plant Biotechnology

Abstract Sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] represents an attractive starch crop that can be used to facilitate solving global food and environmental problems in the 21st century. It can be used as industrial bioreactors to produce various high value-added materials, including bio-ethanol, functional feed, antioxidants, as well as food resources. The non-profit Center for Science in the Public Interest (CSPI) announced sweetpotato as one of the ten 'super foods' for better health, since it contains high levels of low molecular weight antioxidants such as vitamin-C, vitamin-E and carotenoids, as well as dietary fiber and potassium. The United States Department of Agriculture (USDA) also reported that sweetpotato is the best bioenergy crop among starch crops on marginal lands, that does not affect food security. The Food and Agriculture Organization (FAO) estimated that world population in 2050 will be 9.7 billion, and require approximately 1.7 times more food than today. In this respect, sweetpotato will be a solution to solving problems such as food, energy, health, and environment facing the globe in the 21st century. In this paper, the current status of resources, and cultivation of sweetpotato in the world was first described. Development of a new northern route of the sweetpotato and its prior tasks of large scale cultivation of sweetpotato, were also described in terms of global food security, and production of high-value added biomaterials.

Keywords Sweetpotato, Mass production, Food security, Biomaterials, Marginal land, Genetic resources

H. S. Kim · C.-J. Lee · S.-E. Kim · S.-S. Kwak (✉)
한국생명공학연구원 식물시스템공학연구센터
(Plant Systems Engineering Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), Yuseong, Daejeon 34141, Korea)
e-mail: sskwak@kribb.re.kr

C. Y. Ji · S.-T. Kim
(주)한국과기산업 기업부설연구소
(Research & Development Center, Korea Scientific Technique Industry Co., Ltd., 67, Saneop-ro 92, Gwonseon-gu, Suwon-si 16643, Korea)

J.-S. Kim
한국화학연구원 친환경신물질연구센터
(Research Center for Eco-Friendly New Materials, Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT), Yuseong, Daejeon 34114, Korea)

S. Kim
한국생산기술연구원 청정화학응용소재그룹
(Green Chemistry and Materials Group, Korea Institute Technology (KITECH), Cheonan-si, 31056 Chungcheongnamdo, Korea)

서 론

산업혁명 이후 급속한 산업화와 인구증가는 심각한 에너지, 환경문제뿐만 아니라 식량문제, 보건문제를 초래하고 있다. UN 식량농업기구(Food and Agriculture Organization, FAO)는 2050년 세계 인구는 97억 명이 될 것이며 지금 추세대로 에너지와 식량을 소비하면 2050년에는 에너지는 3.5 ~ 5.5배, 식량은 1.7배가 필요하다고 전망하고 있다(FAO 2015). UN은 지구촌의 제반 문제를 해결하기 위하여 3대 환경협약(1993년 생물다양성협약, 1994년 기후변화협약, 1996년 사막화방지협약)을 설립하여 노력하여 왔다. 그러나 Nature지는 생물다양성협약 체결 20주년이 되던 2012년에 그간의 노력을 분석한 결과, 생물다양성은 더욱 훼손되었고 기후변화는 더욱 심각하고 사막화는 더욱 확산되고 있어 지속가능한 사회발

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.

Table 1 Numbers of sweetpotato accessions collected by major organizations

Organizations	Number of accessions		
	Wild type	Cultivars	Total
CIP, Lima, Peru	1,160	6,360	7,520
ICAR, Kerala, India	84	3,778	3,862
NACRRI, Kampala, Uganda	ND	1,808	1,808
NIAS, Tsukuba, Japan	ND	1,600	1,600
IABIOGRI, Bogor, Indonesia	ND	1.520	1,520
CIP/ESEAP, Bogor, Indonesia	ND	1,366	1,366
SRI, Xuzhou, China	40	1,221	1,261
USDA/ARS, Georgia, USA	447	755	1,202
NARI, Kainantu, Papua N. Guinea	ND	1,120	1,120
EMBRAPA, Brasilia, Brazil	ND	1.024	1,024
Total	1,731	20,552	22,283

전을 위해서는 특단의 노력을 하지 않으면 큰 어려움에 봉착할 것이라 경고하였다.

세계 7대 식량작물인 고구마 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam]는 전분뿐만 아니라 바이오에탄올, 항산화물질 등 각종 산업소재를 생산하는 21세기 구원투수로 등극하고 있다(Kwak et al. 2017a). 미국 식품공익단체(The nonprofit Center for Science in the Public Interest, CSPI)는 비타민C, 베타카로틴 등 각종 항산화물질, 식이섬유, 칼륨 등을 고함유하고 있는 고구마를 몸에 좋은 10가지 슈퍼식품의 첫 번째로 선정하였다(CSPI 2007). 미국 농업부는 2008년 고구마가 밀, 옥수수, 감자, 카사바 등 전분작물 가운데 단위면적당 가장 탄수화물을 많이 생산하는 작물로 선정하였고, 식량수급에 영향을 최소화하는 조건 불리지역(marginal land)에 가장 적합한 바이오에너지 작물로 발표하였다(Ziska et al. 2009).

21세기 인류가 당면한 식량문제를 해결하기 위해서는 행성이 아닌 지구에서 문제해결을 모색해야 한다. 이러한 측면에서 사막화가 일어나는 (반)건조지역, 고 염분지역, 오염토양 등에 비교적 잘 자라는 품종을 육성해서 활용해야 할 것이다. 또한 고령화에 대응하는 기능성 식품도 개발해야 한다. 이러한 측면에서 고구마는 글로벌 조건 불리지역에서 고기능성 식량자원과 바이오소재를 생산할 수 있는 구원투수 작물로 등극이 기대된다. 이러한 측면에서 본 논문에서는 세계 고구마 유전자원 현황, 고구마 재배현황을 살펴보고 식량, 에너지, 환경, 건강문제를 해결하기 위한 대규모 상업적 재배가 가진 문제들에 대해 살펴보고 해결책을 제안하고자 한다.

세계 고구마 유전자원 현황

고구마는 나팔꽃, 메꽃 등과 Convolvulaceae 과에 속하며 재배종은 6배체(2n=6x=90)이다. 4배체와 2배체도 있지만 상업적인 덩이뿌리를 형성하지 못한다(Firon et al. 2009). 고구마 유전자원은 2009년 현재 29,016종(야생종 1,948종, 재배종 27,068종)이 보존되어 있는데, 고구마 유전자원을 가장 많이 보존하고 있는 곳은 국제감자연구소(International Potato Center, CIP)이며 약 7,520종을 보유하고 있다. 현재는 조금 증가하였으리라 생각되지만 큰 차이는 없을 것으로 추정된다. 2007년 기준 재배종을 1,000종 이상 보유하고 있는 기관들을 정리한 것이다(Table 1) (Mok et al. 2009). 이들 10개 기관에서 전체의 77%을 보유하고 있다. 한국은 국립식량과학원 고구마연구실에서 약 650계통을 보유하고 있다. 세계 생산의 67%를 차지하는 중국은 왕성하게 고구마 신품종을 육성하고 있으며, 약 2,000종을 보유하고 있다고 파악되었다(Personal communications).

세계 고구마 재배현황

FAO 통계에 의하면 전 세계 고구마 재배면적은 8,623천 ha이며 생산량은 105,190천 톤이다(Table 2) (FAO 2016). 아시아는 세계 생산의 74.7%(78,595천 톤)을 차지하며, 중국은 세계 생산의 67.3%(70,793천 톤)을 생산한다. 인도네시아, 인도, 베트남에서 각각 2,270천 톤, 1,472천 톤, 1,269천 톤을 생산한다. 아프리카는 재배면적은 세계의 48.6%을 차지하지만 생산량은 20.3%에 지나지 않는다. 아프리카의 평균 생산성(kg/ha)은 5,090 kg으로 낮은 이유는 병충해에 의한 피해와 적정 재배기술이 도입되지 않은 것으로 추정된다. 아시아 국가의 생산성은 20,082 kg이지만, 필리핀, 베트남 등은 비교적 낮다.

한국 고구마 재배현황

현재 국내 고구마 생산량은 약 30만톤으로 식량이 부족한 1960년도 약 300만톤 생산에 비하면 10%에 지나지 않는다.

Table 2 Cultivation area and production of sweetpotato in major countries (FAO 2016)

Nation	Cultivation area (1,000 ha)	Productivity (kg/ha)	Production (1,000 ton)
World	**8,23 (100.00)**	**12,198 (100.00)**	**105,190 (100.00)**
Asia	**3,913 (45.38)**	**20,082 (164.64)**	**78,595 (74.72)**
China	3,291 (38.17)	21,511 (176.36)	70,793 (67.30)
Indonesia	137 (1.59)	16,567 (135.82)	2,270 (2.16)
India	130 (1.51)	11,323 (92.83)	1,472 (1.40)
Vietnam	120 (1.39)	10,522 (86.26)	1,269 (1.21)
Philippines	84 (0.97)	6,247 (51.22)	529 (0.50)
Japan	36 (0.42)	23,908 (196.01)	860 (0.82)
North Korea	32 (0.37)	13,590 (111.41)	436 (0.41)
South Korea	20 (0.23)	14,513 (118.98)	295 (0.28)
Africa	**4,187 (48.56)**	**5,090 (41.73)**	**21,316 (20.26)**
Tanzania	759 (8.80)	5,033 (41.26)	3,822 (3.36)
Uganda	482 (5.59)	4,411 (36.16)	2,126 (2.02)
Mozambique	52 (0.60)	13,808 (113.21)	730 (0.69)

Table 3 Comparison of sweetpotato and rice in terms of cultivation area, production, retail price and farm income in 1965, 1991 and 2016 (modified from Statistics Korea, www.kostat.go.kr)

Year	Crop	Cultivation area (1,000 ha)	Production (1,000 ton)	Retail price (Won/kg)	Farm income (1,000 Won/10a)
1965	rice	1,240	3,500	60	<16
	Sweet potato	>127	>2,600	ND	ND
1991	rice	1,200	5,380	1,400	410
	Sweet potato	170	380	127	<100
2016	rice	790	4,200	2,000	430
	Sweet potato	230	340	4,400	1,770

과거 부자들은 쌀을 선호하였으나 지금은 고구마를 선호하고 있다. 국내 고구마와 쌀 생산량, 가격 등을 통계청 농산물 유통정보 자료를 편집하여 정리하면 Table 3과 같다(KAMIS 2016; Statistics Korea 2016). 고구마의 생산량은 현저히 감소하였지만 소매가격은 높은 수준으로 증가하여 2016년 기준 10a당 고구마의 농가소득(177만원)은 쌀(43만원) 농가소득에 비해 약 4.1배 높음을 알 수 있다. 고구마의 2016년 기준 총 생산액(생산량 × 소매가격)은 약 1조5천억 원에 달하는 것을 알 수 있다. 또한 고구마를 이용한 가공식품의 가격은 매우 높아 이로부터 파생되는 시장가치는 매우 높을 것으로 예상된다.

국내 생고구마는 자급되지만, 고구마 전분, 당면 등은 중국 등에서 수입되고 있어 수입되는 고구마 전분, 당면 등을 고려하면 우리나라 고구마 자급률은 30 ~ 40% 수준으로 평가된다. 향후 검역에 문제가 없을 정도로 깨끗한 고구마가 중국에서 수입될 수 있어 국제적으로 경쟁력 있는 고구마 생산기반을 시급히 확보 할 필요가 있다.

2007년 서울대학교 농업생명과학정보원은 우리나라 농림수산 R&D 투자실적 분석에서 33개 주요 농산물 가운데 고구마는 투자금액이 24위인데 비하여 생산액에서는 작물가운데 쌀 다음으로 약 3,008억 원으로 높았다. 고구마는 국민이 좋아하고 농민이 선호하는 작물인 점을 고려한다면 연구개발에 보다 많은 투자를 할 필요가 있다.

고구마의 새로운 북방로드 개척

농경지가 부족한 한국이 낮은 곡물자급률(2016년 24%)을 해결하기 위해서는 국내농지의 생산성 제고만으로 식량자급률을 높이기에는 한계가 있다. 산업화로 농지가 감소하고 있는 현실에서 자급률 유지도 쉽지 않을 것이라는 점을 고려한다면, 해외농업을 적극적으로 추진해야 한다. 그러나 비옥한 해외농지를 이용하기에는 어려움이 많기 때문에 일본 등 다른 국가들과 차별화 되면서 미래지향적인 해외농업을 고려한다면 동북아시아, 중앙아시아, 중동, 북부아프리카 등의 조건 불리지역에 도전하는 고구마 북방로드를 적극적으로 개척할 필요가 있다(Fig. 1).

Fig. 1 New sweetpotato northern road for sustainable development in the future. Each red dot represents 1,000 ha. This figure was obtained from Prof. Qingchang Liu, China Agricultural University

한국생명공학연구원은 중국 내몽고자치구 쿠부치사막 인근지역과 카자흐스탄 여러 지역에 고구마를 시범재배 한 결과 고구마를 보다 높은 수량으로 생산할 수 있음을 확인하였다. 특히 카자흐스탄은 2014년부터 3년간 카자흐스탄 4개 지역에 10품종을 시범재배 한 평균결과에서 남부 알마티지역에서 ha당 38~41톤의 고구마가 생산되는 것을 확인하였다(Table 4) (Kwak et al. 2017a). 우리나라 수확량이 약 15톤인 것에 비하면 매우 높은 생산량이며 적정재배 기술을 도입하면 40톤 이상 생산할 수 있을 것으로 기대된다. 동북아시아 중앙아시아의 척박한 지역에 적합한 품종을 생명공학기술로 개발해 식물조직배양기술로 무균묘를 생산하여 기계화 농사법을 도입하면 비교적 낮은 가격으로 전분을 생산할 수 있을 것이며 고구마 기반 기축전분이 확립될 수 있을 것으로 기대된다. 고구마는 서리가 내리지 않은 날(무상일수, frost-free day)이 4개월이면 어느 곳에서도 재배될 수 있으며 고위도 지역일수록 수확량이 높다. 이들 지역에서 고구마 수확량이 높은 이유는 은 병충해가 거의 없으며 덩이뿌리의 비대기인 가을철의 밤낮 온도차이가 높아 낮에 광합성 산물이 밤에 따뜻한 지하부로 이동하기 때문이다.

상업적 고구마 대량재배의 선결과제

단위 면적당 탄수화물생산, 기능성 식품측면에서 준 완전식품으로 인정받고 있는 고구마가 밀, 옥수수, 감자 등 다른 작물 보다 경쟁력을 갖고 상업적으로 양산하기 위해서는 다음의 문제가 해결되어야 할 것이다(Kwak et al. 2017; Yamakawa 2017).

1) 고구마 심는 방법을 자동화해야 한다. 지금의 삽식묘(25cm 전후)는 생산하는데 공간과 비용이 많이 소요될 뿐만 아니라 심는 과정에 많은 시간과 노동력을 요구한다. '어떻게 심는 방법을 자동화 할 것인가'가 대량재배에 가장 중요하다. 아직까지 고구마는 구황작물이라는 인식으로 인해 기업의 관심이 보다 적고 기계화 재식의 필요성에 대한 인식이 부족하여 아직 해결되지 못한 문제라 판단된다. 이러한 관점에서 저자들은 "삽식용 고구마 줄기대용 씨 고구마 대량생산 방법"을 연구하고 있다(Kwak et al. 2018). 현재 농림축산식품부 농생명산업기술개발사업에서 벼농사 대체용 고구마 품종육성 및 생력화기술개발사업에서 고구마 심는 방법을 더욱 개선하는 연구를 수행 중에 있다.
2) 관행 고구마 품종육성방법을 포함하여 적극적으로 해당 지역 용도에 맞는 품종을 개발해야 한다. 특히 고구마는 척박한 토양에서도 어느 정도 수량을 보장하기 때문에 생명공학기술로 품종을 개량하면 척박한 토양에서도 잘 자라고 고부가가치 바이오소재를 양산할 수 있을 것이다(Kim et al. 2009a, 2009b). 전분 등을 생산하는 산업용 고구마인지, 건강을 위한 식용 고구마인지에 따라 품종육성 방법이 달리 고려돼야 할 것이다. 전분을 생산하기 위해서는 전분대사공학으로 전분의 조성을 조절할 수 있다(Ahn 2009). 저자들은 카로티노이드를 축적하는 고구마 Orange (*IbOr*) 유전자를 분리하여 형질전환 고구마를 개

Table 4 Cultivation of 10 sweetpotato cultivars in four different regions of Kazakhstan

Cultivars	Akmolinskaya region	Karagandinskaya region	South Kazakhstan region	Almatinskaya region
K2	17.6	18.0	-	-
K5	29.3	28.9	-	-
K10	28.7	29.6	-	-
K12	-	-	32.1	33.0
K13	-	-	33.3	32.6
K14	-	-	38.1	35.6
K20	-	-	41.1	38.0
P1	17.9	17.3	-	-
P2	29.4	26.1	-	-
F1	-	-	35.2	19.7

발한 결과, 47℃ 고온에서도 정상적인 생육을 하면서 베타카로틴 등을 고생산하는 것을 확인한 바 있다(Kim et al. 2013; Park et al. 2016; Kang et al. 2017a, 2017b; Kim et al. 2018). 현재 IbOr 유전자의 변이체를 이용한 형질전환 고구마, 벼 등을 개발하고 있다(Kwak et al. 2017b).

3) 고구마를 양산하여 연중 이용하기 위해서는 저온저장성 향상을 위한 방법이 개선돼야 한다. 고구마는 수확 후 13~15℃ 저온과 85% 이상의 높은 습도 조건에서 저장해야 한다. 지하저장고, 터널을 만드는 기술이 발전되어 물리적인 방법에서 고구마 저장성 문제도 해결할 수 있지만, 생명공학기술을 이용하여 저온에 대한 고구마 저장성원인을 규명하고 저온저장성과 저온내성 증가를 위한 연구가 진행되고 있다(Ji et al. 2017; Jin et al. 2017; Ji 2018)
4) 고구마를 조건 불리지역에서 염가로 양산하여 고구마 전분, 당에서 고부가가치 바이오소재를 생산하고 새로운 용도를 개발에 관한 연구를 수행할 필요가 있다. 이러한 관점에서 국가과학기술연구회 다학제 융합클러스터에서 저자들은 "고구마기반 글로벌 식량자원 및 바이오소재 생산기술"에 필요한 기획과제를 준비하고 있다(SBFC 2017). 글로벌 조건 불리지역에서 고구마를 양산하면 식량, 사료, 고부가가치 바이오소재 뿐만 아니라 탄소배출권도 확보할 수 있어 블루오션을 개척할 수 있을 것이다.

적 요

고구마는 21세기 인류가 당면한 식량, 에너지, 환경, 보건문제 등을 해결하는 21세기 구원투수로 등장하고 있다. 고구마는 식량자원 뿐만 아니라 바이오에탄올, 기능성 사료, 항산화물질 등 고부가가치소재를 생산하는 생체반응기로 평가된다. 미국 공익과학단체(The nonprofit Center for Science in the Public Interest, CSPI)는 고구마가 저분자항산화물질, 식이섬유, 칼륨 등을 고함유하고 있는 고구마를 몸에 좋은 10대 슈퍼식품 가운데 하나로 선정하였다. 미국 농무부는 고구마를 전분작물 가운데 식량수급에 영향을 최소화하는 척박한 토양에 가장 적합한 바이오에너지작물로 평가하였다. UN 식량농업기구는 2050년에 세계인구가 97억 명이 될 것이며 지금 추세로 식량을 사용하면 2050년에는 지금의 1.7배의 식량이 필요하다고 전망했다. 어떻게 미래 식량위기를 극복할 것인가? 이러한 측면에서 척박한 토양에서도 어느 정도 수량을 보장하는 고구마가 지구가 당면한 제반 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 본 논문에서는 세계 고구마 유전자원과 생산현황을 살펴보고, 글로벌 식량자원 및 고부가가치 바이오소재 측면에서 새로운 고구마의 북방로드 개척 및 상업적 대량재배를 위한 선결과제를 기술하고자 한다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부 농림식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발과제 "벼농사 대체용 고구마 품종육성 및 생력화 기술개발"(118038-3), 국가과학기술연구회(NST) 다학제 융합클러스터 "고구마 기반 글로벌 식량자원 및 바이오소재 생산기술"(CCL-17-01-KRIBB), 농촌진흥청 차세대 바이오그린21사업(PJ01318401)에서 지원되었다.

References

Ahn YO, Yang KS, Kwak SS, Lee HS (2009) Current status on metabolic engineering of starch in sweetpotato. J Plant Biotechnol 36:207-213

CSPI (The Center for Science in the Public Interest) (2007) 10 Best Foods. https://cspinet.org/eating-healthy/what-eat/10-best-foods

Firon N, Labonte D, Villordon C, McGregor C, Kfir Y, Pressman E (2009) Botany and physiology: storage root formation and development. In, The Sweetpotato (edited by Loebenstein and Thottappilly G). Springer. pp 13-26

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2015) The state of food insecurity in the world, 8-18 http://www.fao.org/home/en/

Ji CY (2018) Molecular and physiological studies on tuberous roots of sweetpotato under low temperature storage. Ph.D thesis. University of Science and Technology (UST). February 2018. pp. 124

Ji CY, Chung WH, Kim HS, Jung WY, Kang L, Jeong JC, Kwak SS (2017) Transcriptome profiling of sweetpotato tuberous roots during low temperature storage. Plant Physiol Biochem 112: 97-108

Jin R, Kim BH, Ji CY, Kim HS, Li HM, Ma Daifu, Kwak SS (2017) Overexpressing IbCBF3 increases low temperature and drought stress tolerance in transgenic sweetpotato. Plant Physiol Biochem 118:45-54

KAMIS (2016) https://www.kamis.or.kr/customer/main/main.do

Kang L, Kim HS, Kwon YS, Ke Q, Ji CY, Park SC, Lee HS, Deng X, Kwak SS (2017a) IbOr regulates photosynthesis under heat stress by stabilizing IbPsbP in sweetpotato. Front Plant Sci 8, 989

Kang L, Park SC, Ji CY, Kim HS, Lee HS, Kwak SS (2017b) Metabolic engineering of carotenoids in transgenic sweetpotato. Breeding Sci 67:27-34

Kim MD, Ahn YO, Kim YH, Kim CY, Lee JJ, Jeong JC, Lee HS, Mok IG, Kwak SS (2009a) Strategies of development of environmentally friendly industrial sweetpotato on marginal lands by molecular breeding. J Plant Biotechnol 36:197-201

Kim HS, Ji CY, Lee CJ, Kim SE, Park SC, Kwak SS (2018) *Orange*: a target gene for regulating carotenoid homeostasis and increasing plant tolerance to environmental stress in marginal lands. J Exp Bot 69:3393-3400

Kim SH, Ahn YO, Ahn MJ, Jeong JC, Lee HS, Kwak SS (2013) Cloning and characterization of an *Orange* gene that increases carotenoid accumulation and salt stress tolerance in transgenic sweetpotato cultures. Plant Physiol Biochem 70:445-454

Kim YH, Park SC, Yang GS, Zhou Z, Zhao D, Ma D, Jeong JC, Lee HS, Kwak SS (2009b) Selection of oxidative stress-tolerant sweetpotato cultivars for cultivation on marginal lands. J Plant Biotechnol 36:219-223

Kwak SS, Park SC, Mok IG (2017a) Sweetpotato as a reliever in 21st century. KFSRF (in Korean). pp. 155

Kwak SS, Kim JW, Min JK, Kim HS (2018) Method for producing seedling and seed of sweetpotato from sterile sweetpotato stem by tissue culture. Patent application No 10-2018-0030059 (March 15, 2018)

Kwak SS, Kim HS, Kim SE. Lee CJ, Ji CY (2017b) IbOr-R96H mutant from *Ipomoea batatas* and uses thereof. Patent application No 10-2017-0175023 (December 19, 2017)

Mok IG, Zhao DR, Kwak SS (2009) Genetic resources of sweetpotato for industrial use. J Plant Biotechnol 36: 202-206

Park S, Kim HS, Jung YJ, Kim SH, Ji CY, Wang Z, Jeong JC, Lee HS, Lee SY, Kwak SS (2016) Orange protein has a role in phytoene synthase stabilization in sweetpotato. Sci Reports 6: 33563

SBFC (Sweetpotato Biomaterials Fusion Cluster) (2017) Sweetpotato based global food resource and biomaterial production technology. Newsletter Vol. 1 (July 76, 2017), pp 4

Statistics Korea (2016) http://kostat.go.kr/portal/korea/index.action

Yamakawa O (2017) The world of sweetpotato, the sweetpotato of world. Gendaishokan (in Japanese). pp 243

Ziska LH, Runion GB, Tomecek M, Prior SA, Torbet HA, Sicher R (2009) An evaluation of cassava, sweetpotato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. Biomass Bioenergy 33:1503-1508