

## 산업용 고구마 개발을 위한 유전자원 현황 및 전망

목일진 · 자오동란 · 곽상수

### Genetic resources of sweetpotato for industrial use

Il-Gin Mok · Donglan Zhao · Sang-Soo Kwak

Received: 4 September 2009 / Accepted: 11 September 2009

© Korean Society for Plant Biotechnology

**Abstract** In many countries including China and U.S., researchers are developing methods to use sweetpotato as raw material for biofuel. We consider the sweetpotato is not only a source of green fuel, it eventually will provide various material including paper, adhesives, biodegradable plastics, and secondary metabolites. Sweetpotato is one of the high efficiency crop because it yields more calories per unit area than either maize or potato, and it requires the shortest growing cycle of the root crops grown in the tropics. Sweetpotato is the most useful crop for the coming starch-based industry era. Sweetpotato genetic resources are collected, characterized, evaluated, and maintained by U.S., China, Japan, and the International Potato Center. New varieties of sweetpotato using the proper genetic resources and molecular breeding will be developed to cope with the global food and energy in 21st century.

#### 서 론

고구마의 원산지는 남미의 열대지역으로 알려져 있다. Austin (1988)은 고구마 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]의 원산지가 멕시코의 유카탄 반도와 베네수엘라의 오리노코 강 사이의 지역이라고 주장하였고, 그 후 BC 2,500년

경까지 카리브 해의 섬들과 남미지역에 전파되면서 품종으로 분화하였다는 가설을 세웠다. 이러한 가설은 최근 Zhang (1998) 등이 AFLP 다형성을 분석한 결과 확인되었다.

우리나라에는 1763년 (영조 39년)에 도입된 것으로 기록되고 있다. 영호(永湖) 조엄(趙儼) 선생이 당시 통신정사(通信正使)로 도일(渡日)하였다가 귀국 길에 대마도(對馬島)에서 고구마를 보고 백성들에게 전래함으로써 구황작물로 활용하였다. 지금도 이러한 그의 업적과 애민정신(愛民精神)을 기리는 행사와 출판물이 끊이지 않고 있다(www.wonju.go.kr, www.heritagebusan.com).

우리나라에서 고구마는 식량으로 오랜 기간 이용되어 왔으며, 특히 식량이 부족한 시기나 지역에서 구황작물로 중요한 역할을 하였다. 쌀의 자급 후에는 주정(酒精)의 원료로써 새로운 역할을 하였고, 값싼 수입 타피오카를 주정의 원료로 이용하고부터는 그나마 재배면적과 생산량이 급격히 감소하였다. 그러나 최근 건강식품으로 각광을 받기 시작하면서 소비가 조금씩 늘어나는 추세이다.

우리나라에서 고구마의 용도는 매우 다양하며 외국에서는 보기 힘든 독특한 이용법을 자랑하고 있다. 그 중 대표적인 것은 고구마의 전분을 추출하여 당면을 제조하는 것이다. 또 다른 것은 엽병을 나물로 무쳐 먹는 활용법이다. 대만과 아프리카 일부지역에서 어린잎을 데쳐 먹기도 하지만 엽병을 식용하지는 않는다. 우리 선조들은 고구마를 이용해 다양한 요리법을 구사하였다. 앞으로 고구마는 건강식품으로써의 인기뿐만 아니라 전분의 원료로서 더욱 중요한 자리매김 할 것으로 생각된다. 바이오연료, 분해성 플라스틱, 이차 대사산물(카로티노이드, 안토시아닌 등)의 생산 및 부산물의 사료 이용 등 다양하고 광범위한 활용 분야가 예상되고 있다.

고구마를 다양한 산업소재로 활용하기 위해서는 목적에 맞는 품종을 육성하여야 할 것이며, 따라서 이미 각국

I. G. Mok (✉) · S. S. Kwak  
한국생명공학연구원 환경바이오연구센터  
(Environmental Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), Gwahangno 111, Yuseong-gu, Daejeon 305-806, Korea)  
e-mail: mokig@kribb.re.kr

D. Zhao  
중국농업과학원 고구마연구소  
(Sweetpotato Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS), Xuzhou 221121, China)

에서 보유하고 있는 유전자원의 실태를 파악하여 활용하는 것이 효율적이라고 생각한다. 특히 내한(耐旱)성, 내한(耐寒)성 계통을 활용한 재배적지의 확대가 무엇보다도 중요하며, 전분, 색소, 식이섬유의 함량이 높은 계통을 선발 육성해나가야 할 것이다.

#### 고구마의 근연종(近緣種)

Convolvulaceae 과(科)에 속하는 고구마는 학명이 *Ipomoea batatas* (L.) Lam.이며, 6배체 ( $2n=6x=90$ )이다. *I. littoralis* 와 *I. tiliacea*는 4배체이며, 그 외의 종들은 모두 2배체이다. 단지 *I. trifida* 만이 2배체에서 6배체까지 모두 갖고 있다 (Huaman 1992). *Ipomoea* 속(屬)에는 대부분 나팔꽃처럼 줄기를 감으면서 자라는 500 가지 이상의 종(種)이 포함되어 있다. *I. trifida*는 고구마와 교잡도 가능하여 저항성 유전자 도입, 특히 뿌리혹선충 (*Meloidogyne incognita*) 저항성을 위한 중요한 유전자원으로 분류되고 있다 (Komaki 2001). Shiotani 등 (1994)은 6배체 *trifida*를 이용하여 고전 분 고구마 육종에 성공하였다. Orjeda 등 (1990)은 2배체의 *trifida*에서 2n pollen 형성을 발견하였고 이러한 기작을 통하여 4배체, 6배체 *trifida*가 진화되었으며, 나아가 *I. batatas*와도 교잡이 가능하였을 것이라고 추정하고 있다. 최근 Srisuwan 등 (2006)은 FISH (fluorescence in situ hybridization)를 이용하여 분석한 결과 4배체 *trifida*가 *I. batatas*와 밀접한 연관이 있으며 *batatas*의 진화 과정에 중요한 역할을 했다고 결론짓고 있다.

*I. setosa*와 *I. nil*은 각 종 바이러스의 지표식물로 매우 유용하게 활용되고 있다. 이병주를 접목하면 *setosa*의 엽맥이 황화되며 뚜렷한 병징을 나타낸다 (Love et al. 1987). *I. nil*은 또한 고구마의 교잡육종을 위해 대목으로 많이 이용되고 있다. *I. batatas*는 단일에서 개화하는 특성으로 고위도 지역에서 개화유도를 위해 *I. nil*과의 접목을 이용하고 있다.

#### 유전자원의 유용형질

주로 열대, 아열대 지역에서 많은 병충해가 발생하고 있다. 바구미와 비슷한 weevil (*Cylas formicarius*)이 고구마의 줄기나 식용부위를 가해하여 상품성을 떨어뜨린다. 유전자원 중에서 weevil에 대한 저항성을 찾고자 하는 시도가 많았으나 큰 성과는 없었다 (Collins et al 1999). 잎과 줄기에 주로 발생하는 scab (*Sphaceloma batatas*)도 열대의 주요 병해이다. Scab 저항성을 가진 *batatas*의 유전자원은 비교적 많았고 특히 West Papua에서 수집한 landrace에서 높은 비율의 저항성 계통이 발견되었다. West Papua의 고지대에서는 항상 온도가 낮고 습도가 높아 발병조건 하에서 고구마가 재배되어 왔기 때문이라고

추정된다 (Mok 1996; Mok and Schmediche 1999). Weevil과 scab은 특히 아시아의 열대, 아열대 지역에서 중요한 병해충이다.

영양변식을 하는 고구마에 있어서 가장 중요한 병해는 바이러스이다. 아프리카에서는 sweetpotato virus disease (SPVD)가 매우 중요하며, 우간다를 포함한 동아프리카 지역에서는 98%의 수량감소를 일으키기도 한다 (Mwanga et al. 2004). SPVD는 sweetpotato feathery mottle virus (SPFMV)와 sweetpotato chlorotic stunt virus (SPCSV)가 복합 감염되어 나타나는 것으로 밝혀졌다 (Cohen et al. 1992). SPFMV는 아시아 지역에서도 매우 중요한 병해이다. 따라서 바이러스병 저항성 품종은 매우 중요하며 바이러스 저항성 유전자원을 발굴하려는 노력이 지속적으로 이루어져야 한다.

고구마를 산업용으로 이용하고자 전분함량이 높은 유전자원을 선발하였다. 인도네시아의 landrace 중에는 35~40%의 건물함량을 나타내는 계통도 상당수 발견되었다 (Mok and Schmediche 1999). 고구마의 전분함량은 건물의 65~70%로 계산되고 있다. 앞으로 이차대사 산물의 함량 (카로티노이드, 안토시아닌, 식이섬유 등)도 측정하여 색소 및 의약품, 화장품의 원료로 개발하려는 노력도 해야 할 것이다.

#### 유전자원 보유 현황

유전자원을 가장 많이 수집, 보존하고 있는 곳은 페루 리마에 있는 국제감자연구소 (International Potato Center, CIP)이며 모두 7,520점을 현재 보유하고 있다 (Table 1). 그 중 야생근연종은 1,160점이며, 나머지는 모두 재배종이다. 일부 잡초타입도 포함되어 있으나 대부분이 남미를 비롯한 세계 각국에서 수집한 landrace들이다. 근연야생종은 *I. trifida* 222점, *I. grandiflora* 129점, *I. cordatotriloba* 107점, *I. purpurea* 103점을 포함하고 있다. 그 외 *I. nil* 43점, *I. setosa* 5점도 포함하고 있다. CIP에서는 대부분의 유전자원을 IPGRI Descriptor (CIP, AVRDC, IBPGR, 1991)에 따라 형태적인 관찰과 컴퓨터 분석프로그램을 활용하여 중복된 계통을 구분하고 있다. 또한 *in vitro* 저장을 통해 장기보존 및 원하는 연구자들에게 신속하게 공급할 수 있는 체계를 갖추고 있다.

CIP의 유전자원은 이 외에도 IITA로부터 이관 받은 약 1,000여점, AVRDC로부터 이관 받은 900여점을 포함하고 있으나 아직 바이러스 제거를 하지 못하여 활용단계에는 이르지 못하고 있는 상태이다. Mok 등 (2000)은 인도네시아 전역에서 재배되는 고구마 유전자원을 수집, 형태적 특성과약과 중복 계통 제거 후 1,600계통 이상을 데이터베이스화하였다. 여기에 포함되어 있는 유전자원은 현재 인도네시아 농업생명공학유전자원연구소 (Indonesian

**Table 1** List of collections assessed and number of accessions by region (CIP, 2007)

Region/Collection/Country	Number of Accessions		
	Wild	Cultivar	Total
<b>LATIN AMERICA &amp; CARIBBEAN</b>			
1. CIP, Lima, Peru (PER)	1,160	6,360	7,520
2. INTA, Castelar, Argentina (ARG)	122	362	484
3. EMBRAPA, Brasilia, Brazil (BRA)		1,024	1,024
4. INIVIT, Sto. Domingo, Cuba (CUB)	95	535	630
<b>Sub-total</b>	<b>1,377</b>	<b>8,281</b>	<b>9,658</b>
<b>NORTH AMERICA</b>			
5. USDA/ARS, Georgia, United States (USA)	447	755	1,202
<b>Sub-total</b>	<b>447</b>	<b>755</b>	<b>1,202</b>
<b>ASIA</b>			
6. CIP/ESEAP, Bogor, Indonesia (IDN)		1,366	1,366
7. IABIOGRI, Bogor, Indonesia (IDN)		1,520	1,520
8. Philrootcrops, Leyte, Philippines (PHL)		801	801
9. IAS, Xuzhou, China (CHN)	40	1,044	1,084
10. PR Korea (PRK)		497	497
11. VASI, Hanoi, Vietnam (VNM)		480	480
12. NPGRL, Los Baños, Philippines (PHL)		183	183
13. NIAS, Tsukuba, Japan (JPN)		1,600	1,600
14. ICAR, Kerala, India (IND)	84	3,778	3,862
15. NPRCTC, Benguet, Philippines (PHL)		180	180
16. MARDI, Selang, Malasia (MYS)		72	72
17. PHRC, Thailand (THA)		236	236
18. CARI, Sri Lanka (LKA)		131	131
19. MOKPO, Korea (KOR)		430	430
<b>Sub-total</b>	<b>124</b>	<b>12,318</b>	<b>12,442</b>
<b>AFRICA</b>			
20. FIFAMANOR, Antananarivo, Madagascar (MAG)		98	98
21. NACRRI, Kampala, Uganda (UGA)		1,808	1,808
22. CIP/SSA, Kabete, Uganda (UGA)		141	141
23. INERA, Mulungu, Republic of Congo (COD)		120	120
24. KARI, Kumasi, Ghana (GHA)		167	167
25. Univ. Ibadan, Ibadan, Nigeria (NGR)		90	90
26. Mpnza Res. St., Zimbabwe (ZMB)		258	258
27. ARI, Mzuzu, Malawi (MWI)		139	139
28. IIAM, Umbeluzi, Mozambique (MOZ)		102	102
29. VOPI, Pretoria, South Africa (ZAF)		444	444
30. ARI, Mazozo, Angola (AGO)		34	34
31. EARI, Awasa, Ethiopia (ETH)		319	319
32. KARI, Kakamega, Kenya (KEN)		120	120
33. HORTI, Tengeru, Tanzania (TNZ)		584	584
34. ISAR, Rubona, Rwanda (RWA)		159	159
35. INIDA, S.J. Orgaos, Cape Verde (CPV)		11	11
<b>Sub-total</b>	<b>0</b>	<b>4,594</b>	<b>4,594</b>
<b>MELANESIA</b>			
36. NARI, Kainantu, Papua New Guinea (PNG)		1,120	1,120
<b>Sub-total</b>	<b>0</b>	<b>1,120</b>	<b>1,120</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,948</b>	<b>27,068</b>	<b>29,016</b>

**Table 2** The accessions of sweetpotato germplasm maintained at the National Genebank, Sweetpotato Research Institute in Xuzhou, China

Species	Variety	Number of Accessions (%)
<i>I. batatas</i>	Local variety	435 (34.5)
	Improved variety	380 (30.1)
	Breeding lines	140 (11.1)
	Introduce variety	284 (22.5)
	Genetic material	6 (0.5)
Other species		16 (1.3)
Total		1,261 (100.0)

**Table 3** Cultivation area and production of sweetpotato in major Asia countries (FAO, 2007)

Region/Collection/Country	Number of Accessions		
	Wild	Cultivar	Total
<b>LATIN AMERICA &amp; CARIBBEAN</b>			
1. CIP, Lima, Peru (PER)	1,160	6,360	7,520
2. INTA, Castelar, Argentina (ARG)	122	362	484
3. EMBRAPA, Brasilia, Brazil (BRA)		1,024	1,024
4. INIVIT, Sto. Domingo, Cuba (CUB)	95	535	630
<b>Sub-total</b>	<b>1,377</b>	<b>8,281</b>	<b>9,658</b>
<b>NORTH AMERICA</b>			
5. USDA/ARS, Georgia, United States (USA)	447	755	1,202
<b>Sub-total</b>	<b>447</b>	<b>755</b>	<b>1,202</b>

Agriculture Biotech & Genetic Resources Institute, IABIOGRI)와 CIP의 동남아시아/태평양지역사무소(ESEAP)에서 포장(圃場) 유지보존하고 있다.

미국은 재배종 755점을 포함하여 모두 1,202점을 보유하고 있다(<http://www.ars-grin.gov/>). 일본도 1,600점을 보유하고 있다([http://www.gene.affrc.go.jp/databases\\_en.php](http://www.gene.affrc.go.jp/databases_en.php)). 세계 고구마 생산량의 83%를 차지하고 있는 중국도 모두 1,261점을 보유하고 있는데 그 중 1,245점이 *I. batatas*로서 야생종의 보유 점수는 매우 적다. 중국의 경우 Table 1과 Table 2의 수치가 상이한 이유는 가장 최근의 자료를 저자 중의 한사람 (Zhao DL)이 새로이 작성하였기 때문이다. 미국, 중국, 일본 모두 고구마의 유전자원을 포장재배와 동시에 *in vitro*로 유지보존하고 있다.

**고구마 재배현황**

2007년 FAO 통계에 의하면 전 세계 고구마 재배면적은 8,751천 ha이며 생산량은 129,404천 톤에 달한다 (Table 3). 중국에서 전 세계 생산의 82.8% (107,176천 톤)을 생산하고 있으며 인도네시아, 베트남, 일본 등 아시아에서 주로 생산되고 있다. 우리나라는 15천 ha에서 29만 톤을 생산한다. 동북아시아 고구마 연구정보 교환과 협

력을 위한 제3회 한·중·일 고구마워크숍이 2008년 북경에서 개최되었다.

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

**결론**

세계는 지금 치열한 자원전쟁에 휩싸여 있다. 원유의 가격급등과 품귀현상에 따라 선진국들도 대체 에너지 개발에 열을 올리고 있다. 신재생에너지의 효율성, 경제성을 제고하기 이전까지는 당분간 바이오연료를 활용하는 것이 대안이다. 바이오연료로 활용하기 위해서는 몇 가지 고려해야 할 것이 있다. 즉 식량생산과의 경합을 최소화해야 하며 에너지 고정효율이 높은 작물을 이용해야 한다. 그리고 그 부산물을 활용할 수 있어야 할 것이다. 고구마는 이러한 조건을 모두 충족하고 있는 우수한

작물로 재평가되고 있다. 따라서 고구마의 유전자원을 수집, 평가하여 목적에 맞는 계통을 선발하고 전통적 육종 및 형질전환 기법을 활용하여 목적에 맞는 효율성 높은 품종을 개발하여야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 한국연구재단 전문경력인사 초빙활용사업과 한중공동연구프로그램의 지원으로 수행되었다.

## 인용문헌

- Austin DF (1988) The taxonomy, evolution and genetic diversity of sweetpotatoes and related wild species. In: Gregory P (ed.). Exploration, maintenance, and utilization of sweetpotato genetic resources, pp 27-60. CIP, Lima, Peru
- CIP, AVRDC, IBPGR (1991) Descriptors for Sweet Potato. Huaman Z (ed.) International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy. p 133
- International Potato Center (CIP) (2007) Global Strategy for *Ex-situ* Conservation of Sweetpotato Genetic Resources. CIP, Lima, Peru p 76
- Cohen J, Frank A, Vetten HJ, Lesemann DE, Loebestein G (1992) Purification and properties of closterovirus-like particles associated with a whitefly transmitted disease of sweet potato. *Ann Appl Biol* 121:257-268
- Collins WW, Carey EE, Mok IG, Thompson P, Zhang DP (1999) Utilization of sweetpotato genetic resources to develop insect resistance. In: Clement SL, Quisenberry SS (eds.) *Global Genetic Resources for Insect-Resistant Crops*. CRC Press, Boca Raton, Boston, London, New York, Washington, D.C., pp 193-205
- Huaman Z (1992) Systematic botany and morphology of the sweetpotato plant. *Technical Information Bulletin, International Potato Center, Lima (Peru)*. p 22
- Komaki K (2001) Phylogeny of *Ipomoea* species closely related to sweetpotato and their breeding use. *Bulletin of the National Institute of Crop Science* 1:1-56
- Love SL, Rhodes BB, Moyer JW (1987) Meristem-tip Culture and Virus Indexing of Sweet Potatoes. IBPGR Headquarters, Rome
- Mok IG (1996) Screening sweetpotato germplasm for field resistance to scab (*Sphaceloma batatas* SAW.). *HortScience* 31:612
- Mok IG, Schmiediche P (1999) Collecting, characterizing and maintaining sweetpotato germplasm in Indonesia. *Plant Genetic Resources Newsletter* No. 118:12-18
- Mok IG, Tjintokohadi, Schneider J, Widyastuti C, Ningsih NL, Yaku A, Prain G, Jusuf M (2000) Guide to Indonesian Sweetpotato Genetic Resources. International Potato Center, Lima, Peru. A CD-Rom database
- Mwanga ROM, Craig GY, Moyer JW (2004) Diallel analysis of sweetpotatoes for resistance to sweetpotato virus disease. *Euphytica* 128:237-248
- Orjeda G, Freyre R, Iwanaga M. (1990) Production of 2n pollen in diploid *Ipomoea trifida*, a putative wild ancestor of sweet potato. *J Hered* 81:462-467
- Shiotani I, Huang ZZ, Sakamoto S, Miyazaki T (1994) The role of the wild *Ipomoea trifida* germplasm in sweet potato breeding. *Acta Hort (ISHS)* 380:388-398
- Srisuwan S, Sihachakra D, Siljak-Yakovlev S (2006) The origin and evolution of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) and its wild relatives through the cytogenetic approaches. *Plant Sci* 171:424-433
- Zhang DP, Ghislain M, Huamán Z, Cervantes JC, Carey EE (1998) AFLP assessment of sweetpotato genetic diversity in four tropical American regions. *CIP Program Report 1997-1998*, pp 303-310