

Research Article



CrossMark

Open Access

새만금 간척지와 일반밭 토양에서 뽕단지(*Helianthus tuberosus* L.) 재배시 생육 및 이눌린 평가

오양열^{1*}, 김승연¹, 이광식², 류진희¹, 이수환¹, 옥희경¹, 정강호¹, 강방훈¹, 김길용³

¹농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구팀, ²농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과,
³전남대학교 농화학과

Assessment of Growth and Inulin for Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Cultivation in Saemangeum Reclaimed Land and Upland Soils

Yang-Yeol Oh^{1*}, Seung-Yeon Kim¹, Kwang-Sik Lee², Jin-Hee Ryu¹, Su-Hwan Lee¹, Hee-Kyoung Ock¹, Kang-Ho Jung¹, Bang-Hun Kang¹, Kil-Yong Kim³ (¹Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, ²Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, ³Department of Agricultural Chemistry, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

Received: 12 June 2020/ Revised: 29 June 2020/ Accepted: 21 July 2020

Copyright © 2020 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Yang-Yeol Oh
<http://orcid.org/0000-0002-7471-0406>
Seung-Yeon Kim
<http://orcid.org/0000-0002-4006-6667>
Kwang-Sik Lee
<http://orcid.org/0000-0002-1481-3569>
Jin-Hee Ryu
<http://orcid.org/0000-0002-0836-9510>

Su-Hwan Lee
<http://orcid.org/0000-0002-5354-3020>
Hee-Keong Ock
<http://orcid.org/0000-0002-9519-7023>
Bang-Hun Kang
<http://orcid.org/0001-5655-772>
Kil-Yong Kim
<http://orcid.org/0000-0002-1757-2908>

Abstract

BACKGROUND: In order to cultivate upland crops in reclaimed land, economically appropriate crops should be selected. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) is one of the primary sources for inulin in higher plants. The objective of this study was to evaluate and compare growth and inulin of *H. tuberosus* L. according to the cultivation region in Korea.

METHODS AND RESULTS: 21 varieties of *H. tuberosus* L. were collected in Korea, and then 7 varieties of *H. tuberosus* L. were selected for this study. To compare growth and

inulin, those varieties were cultivated in reclaimed land and upland soils. The growth of *H. tuberosus* L. significantly decreased when cultivated in reclaimed land. There was an increase at 17.8% in the content of white *H. tuberosus* L. tuber inulin in reclaimed land.

CONCLUSION: The content of inulin in *H. tuberosus* L. tubers was found to be dependent on cultivation region and tuber color. There was a difference of the inulin content between the tubers with different colors in reclaimed land. Purple tubers of P20 were considered suitable varieties for cultivation in reclaimed land. White tubers of W1 and W8 were also considered suitable varieties for cultivation in reclaimed land.

Key words: Cultivation, *Helianthus tuberosus* L., Inulin, Reclaimed land

*Corresponding author: Yang Yeol Oh
Phone: +82-63-238-5317; Fax: +82-63-238-5305;
E-mail: nubira7777@korea.kr

서론

간척지는 조수간만의 차를 이용해 내부의 물을 배제하여 조성한 토지로써[1], 우리나라 13만 5천 ha의 간척지 중 새만금 간척지 약 8,570 ha가 농업용지로 사용 될 예정이다[2]. 그러나 염분함량이 높고 유기물 함량이 일반 농경지의 10분의 1 수준이기 때문에 밭작물을 재배하기에는 열악한 조건이다. 또한 정책적으로도 식량자급률이 높은 벼를 재배하는 것보다 낮은 밭작물 재배를 요구하고 있어, 간척지 같은 대면적 영농을 위해서는 적합작물을 선발하고 부가가치를 높일 수 있는 방안이 필요하다.

뽕만지는 국화과 해바라기속의 북아메리카 원산지인 다년생 식물로 우리나라 기후 조건에 맞아 전국 각지에 자생하고 있다[3]. 생태학적 적응성이 높고, 빠른 생장, 많은 바이오매스, 낮은 관리 비용, 높은 에너지 전환 등 척박지에서 재배하는데 적합한 작물로 알려져 있다[4]. 또한 염과 한발 저항성을 가지고 있어 염분이나 알칼리 조건의 토양에서도 적응하고 자랄 수 있다고 하였다[5]. 주성분은 fructose 중합체(fructose 분자들이 β -2,1결합으로 연결)인 이눌린이며[6], 원 중량의 14-19%, 괴경 건물중의 75%를 차지한다[7]. 이눌린은 뽕만지를 비롯하여 치커리, 야콘, 다알리아 등 식물의 괴경에 함유되어 있는 난소화성식이섬유이다. 특히 인체 내에서 흡수되지 않아 칼로리가 낮으며 과당의 중합체이기 때문에 변비개선, 혈청 콜레스테롤 감소, 장 질환 예방, 혈당강하효과 및 혈중 지질저하 효과 등이 있다고 보고되었다[8, 9].

다양한 이눌린의 기능성에 대한 연구결과가 보고되면서 공급원에 대한 관심 또한 증가하고 있다. 그러나 뽕만지의 성분조성은 생산지, 수확시기, 기후조건, 수확 후 조건, 전처리 방법에 따라 다양하게 나타난다[8, 10]. 또한 이눌린이나 총 당 함량은 염분 저항성이 있는 품종에서 40-70% 높았다고 보고되었으며, 괴경에는 sucrose를 포함하여 35가지의 다양한 중합도를 가진 fructan들이 존재하며 품종, 생육시기, 등에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다[11, 12]. Electrical

conductivity (EC)가 6.3 dS m^{-1} 까지 이눌린 함량이 증가하는 경향을 보였다고 하였다[13].

본 연구는 우리나라에서 유통 및 재배되고 있는 뽕만지를 수집하여 괴경 색에 따른 생육 및 이눌린 함량 등을 평가하여 선발 한 후 선발된 자원을 가지고 간척지와 일반밭 토양에서 재배 하였을 때 생육 및 이눌린 함량 등을 비교 평가하고자 수행하였다.

재료 및 방법

뽕만지(*H. tuberosus* L.) 수집

현재 뽕만지는 농업생산 작물로 등록되어 있지 않고 종자가 아닌 괴경으로 번식하는 특징으로 인하여 2017년 4월 10일부터 4월 25일까지 우리나라에서 재배와 유통되고 있는 지역 및 농가와 5일장이 열리는 전통시장을 중심으로 뽕만지 총 21점을 수집하였다. 지역별 수집결과는 흰색 뽕만지는 강원도 3점, 경상남도 3점, 전라남도 2점, 경상북도 2점, 제주도 2점으로 총 12점, 자색 뽕만지는 충청남도 1점, 전라북도 2점, 경상북도 4점, 강원도 1점, 제주도 1점 총 9점을 수집하였다.

포장시험지

2017년 5월부터 2018년 3월까지 우리나라에서 수집한 뽕만지의 생육 및 이눌린함량을 평가하기 위하여 전라북도 완주군 이서면 혁신로 181 전작포장(35°46'N, 126°37'E)에서 재배하였다. 또한 평가 후 선발한 뽕만지를 간척지와 일반 밭 토양 조건에서 재배하였을 때 생육과 이눌린을 평가 및 비교하기 위하여 2018년 4월부터 12월까지 국립식량과학원 내 전작시험포장(35°46'N, 126°37'E) (Fig. 1) 일반 밭토양 조건(A지역)으로 재배하였고, 전라북도 김제시 광활면에 위치한 새만금 간척지 공유수면 내 국립식량과학원 시험포장(35°49'N, 126°41'E) (Fig. 1)의 토양염농도 0.2% 수준지역(B지역)과 토양염농도 0.35% 수준지역(C지역)에서 간척지 조건으로 재배하였다.



Fig. 1. Experimental site located in Wanju-Gun (A) and Saemangeum reclaimed tidal land (B, C) in Korea.

선발한 똥탄지를 간척지와 일반 밭토양 조건에서 재배하였을 때 생육과 이눌린을 평가 및 비교하기 위하여 2018년 4월 시험 전 토양 조건은 Table 1과 같았다. A지역은 B와 C지역보다 토양 pH는 낮았으며, 유기물 함량과 유효인산은 각각 5.3 g/kg^{-1} , 58 mg/kg 으로 많았다. B와 C지역은 A지역보다 치환성칼륨과 나트륨이 많은 경향을 보였다.

똥탄지 재배 및 조사방법

우리나라에서 수집한 똥탄지 21종의 생육 및 이눌린 평가를 위하여 2017년 4월 26일 1점씩 파종하였다. 재식거리는 $75 \times 25 \text{ cm}$ (휴폭 x 주간거리), 시비량은 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ 10 a 당 각각 5-5-5 kg 수준으로 시비하였으며, 전량을 기비로 로타리 작업 전에 사용하였다. 똥탄지 초장은 개화기 이후 꽃이 50% 이상 피었을 때 지면에서 최상단 길이까지 조사하였으며, 피경수량 및 이눌린함량은 겨울동안 땅속에 저장하였다가 2018년 3월 26일 10주씩 3반복 수확하여 조사하였다.

일반밭 토양과 간척지에서 재배하였을 때 생육 및 이눌린을 평가 비교하기 위하여 2017년에 수집한 21종 중 피경색깔별 수량성을 기준으로 총 7종을 선발하여 2018년 4월 19일에 1점씩 파종하였다. 재식거리와 시비량은 전년도와 같았다. 똥탄지 출현율은 출현 주수가 80% 이상 출현한 6월 21일에 조사하였고, 초장은 10월 12일에 똥탄지 개화기 이후 꽃이 50% 이상 피었을 때 조사하였으며 지면에서 최상단 길이까지 측정하였다. 엽면적은 같은 날 엽면적계(LI-3100C, Li-COR, Lincoln, USA)를 이용하여 측정하였다. 피경수량 및 이눌린 함량은 2018년 11월 6일 10주씩 3반복 수확하여 조사 및 분석하였다.

토양시료채취 및 분석방법

토양시료는 오거(auger)를 이용하여 표토(0-20 cm)와 심토(20-40 cm)에서 시험 전 토양을 각 처리구별로 3반복씩 채취하였다. B와 C 지역의 토양염농도 변화는 6월 04일, 6월 21일, 8월 21일 총 3번 전기전도도(Electrical Conductivity, EC)를 조사하였다. 채취한 시료는 건조 후 2 mm 표준체를 통과한 후 토양 EC는 1:5 침출법(토양: 증류수 = 1:5, w/w)으로 pH-EC 미터기로 분석하였고, 치환성 양이온은 증류수와 1 N-NH₄OAc (pH 7.0) 침출법으로 추출한 여액을 ICP-OES (Vista MPX-ICP,

Varian, Collinsville, USA)를 사용하여 정량분석 하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 분광측정기(Libra S80, Biochrom, Cambridge, England)를 이용해 720 nm에서 비색 측정하였다(식량작물환경 분석법 핸드북, 2014).

이눌린 분석방법

이눌린 분석은 가수분해 전, 후의 과당(Fructose) 함량을 정량한 후 함량을 분석하였는데[14], 수집 똥탄지를 얇게 썰어 동결건조 시킨 후 가수분해 전 방법은 50 mL 시험관에 시료 1 g을 넣고 50% 아세토니트릴(ACN) 20 mL를 주입하였다. 다음 실온에서 24시간 동안 교반하여 추출한 후 원심분리 후 0.2 μm 로 필터를 하였다. 산 가수분해 방법은 시료 1 g을 20 mL 0.2 M HCl 97°C에 45분간 반응한 후 상온에서 식혀 50% ACN을 이용하여 10배 희석하였다. 다음 0.2 μm 로 필터 후 초고성능액체크로마토그래피(ultra-high performance liquid chromatography, Dionex Ultimate 3000, Thermo Scientific, Dreieich, Germany)로 분석하였다. 분석기기 조건은 컬럼은 Waters ACQUITY BEH amide column (particle size 1.7 μm , 2.1 \times 100 mm), 유량은 분당 0.26 mL, 주입용량은 1.3 μl , 샘플러 온도는 10°C였다.

통계분석

똥탄지 생육 및 수량은 10주씩 총 3반복으로 조사하였으며, 통계분석 프로그램 RStudio server Pro (Ver. 1.3.959-1, Canada)을 이용하여 분산분석을 0.05 이하 수준으로 수행하였으며, Duncan test를 통한 다중검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

똥탄지 재배기간 기상 특성

2017년부터 2018년까지 시험기간 동안 A지역과 B, C지역의 평균기온 및 강수량을 나타내었다(Fig. 2). 수집한 똥탄지의 생육 및 이눌린 평가를 위해 A지역의 2017년 4월부터 12월까지 평균기온은 16.8°C 이었으며, 총 강수량은 855 mm 이었다. 일반밭 토양과 간척지에서 재배한 똥탄지의 생육과 이눌린을 평가 및 비교하기 위해 2018년 4월부터 12월까지의 A지역의 평균온도는 17.2°C B, C지역은 16.3°C 이었

Table 1. Soil properties before the experiment began in 2018

Site	Soil depth	pH	EC	OM ^{a)}	Av. P ₂ O ₅ ^{b)}	Ca	K	Mg	Na
	(cm)	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg/kg		cmol _c kg ⁻¹		
A	0~20	5.9	0.2	5.3	58	2.4	0.16	1.5	0.05
	20~40	5.8	0.2	6.2	64	2.4	0.16	1.5	0.05
B	0~20	6.2	3.3	1.6	17	0.8	0.50	1.6	1.95
	20~40	7.0	0.5	1.6	23	0.8	0.58	1.5	0.84
C	0~20	6.2	5.6	1.6	20	0.9	0.62	2.2	4.54
	20~40	6.3	4.9	1.6	19	0.7	0.52	1.7	2.77

^{a)}OM; Organic Matter ^{b)}Av. P₂O₅; available phosphate

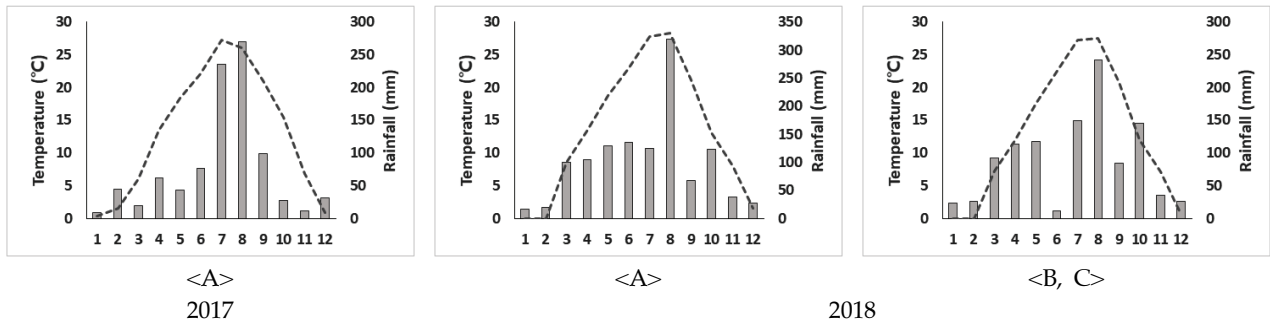


Fig. 2. The monthly average temperature (°C) and accumulative rainfall (mm) in the experiment field during 2017(A) and 2018 (A, B, C).

으며, 총 강수량은 A지역이 1,063 mm로 B, C지역 926 mm 보다 141 mm 많았다. 특히 6월과 8월에 A지역이 B, C지역 보다 강우량이 각각 123.5 mm, 78 mm 더 많았다.

지역보다 토양 pH는 낮았으며, 유기물 함량과 유효인산은 각각 5.3 g/kg⁻¹, 58 mg/kg으로 많았다. B와 C지역은 A지역 보다 치환성칼륨과 나트륨이 많은 경향을 보였다.

포장시험지 토양 조건

선발한 땅파지를 간척지와 일반밭 토양 조건에서 재배하였을 때 생육과 이눌린을 평가 및 비교하기 위하여 2018년 4월 시험 전 토양 조건은 Table 1과 같았다. A지역은 B와 C

수집 등판지의 괴경 색깔별 생육 및 이눌린 함량 비교

2017년 수집한 땅파지의 괴경 색깔별 초장, 괴경수량, 이눌린함량을 Table 2에 나타내었다.

흰색 땅파지의 초장은 W1, W3, W5, W6, W7, W8이 최

Table 2. Analysis of growth and inulin contents on the basis of color of *H. tuberosus* L. collected in 2017

Tuber Color	Systemic Name	Collecting place	Plant height (cm)		Yield (kg/10a)		Inulin contents (g/100g)	
White	W1	Gangwon-do Yanggu-gun	247.8 ^a	±17.3	1,750 ^{abc}	±36.0	15.0 ^{abc}	±0.3
	W2	Gyeongsangnam-do Sacheon-si	162.7 ^{de}	±37.7	1,181 ^{bc}	±9.0	16.6 ^a	±0.9
	W3	Gyeongsangnam-do Haman-gun	219.6 ^{abc}	±23.8	208 ^c	±7.0	13.3 ^{cd}	±0.8
	W4	Gyeongsangnam-do Yangsan-si	182.6 ^{bcde}	±8.4	1,014 ^{bc}	±12.0	14.5 ^{abc}	±0.2
	W5	Jeollanam-do Boseong-gun	206.3 ^{abcd}	±27.0	167 ^c	±3.4	15.0 ^{abc}	± 0.5
	W6	Jeollanam-do Mokpo-si	227.1 ^{abc}	±24.8	972 ^{bc}	±17.4	15.0 ^{abc}	±0.4
	W7	Gangwon-do Yeongwol-gun	233.3 ^{ab}	±8.6	1,181 ^{bc}	±25.5	13.8 ^{bcd}	±0.4
	W8	Gyeongsangbuk-do Mungyeong-si	227.1 ^{abc}	±19.9	2,083 ^{ab}	±60.2	14.8 ^{abc}	±0.3
	W9	Gyeongsangbuk-do Gyeongsan-si	165.4 ^{de}	±16.3	250 ^c	±4.5	15.9 ^{ab}	±0.1
	W10	Gangwon-do Samcheok-si	142.8 ^e	±39.8	250 ^c	±6.2	15.3 ^{abc}	±0.5
	W11	Jeju-do Seogwipo-si	177.6 ^{cde}	±16.3	3,458 ^a	±62.3	11.5 ^{cd}	±0.9
	W12	Jeju-do Jeju-si	162.3 ^{de}	±28.9	3,611 ^a	±48.8	13.2 ^d	±1.1
Purple	P13	Chungcheongnam-do Geumsan-gun	194.0 ^{ns}	±24.0	110 ^{bc}	±3.0	21.8 ^c	±1.1
	P14	Jeollabuk-do Namwon-si	214.5 ^{ns}	±25.6	2,744 ^a	±42.1	33.7 ^a	±1.7
	P15	Jeollabuk-do Jeongeup-si	203.8 ^{ns}	±5.6	724 ^{bc}	±19.0	33.4 ^a	±0.8
	P16	Gyeongsangbuk-do Mungyeong-si	152.7 ^{ns}	±10.5	542 ^{bc}	±3.0	31.3 ^{ab}	±0.9
	P17	Gangwon-do chuncheon-si	159.3 ^{ns}	±17.5	778 ^{bc}	±7.2	26.7 ^{abc}	±0.9
	P18	Gyeongsangbuk-do Yecheon-gun	147.8 ^{ns}	±10.2	722 ^{bc}	±6.0	24.4 ^{bc}	±0.4
	P19	Gyeongsangbuk-do Gunwi-gun	206.0 ^{ns}	±17.2	1,625 ^{ab}	±69.0	24.0 ^{bc}	±2.1
	P20	Jeju-do Jeju-si	187.3 ^{ns}	±5.9	2,352 ^a	±28.0	19.7 ^c	±0.6
	P21	Gyeongsangbuk-do Goryeong-gun	176.0 ^{ns}	±41.7	104 ^c	±2.0	19.6 ^c	±0.4

The results represent the mean ± SD and a-d means with different letters on the letters are significantly different (P < 0.05) according to Duncan's multiple range test.

소 206 cm, 최대 248 cm로 통계적으로 유의성을 보였으나, 자색 뽕따지는 최소 148 cm, 최대 206 cm이었지만 통계적으로 유의성을 보이지 않았다. 뽕따지 초장은 기저와 중간 부분 줄기 직경과 연관성이 높다고 하였으며[15], 초장과 괴경 크기가 그룹 내에서 genotype으로 나눌 수 있는 최고의 특성이라고 하였다.

흰색 뽕따지의 괴경수량은 W11과 W12가 각각 10a당 3,458, 3,611 kg, W8이 2,083 kg, W1이 1,750 kg로 많았다. 반면 W3, W5, W9, W10은 최소 167 kg, 최대 250 kg로 가장 적었다. 자색 뽕따지의 괴경수량은 P14, P20, P19가 각각 10a당 2,744, 2,352, 1,625 kg로 많았으며, P21이 104 kg로 가장 적었다. 뽕따지는 괴경 길이와 넓이가 수량을 결정한다고 하였는데[15], 흰색 뽕따지는 자색 뽕따지보다 길이와 넓이가 크기 때문에 최고수량이 더 많은 경향을 보였다. 또한 평균 괴경 무게는 재식밀도, 무기질소 함량 등 환경적 요소들에 의존한다하였다[16].

이눌린 함량은 자색 뽕따지가 흰색 뽕따지보다 많은 경향을 보였다. 특히 P14와 P15는 이눌린 함량이 각각 100 g당 33.7, 33.4 g이었다. 흰색 뽕따지는 W2가 100 g당 16.6 g으로 가장 많았다. 뽕따지 이눌린함량은 수확시기, 품종, 수확 전 상태에 따라 달라진다고 하였고[17-19], 품종에 따라서 이눌린 함량 차이가 있었다라고 하였다[20]. 뽕따지는 흰색과 자색 두가지가 있는데, 괴경 색깔별 이눌린 함량 차이에 대한 메커니즘도 연구가 필요로 할 것으로 판단된다.

2017년 수집하여 재배한 뽕따지의 수량성을 기준으로 간척지와 일반밭 토양에서 뽕따지 재배시 생육과 이눌린 평가 및 비교하기 위해서 Table 3과 같이 흰색뽕따지 4점, 자색뽕따지 3점 총 7점을 선발하였다. 수량성을 기준으로 선발한 이유는 괴경 수량 수준이 높은 것이 이눌린을 생산하는 최종 사용자를 위한 전제조건이라고 하였으며 [21], 이눌린 함량은 상당히 괴경 수량과 상관관계가 있다고 하였다[22]. 또한 뽕따지 괴경이 한발이나 염분토양 같은 스트레스 상황에서 재배시 낮은 수량 때문에 고품질의 이눌린을 추출하기에는 적합하지 않다고 하였다[23]. 이처럼 뽕따지의 이눌린함량이 뽕따지 평균 이눌린 함량보다 많다고 하여도 수량이 뒷받침되어야 한다고 판단하였고, 자색 뽕따지가 흰색 뽕따지보다 이눌린 함량은 많은 경향을 보였지만, 자색 뽕따지는 흰색 뽕따지보다 괴경 크기가 작기 때문에 간척지 같은 대규모인 곳에서 기계화를 도입할 경우 흰색 뽕따지가 더 유용할 것이라 판단하였다.

간척지와 일반밭 토양에서 뽕따지 재배시 이눌린 함량 및 생육 비교

Table 3과 같이 선발한 뽕따지 총 7점을 가지고 두 지역에서 재배하였을 때 이눌린과 생육 비교를 하였다. 일반밭 토양 (A)와 간척지 (B, C)에서 토양 EC 변화는 Fig. 3과 같다. B와 C는 6월 중순까지 온도가 높고 강수량이 적어 모세관상승에 의한 토양 염농도가 급격히 상승하는 경향을 보였으나,

Table 3. List of selected *H. tuberosus* L. among the collected in 2017

Systemic Name	Collecting place	Tuber Color
W1	Gangwon-do Yanggu-gun	White
W8	Gyeongsangbuk-do Mungyeong-si	White
W11	Jeju-do Seogwipo-si	White
W12	Jeju-do Jeju-si	White
P14	Jeollabuk-do Namwon-si	Purple
P19	Gyeongsangbuk-do Gunwi-gun	Purple
P20	Jeju-do Jeju-si	Purple

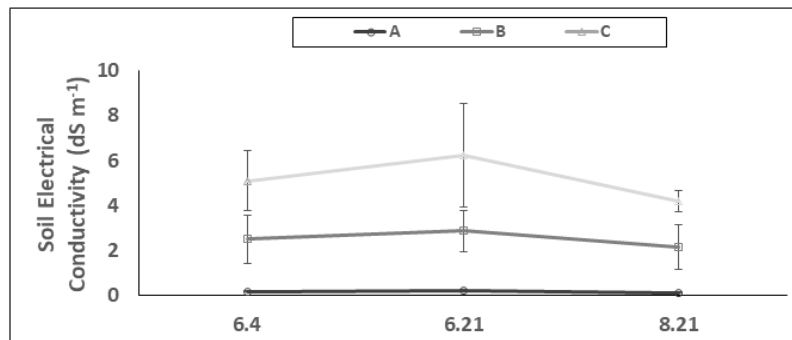


Fig. 3. Comparison of soil electrical conductivity in the field types (A, B, and C) cultivated *H. tuberosus* L. during 2018.

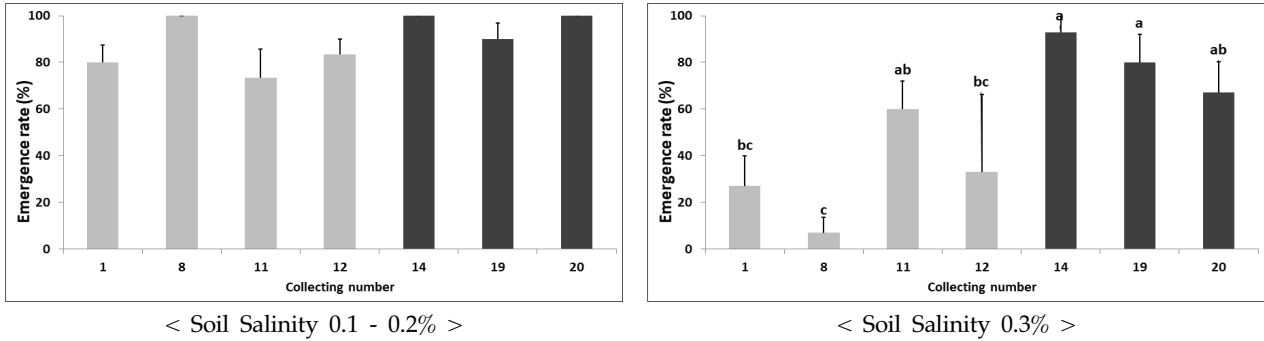


Fig. 4. Emergence rate by soil salinity level when cultivating *H. tuberosus* L in reclaimed land

a-c means with different letters on the bars are significantly different ($P < 0.01$) according to Duncan's multiple range test. Error bars indicate standard deviation of the mean.

이후에는 기존 처리구의 농도 수준을 유지하였다. [토양 EC는 수분함량에 따라 좌우되며 토양수분은 지하수위와 강우조건에 따라 좌우된다[24]. 특히 토양 표토(0 - 20 cm)는 강우조건과 상관관계가 높다고 알려져 있다.

토양 염농도별 뽕판지의 출현율은 Fig. 4와 같다. 0.2% 수준까지는 대부분 선발한 뽕판지가 안정적인 출현율을 보였다. 0.3% 수준에서는 자색 뽕판지가 흰색 뽕판지보다 높은 출현율을 나타내는 경향을 보였고, W8은 가장 낮은 출현율을 보였다.

뽕판지의 토양 염농도 한계는 약 2.5 dS m^{-1} 이고 6.0 dS m^{-1} 에서 약 50% 정도의 수량감소가 일어난다고 알려져 있는데[25], 연구결과 알려진 것보다 염에 대한 내염성이 더 강했다라고 하였다. 또한 내염성에 대한 차이는 뽕판지 품종에 따라 존재하는 적응 메커니즘의 차이에서 발생한다라고 하였다[26].

간척지와 일반밭 토양에서 뽕판지 재배시 괴경 색깔 별 이눌린 함량과 수량을 비교하였다(Fig. 5). 흰색 뽕판지는 일반밭 토양보다(A) 간척지(B)에서 재배하였을 때 이눌린함량이 평균 17.8 %로 증가하는 경향을 보였으나 자색 뽕판지는 비슷하거나 9.5 % 낮은 이눌린 함량을 보였다. 염분에 반응하여 이눌린이 약 25% 정도 증가하였는데 염분에 의해 촉발된 삼투성 보호 메커니즘과 연관되어 있다고 하였다[13]. 또한

수크로스나 프룩탄 같은 당들은 아마도 염 스트레스 하에서 삼투압조절제나 세포막 보전을 유지하기 위해 사용되는데, 적당한 염분은 괴경 프룩탄 함량을 증가되는 것과 관련있다고 하였다[27].

괴경 수량은 자색 뽕판지는 간척지(B)보다 일반밭 토양에서 더 많은 수량을 보였고 흰색 뽕판지 W1과 W8은 일반밭 토양보다 간척지(B)에서 더 많은 수량을 나타내었다. 하지만 간척지(C)조건에서 재배한 뽕판지는 자색 등 일부가 높은 출현율을 보였지만 0.3% 이상 조건이 계속 재배되었을 때 괴경 수량과 이눌린 분석을 위한 충분한 수량이 나오지 않았다. [25]의 연구결과와 같이 6.0 dS m^{-1} 에서 약 50% 이상 수량 감소가 일어난다고 하였는데, 이 실험에서는 그 이상의 수량 감소가 일어났다. 이러한 감소 원인 파악을 위해서는 이눌린 함량이 증가되기 시작되는 개화기 등 뽕판지 생육시기별 염에 대한 취약성 평가와 고염에 대한 뽕판지 내염성에 관한 연구도 더 필요로 할 것으로 판단된다.

일반노지와 간척지에서 뽕판지 재배시 괴경 색깔별로 초장 및 엽면적을 Table 4에 나타내었다. 일반노지가 간척지에서 재배하였을 때 보다 초장 및 엽면적이 큰 경향을 보였으며, 일반노지에서는 흰색 뽕판지가 자색 뽕판지보다 초장은 컸으나 엽면적은 작은 경향을 보였다.

엽면적 감소는 초기 고사가 영향을 미쳐, 성장률 등을 감

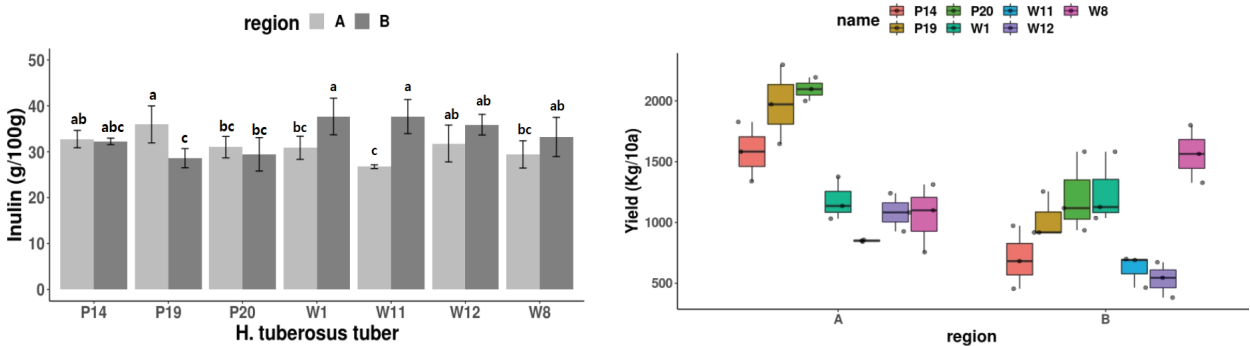


Fig. 5. Comparison of inulin content and yield of *H. tuberosus* L.

Table 4. Comparison of plant height (cm) and leaf area (cm³) by region

Region	Systemic Name	Plant height (cm)	Leaf area (cm ³)		
A	W1	265.6 ^a	±27.7	145.2 ^b	±25.0
	W8	257.5 ^{ab}	±22.2	116.8 ^{cd}	±14.3
	W11	227.3 ^c	±23.5	132.4 ^{bc}	±29.7
	W12	228.6 ^{bc}	±18.5	178.6 ^a	±28.0
	P14	176.2 ^d	±44.7	149.1 ^b	±29.9
	P19	201.0 ^{cd}	±46.8	185.8 ^a	±25.1
	P20	188.0 ^d	±48.7	143.4 ^b	±25.7
B	W1	102.5 ^e	±18.1	97.5 ^{def}	±11.7
	W8	121.0 ^e	±22.0	100.6 ^{de}	±11.7
	W11	121.4 ^e	±17.3	84.1 ^{efg}	±13.2
	W12	129.8 ^e	±10.5	77.3 ^g	±13.7
	P14	110.3 ^e	±15.1	56.8 ^h	±10.0
	P19	131.1 ^e	±8.5	79.7 ^{fg}	±8.6
	P20	113.3 ^e	±14.2	69.1 ^{gh}	±10.9

The results represent the mean ± SD and a-h means with different letters on the letters are significantly different ($P < 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

소시킨다라고 하였으며[28], 토양 특성이 서로 다른 곳에서 땀판지의 피경색과 모양을 제외하고, 피경의 길이, 평균 피경 무게, 주수당 피경개수, 주수당 피경 생중, 피경 수확 깊이 등이 달라진다고 하였다[29]. 또한 땀판지의 광합성능력과 탄수화물 합성 등이 염분에 의해 감소되면서 건물중 등이 감소된다고 하였다[30-32]. 또한 나트륨보다는 염소이온에 의해 지상부 생육이 감소시켰을 것이라고 하였는데[13], 염분 중 어느 이온이 땀판지의 생육에 더 영향을 미쳤는지에 대한 연구가 더 필요로 할 것으로 판단된다.

땀판지 지상부 엽면적도 간척지에서 재배한 곳이 일반밭 토양보다 적었는데, 이는 염분 스트레스하에 *Amaranthus tricolor* 나 [33], 멜론 등에서 엽면적이 감소하였다는 결과와 비슷하였다 [34].

간척지는 과잉생산과 가격폭락 현상에 시달리고 치열한 경쟁시장을 넘어 수요가 증가하고 있는 신시장으로써 기회의 땅이 되어야 한다. 토양 및 수질 오염문제에 민감한 간척지에서 저투입으로 재배가 가능하고, 0.3% 이상 염농도에서 높은 출현율과 수량, 이눌린 함량을 전체적으로 고려하였을 때 자색 땀판지 P20이 가장 좋을 것으로 판단된다. 또한 추후 기계화 작업에 용이한 피경 크기와 수량, 이눌린함량을 고려했을 때 흰색 땀판지 W1과 W8들도 간척지 재배에서 좋을 것으로 판단된다. 특히 간척지 같은 특수한 토양환경에서 작물을 재배하였을 때 다양한 기능성 물질 증가 사례 연구가 더 필요로 할 것으로 생각된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment

This study was supported financially by a grant from the research project (No. PJ015100032020) of National Institute of Crop Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Oh YY, Lee JT, Hong HC, Kim JH, Seo WD, Kim S, Ryu JH, Lee SH, Kim YJ (2018) The selection of proper resource and change of salinity in *Helianthus tuberosus* L. cultivated in Saemangeum reclaimed tidal land. Korean Journal of Environmental Agriculture, 37(2), 73-78. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2018.37.2.11>
- Shim HH, Choi SM, Cho JH (2011) A Study on new village planning in the farming zone of Saemangeum reclaimed area. Journal of Korean Society of Rural Planning, 17(4), 61-74. <https://doi.org/10.7851/ksrp.2011.17.4.061>
- Jeong HJ, Kim JS, Sa YJ, Kim MO, Yang J, Kim MJ (2011) Antioxidant activity and α-Glucosidase inhibitory effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) methanol extracts by heat treatment conditions. Korean Journal of Medicinal Crop Science, 19(4), 257-263. <https://doi.org/10.7783/KJMCS.2011.19.4.257>
- Kou Y, Lu S, Liu, J, Zhao C (2014) The review of *helianthus tuberosus* L. and its comprehensive utilization

- as a bioenergy plant in oligosaccharide. Chinese Bulletin of Life Sciences, 26, 451-457.
5. Newton PJ, Myers BA, West DW (1991) Reduction in growth and yield of Jerusalem artichoke caused by soil salinity. Irrigation Science, 12(4), 213-221. <https://doi.org/10.1007/BF00190526>
 6. Jhon DY, Kim MH (1998) Studies on inulase from Jerusalem artichoke. Journal of the Korea Society of Food Science and Nutrition, 17(3), 205-210.
 7. Kim JL, Bae CR, Cha YS (2010) *Helianthus tuberosus* extract has anti-diabetes effects in HIT-T15 cells. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 39(1), 31-35. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2010.39.1.031>
 8. Shin SH, Kwon SJ, Jo HJ, Go DH, Han JJ (2012) Extraction and analysis of inulin from Jerusalem artichoke. Food Science and industry, 45(4), 50-58.
 9. Kim AR, Lee JJ, Lee YM, Jung HO, Lee MY (2010) Cholesterol-lowering and anti-obesity effects of polymnia *Sonchifolia Poeppl. & Endl.* Powder in rats fed a high fat-high cholesterol diet. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 39(2), 210-218. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2010.39.2.210>
 10. Long XH, Huang ZR, Huang YL, Kang J, Zhang Z, Liu, ZP (2010) Response of two Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) cultivars differing in tolerance to salt treatment. Pedosphere, 20(4), 515-524. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(10\)60041-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60041-0)
 11. Bacon JSD, Edelman J (1951) The carbohydrates of the Jerusalem artichoke and other compositae. Biochemical Journal, 48(1), 114-126.
 12. Chabbert N, Guiraud JP, Arnoux M, Galzy P (1985) Productivity and fermentability of different Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) cultivars. Biomass, 6(4), 271-284. [https://doi.org/10.1016/0144-4565\(85\)90053-8](https://doi.org/10.1016/0144-4565(85)90053-8)
 13. Nildo SD, Jorge FS, Xuan L, Donald LS (2016) Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters. Industrial Crops and Products, 94, 1009-1024. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.029>
 14. Saengkanuk A, Nuchadomrong S (2011) A simplified spectrophotometric method for the determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. European Food Research and Technology, 233(4), 609-616. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1552-3>
 15. Puttha R, Jogloy S, Suriharn B, Wangsomnuk PP, Kesmala T, Patanothai A (2013) Variations in morphological and agronomic traits among Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) accessions. Genetic Resources Crop Evolution, 60(2), 731-746. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9870-2>
 16. Rodrigues MA, Sousa L, Cabanas JE, Arrobas M (2007) Tuber yield and leaf mineral composition of Jerusalem artichoke grown under different cropping practices. Spanish Journal of Agricultural Research, 5(4), 545-553. <https://doi.org/10.5424/sjar/2007054-275>
 17. Cabezas, MJ, Rabert C, Bravo S, Shene C (2002) Inulin and sugar contents in *Helianthus tuberosus* and *Cichorium intybus* tubers: Effect of postharvest storage temperature. Journal of Food Science, 67(8), 2860-2865. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08829.x>
 18. Kocsis L, Liebhard P, Praznik W (2007) Effect of seasonal changes on content and profile of soluble carbohydrates in tubers of different varieties of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(23), 9401-9408. <https://doi.org/10.1021/jf0717485>
 19. Slimestad R, Seljaasen R, Meijer K, Skar SL (2010) Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. Journal of the Science of Food and Agriculture, 90(6), 956-964. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3903>
 20. Bach V, Kidmose U, Bjorn GK, Edelenbos M (2012) Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. Food Chemistry, 133(1), 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.075>
 21. Sawicka B, and Michałek W (2005) Evaluation and productivity of *Helianthus tuberosus* L. in the conditions of the central-east Poland. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 8(3), #42.
 22. Lv S, Wang R, Xiao Y, Li F, Mu Y, Lu Y (2019) Growth yield formation, and inulin performance of a non-food energy crop, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a semi-arid area of China. Industrial Crops & Products, 134, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.064>
 23. Long XH, Shao HB, Liu L, Liu LP, Liu ZP (2016) Jerusalem artichoke: A sustainable biomass feedstock for biorefinery. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 1382-1388. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.063>

24. Kwun SK, Yoon KS (1994) Variational characteristics of watertable and soil moisture in paddy-upland rotational fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 36(2), 123-131.
25. Gengmao Z, Mehta SK, Zhaopu L (2010) Use of saline aquaculture wastewater to irrigate salt-tolerant Jerusalem artichoke and sunflower in semiarid coastal zones of China. *Agricultural Water Management*, 97(12), 1987-1993.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.013>.
26. Huang Z, Long X, Wang L, Kang J, Zhang Z (2012) Growth, photosynthesis and H⁺-ATPase activity in two Jerusalem artichoke varieties under NaCl-induced stress. *Process Biochemistry*, 47(4), 591-596.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.12.016>.
27. Stoyanova S, Geuns J, Hideg E, Van Den Ende W (2011) The food additives inulin and stevioside counteract oxidative stress. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 62(3), 207-214.
<https://doi.org/10.3109/09637486.2010.523416>.
28. Bernstein N, Lauchli A, Silk WK (1993) Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress: Spatial and temporal aspects of leaf growth inhibition. *Planta*, 191(4), 433-439.
<https://doi.org/10.1007/BF00195744>.
29. Filipovic V, Radanovic D, Markovic T, Ugrenovic V, Protic R, Popovic V, Sikora V (2016) Productivity and tuber quality of *Helianthus tuberosus* L. cultivated on different soil types in Serbia. *Romanian Biotechnological Letters*, 21(4), 11695-11704.
30. Conde JR, Tenorio JL, Rodríguez-maribona B, Ayerbet L (1991) Tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in relation to water stress. *Biomass and Bioenergy*, 1(3), 137-142.
31. Maggio A, Raimondi G, Martino A, De Pascale S (2007) Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 276-282.
[https://doi.org/10.1016/0961-9534\(91\)90022-5](https://doi.org/10.1016/0961-9534(91)90022-5).
32. Xiao-Hua Y, Zhang LH, Shao HB, Xu G, Zhang F, No FT, Brestic M (2011) Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use values. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(8), 1272-1279.
33. Wang Y, Nii N (2000) Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75, 623-627.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2000.11511297>.
34. Medeiros JF, Terceiro Neto CPC, Gheyri HR, Dias NS, Souza MSM, Souza RO (2014) Management strategies of saline water on morphometric characteristics of melon cultivars. *Engenharia, Agrícola*, 34(4), 649-659.
<http://doi.org/10.1590/S0100-69162014000400005>.