

봄 감자 재배 시 관수 및 관비 처리가 생육 및 수량에 미치는 영향

김종혁¹ · 노일래^{2,3,†}

Effect of Irrigation and Fertigation Treatments on Growth and Yield in Spring Potato Cultivation

Jong Hyuk Kim¹ and Il Rae Rho^{2,3,†}

ABSTRACT This study was conducted to determine the suitable amount of irrigation and fertigation for the growth and yield of spring potatoes (*Solanum tuberosum* L.). To investigate the effect of soil moisture content on the growth and yield of potato, five irrigation treatments were performed based on soil moisture tension: -10 kPa, -20 kPa, -30 kPa, -40 kPa, and non-irrigation. The growth and yield among the irrigation treatments was the best in the -10 kPa treatment, where the yield increased by 47% compared to the non-irrigation treatment. To determine the standard of additional fertilizer for fertigation cultivation of spring potatoes, seven treatments were performed, including a control (basic fertilization without additional fertilizer), compound fertilizer (NPK) based on 0.5 times the standard amount of fertilizer (NPK 0.5; N-P₂O₅-K₂O: 2.5-2.2-3.25 kg/10a), NPK 0.8 (N-P₂O₅-K₂O: 4-3.5-5 kg/10a), and NPK 1.2 (N-P₂O₅-K₂O: 6-5.3-7.8 kg/10a), and potassium fertilizer of 2 kg (K 2), 5 kg (K 5), and 7 kg (K 7). The growth and yield among the fertilization treatments was highest in the K 5 treatment, where the yield increased by approximately 27% compared to the control. Therefore, this study suggests that irrigation with -10 kPa or fertigation with K 5 during the tuber initiation and tuber filling stage could increase the yield of spring potatoes.

Keywords : fertigation, fertilizer, irrigation, soil moisture, tuber

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 가지속 가지과에 속하는 식물로 기원은 남미 안데스산맥 지역의 페루 및 볼리비아가 원산지로 알려져 있다. 감자는 전 세계 150여 개국에서 재배되고 있으며, 2010년 이후 매년 연간 생산량이 3억 5천만 ton 이상으로 세계에서 4번째로 많이 재배되는 식량작물 중 하나이다(John & Gavin 2009; FAO 2021). 국내 감자재배 면적은 2020년 기준 약 2만 4천 ha이며, 수확량은 55만 ton으로 약 77%가 국내에서 소비될 만큼 내수비중이 높은 작물이다(KOSIS 2021). 우리나라에서는 주로 주식보다는 전분, 가공용 칩, 프렌치 프라이 등의 부식 또는 간식으로 이용되며, 그 외에도 화장품 및 생분해성 제품원료 등으로 이용되어지고 있다(Kim *et al.*, 2016; Joe *et al.*, 2011).

감자의 수량은 괴경 형성기와 괴경 비대기의 수분 및 양분관리가 수확량에 지대한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Kolbe & Stephan, 1997; Pinheiro & Chaves, 2010). 최근 기후변화로 인한 가뭄의 빈도가 늘어나고 있으며 이에 따른 작물의 수량은 감자가 -2~26%, 벼와 콩은 각각 -40%, -35~61%의 수량이 감소 될 수 있을 것으로 예측하고 있다(Jeong *et al.*, 2020; Choi *et al.*, 2019; Raymundo *et al.*, 2018). 우리나라의 경우 가뭄이 심한 해에는 여름에 강수량이 편중되어 있고 이외의 계절에는 자연 강우에 의한 수분 공급이 어려운 점이 있다. 따라서 우리나라 감자 재배는 주로 봄과 가을에 이루어지므로 인위적인 관수에 의한 수분공급이 필요한 실정이다(Kim *et al.*, 2017). 현재 대부분의 농가에서는

¹경상국립대학교 응용생명과학부 박사과정 (Ph.D, Department of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

²경상국립대학교 농학과 교수 (Professor, Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

³경상국립대학교 농업생명과학연구원 책임연구원 (Proferssor, Institute of Agriculture Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea)

[†]Corresponding author: Il Rae Rho; (Phone) +82-55-772-1872; (E-mail) irno12@gnu.ac.kr

<Received 20 January, 2022; Revised 21 April, 2022; Accepted 5 May, 2022>

Table 1. Soil chemical properties of the experimental field.

pH (1:5)	EC (dS/m)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	T-N (%)	O.M. (g/kg)	Ex. cation (cmol/kg)			
					K ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	Na ⁺
6.06	0.11	428.3	0.04	11.6	0.56	2.20	0.31	0.05

Table 2. Soil physical properties of the experimental field.

Three phases of soil			Soil hardness		Soil characteristic			
Solid	Liquid	Gas	clay	sand	silt	Bulk density	Soil texture	
(%)			(mm)	(%)	(Mg/m ³)			
38.58	15.20	46.22	7.2	2.4	67.9	29.7	1.02	Sandy loam

자연 강우에 의존하고 있지만 일부 농가에서는 고랑관수, 분수호스, 스프링클러 및 점적호스 등을 활용하여 관수함으로써 감자의 생육 및 수량을 증진시키고 있다. 그러나 아직까지 감자 재배 시 관수량 및 관수시기가 감자의 생육 및 수량에 영향을 관한 연구는 부족한 실정이다.

감자 생육에 있어 관수뿐만 아니라 시비는 매우 중요한 영향을 미치는데, 봄 감자 재배 시 표준 시비량은 질소 12 kg, 인산 8.8 kg, 칼리 13 kg으로 전부 기비로 시비하고 있으나 표준시비량 보다 더 많은 양을 관행적으로 시비하고 있다. 일반적으로 작물 생산에 이용되는 시비효율은 질소 33%, 인산 10~15%, 칼리 19%이며, 나머지는 유거, 용탈, 및 휘발 등의 다양한 경로로 손실되고 있다(Raun *et al.*, 1999; Robert & Johnstone, 2015; Dhillon *et al.*, 2019). 농경지에서 유실되는 비료의 경우 비점오염원으로써 하천의 부영양화 및 지하수 오염 등의 문제를 일으키고 있으며 이러한 문제를 극복하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 중 관비재배는 수용성 비료를 물에 용해 후 점적관을 통하여 시비하는 방법으로 기존의 관행시비에 비하여 작물 흡수율이 높아 소모되는 비료양을 절감할 수 있는 재배법이다. 관비 재배는 고추, 파프리카, 애호박 등의 시설재배에서 주로 사용되어왔지만 최근에는 양파, 마늘 같은 노지작물에서도 사용되고 있다(Choi *et al.*, 2017; Ha *et al.*, 2015; Nam *et al.*, 2007). 노지 관비재배는 감자를 비롯한 다양한 작물에서 40~80%의 시비절감 효과와 22% 가량 수량 증대 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(Salvador & Bañoc, 2020; Eissa, 2018; Jung *et al.*, 2012). 그러나 아직까지 국내에서는 감자 재배 시 최적 관비량에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 봄 감자 재배 시 최적 수분함량을 구명하고 감자 관비 재배에 적합한 추비 기준을 마련하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험 포장 조성 및 토양 특성

본 실험은 경상남도 진주시 대곡면 경상국립대학교 부속 농장 시험 포장(포장면적, 75 m × 25 m)에서 수행하였다. 시험품종은 ‘수미’ 품종을 사용하였고, 정식 전에 가축분 퇴비 1.5 t (Seung Green Tec Co., LTD, Miryang-si, Korea)와 기비로 요소(Namhae Co., Yeosu, Korea), 용성인비(N-P₂O₅-K₂O: 0-17-0, Pungnong, Seoul, Korea) 및 황산가리(N-P₂O₅-K₂O: 0-0-48, Farmhannong, Seoul, Korea) 표준시비량의 반(N-P₂O₅-K₂O: 5-4.4-6.5 kg/10a)을 시비 후 이랑(고휴1열 재배)을 조성하였다. 이후 점적호스(20 drip-tape, Okto, Seoul, Korea) 설치 및 검정 멀칭비닐로 피복한 다음 2021년 3월 11일에 정식(주간거리 20 cm, 열간거리 80 cm)하였고 수확은 6월 14일에 하였다. 파종 후 감자의 출현율은 95%였으며, 출현 이후 결순(즉아)은 모두 제거하였다. 관비 처리는 5월 7일(괴경 형성기)과 5월 24일(괴경 비대기)에 각각 실시하였고, 수확은 6월 14일에 하였다. 감자 잿빛곰팡이병과 같은 병해충 방제는 농촌진흥청 표준 영농교본을 참조하여 화학적 방제를 실시하였다. 시험 포장의 토양은 약산성이고 토양 전기전도도는 0.11 dS/m, 토양 내 유기물 함량은 11.6 g/kg, 유효 인산 및 총 질소함량은 각각 428.3, 0.04 mg/kg을 함유하고 있었다(Table 1). 토양 물리성의 경우 고상 38.58%, 액상 15.20%, 기상 46.22%이고, 토양 경도는 7.2 mm, 용적밀도 1.02 Mg/m³ 토성은 모래가 다량 함유된 사양토로 조사되었다(Table 2).

관수 및 시비 처리

관수처리는 파종 전 농촌진흥청 감자 표준시비량(N-P₂O₅-K₂O: 10-8.8-13 kg/10a)을 기준으로 하여 기비로 전량 시비하였다. 관수처리를 위해 자동 관수 장치(WP700, Mirae sensor,

Seoul, Korea)를 이용하여 센서를 토양 20 cm 부근에 매설한 뒤 토양 내 장력수분(토양 유효수분함량 %단위)이 각각 -10 kPa (22.1%), -20 kPa (19.3%), -30 kPa (17.7%), -40 kPa (16.5%)이 되도록 자동 관수하였다. 처리 기준은 일반적으로 감자의 적정 수분함량은 -25 kPa로 보고되고 있어 이 기준을 참조하여 설정하였다(King *et al.*, 2020). 관수 처리는 감자의 괴경 형성기와 괴경 비대기에 각각 7일간 관수처리를 하였다. 무관수구는 인위적인 관수 없이 자연 강우에 의존하였다.

관비 처리는 감자 표준시비량(N-P₂O₅-K₂O: 10-8.8-13 kg/10a)을 기준으로 하여 기비(N-P₂O₅-K₂O: 5-4.4-6.5 kg/10a)로 표준시비량의 반을 주고 나머지 반은 추비로 관비처리 하였다. 추비로 복합 비료 3처리, 기비의 0.5배(NPK 0.5, N-P₂O₅-K₂O: 2.5-2.2-3.25 kg/10a), 0.8배(NPK 0.8, N-P₂O₅-K₂O: 4-3.5-5 kg/10a), 1.2배(NPK 1.2, N-P₂O₅-K₂O: 6-5.3-7.8 kg/10a)와 K 단용 시비구 3처리, K 2 (2 kg/10a), K 5 (5 kg/10a), K 7 (7 kg/10a)를 괴경 형성기 및 비대기에 반씩 나누어 관주하였다. 기비로 사용된 복합 비료는 감자 전용비료(N-P₂O₅-K₂O: 10-8-9, Chobi, Seoul, Korea)를 질소 중심으로 시비하고 인산과 칼리의 부족분은 용성인비와 황산가리를 이용하여 추가 시비하였다. 추비로 관주한 비료는 모두 수용성 비료로 유안, 제1 인산가리(N-P₂O₅-K₂O: 0-52-34, Ecotech, Busan, Korea), 염화가리(N-P₂O₅-K₂O: 0-0-61, Ecotech, Busan, Korea)를 시비량에 맞추어 혼합하여 시비하였고, K 단용 처리구는 염화가리를 사용하여 시비하였다. 무비구는 기비만 시비하고 관비처리는 하지 않았으며, 관비처리구는 관비 시 각각의 비료는 400배로 농축하여 액비 혼합기(Mixrite 2.5 m²/h, Tefen, Kibbutz Nahsholim, Israel)를 통하여 관주 되었으며, 각 주당 660 ml씩 관비 되도록 관주하였다.

생육 조사

생육조사는 2021년 5월 7일, 5월 24일 및 6월 14일에 실시하였으며 농촌진흥청 연구조사 분석기준을 참조하여 초장, 경장, 경경, 엽장과 엽폭(주경 중간부분 가장 성숙한 잎), 정단 소엽(엽장, 엽폭), 엽수, 지상부생체중 및 측지수를 조사하였다. 또한 수량 조사를 위해 지하부 생체중, 괴경수, 상서울, 상서수량을 조사하였다. 관수, 관비처리의 경우 생육 비교를 위하여 각 처리 별 상대 생장률은 처리(관수 또는 시비) 전후 대비와 대조구 대비 상대 생장률 등 2가지로 분석하였다.

- (1) 처리(관수 또는 시비) 전후 대비 상대생장률
= (처리 후 - 처리 전 / 처리 후) × 100

- (2) 대조구 대비 상대생장률
= (처리구 - 대조구 / 처리구) × 100

토양 수분 및 전기전도도(Specific electrical conductance, EC) 조사

토양 수분함량은 지하 20cm 부근에 수분 센서(WT 1000 N, Mirae sensor, Seoul, Korea)를 매설하여 토양 유효수분을 5월 9-15일 및 5월 25-31일에 각각 7일 동안 측정 및 제어하였고, 데이터 로거(WP700, Mirae sensor, Seoul, Korea)를 이용하여 수집하였다. 관비 처리 시 관비처리의 정확한 데이터 확보를 위해 지하 20 cm 부근에 센서(Watch dog SMEC 300, Spectrum technologies Inc., Chicago, USA)를 매설하고 토양 수분함량 및 전기전도도(EC)를 데이터로거(Watch dog 2400, Spectrum technologies Inc., Chicago, USA)를 이용하여 수집하였다.

통계처리

본 연구의 모든 처리는 3회 반복 실시하였으며 실험데이터는 SPSS (SPSS version 21, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 일원 배치 분산분석(one way ANOVA)을 실시한 후, Duncan's Multiple Range Test (DNRT)을 통해 5% 수준에서 통계학적 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

관수 처리에 따른 감자의 생육 및 수량

최적 관수량 설정을 위해 괴경 형성기와 괴경 비대기의 토양수분을 각각 -10 kPa, -20 kPa, -30 kPa, -40 kPa 및 무관수구로 처리한 결과 토양 수분변화는 -10 kPa (22.1%) 처리구가 가장 높았고 그 뒤로 -20 kPa (19.3%), -30 kPa (17.7%), -40 kPa (16.5%) 순으로 나타나 토양수분 처리가 확실히 이루어졌음을 확인 할 수 있었다(Fig. 1).

토양 수분 함량별 처리 후 감자 지상부의 생육 특성을 조사한 결과 초장, 경장, 경경, 엽장, 엽폭 및 측지의 생육은 -10 kPa에서 가장 우수 하였다(Table 3). 반면에 정단 소엽 및 엽수는 모든 관수 처리가 처리구간에 차이가 없었으나 무관수구에 비해서는 생육이 좋았다. 관수(토양 수분 함량별) 처리 후 생육 평가는 관수 처리 전후 대비 상대 생장률과 무관수구 대비 상대 생장률 2가지로 평가하였다. 관수 처리 전후 대비 상대 생장률의 경우 초장은 -10 kPa 처리구에서 가장 많이 증가하였고, 경경, 엽장, 엽폭 및 정단 소엽의 경우 -20 kPa 처리구에서 가장 많이 증가하였다(Fig. 2B). 무관수구(자연 강우 의존) 대비 감자 지상부 상대 생

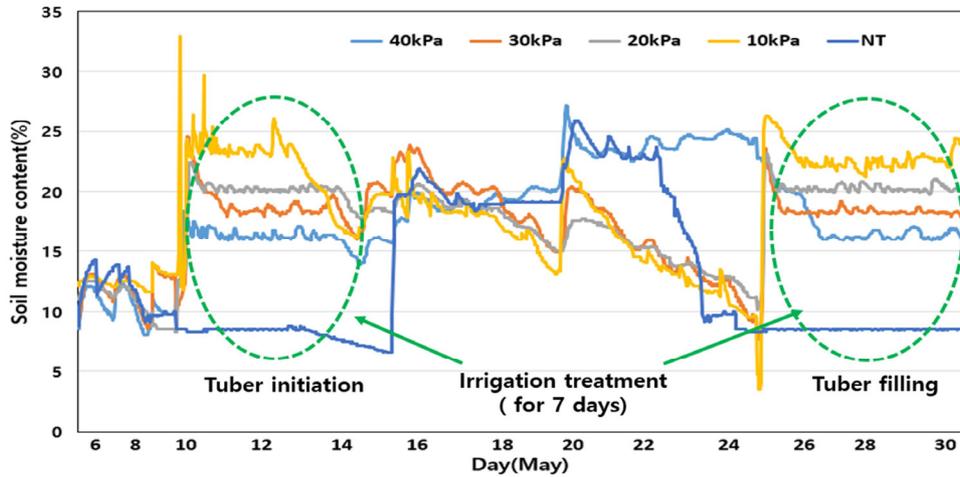


Fig. 1. Changes in soil moisture content by different soil moisture treatments [-10, -20, -30, -40 kPa, and NT (non-treatment)] during tuber initiation and filling stage in spring potato cultivation. Treatment of the soil moisture content was conducted for seven days at the tuber initiation and filling stages, respectively.

Table 3. Growth characteristics of the top fresh part after each irrigation treatment during spring potato cultivation.

Treatment	Plant height (cm)	Stem length (cm)	Stalk diameter (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaflet		Leaf number (ea)	Lateral bud number (ea)
						Length (cm)	Width (cm)		
No irrigation	21.4c ²	9.2c	7.5c	14.8b	9.5c	6.5b	5.2b	9.6b	2.4b
-10 kPa (22.1%) ¹	44.3a	17.9a	12.2a	28.0a	17.3a	9.5a	7.5a	15.1a	4.1a
-20 kPa (19.3%)	39.6b	14.6b	11.7b	27.8a	16.9a	10.2a	7.8a	14.5a	3.8a
-30 kPa (17.7%)	38.2b	14.2b	10.7b	25.8a	15.4a	8.9a	7.5a	15.3a	3.2a
-40 kPa (16.5%)	37.6b	14.0b	11.3b	25.7a	13.9b	8.5a	6.8a	14.8a	2.9ab

¹Percentages in brackets indicate volumetric water content.

²Different letters denote significant differences within column at $p < 0.05$.

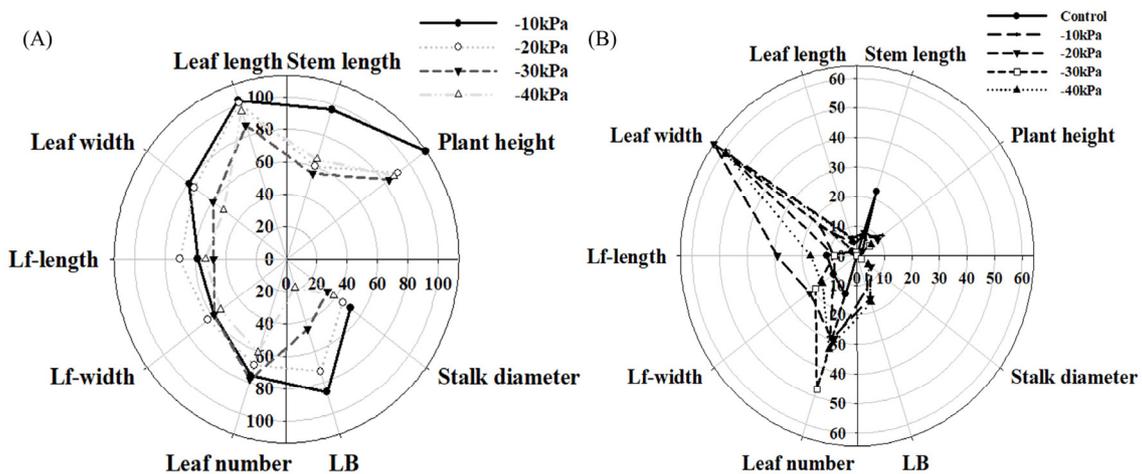


Fig. 2. Two comparisons of the relative growth rate compared to the growth degree of the above-ground parts (A, B) after each irrigation treatment in spring potato cultivation. (A), relative growth rate compared to the control according to irrigation treatment; (B), relative growth rate compared to before and after irrigation treatment. Lf, leaflet; LB, lateral bud number.

Table 4. Characteristics of yield by soil moisture content treatment in spring potato.

Treatment	T/R ratio	Top fresh weight (g/plant)	Root fresh weight (g/plant)	Total tuber number (ea/plant)	Total tuber yield (kg/10a)	Marketable tuber yield (kg/10a)	Marketable tuber ratio (%)
No irrigation	0.23a ²	136.6d	583.9b	9.2a	3,235.5b	2,584.0d	79.8b
-10 kPa (22.1%) ¹	0.21a	303.5a	927.5a	8.2a	5,165.5a	4,584.5a	88.9a
-20 kPa (19.3%)	0.24a	204.0b	837.5ab	8.5a	4,682.0ab	4,216.5bc	90.1a
-30 kPa (17.7%)	0.25a	173.5bc	708.1ab	8.2a	3,878.5ab	3,132.5cd	80.7b
-40 kPa (16.5%)	0.22a	152.4d	705.7ab	7.2a	3,963.5ab	3,366.5cd	85.0ab

¹Percentages in brackets indicate volumetric water content.

²Different letters denote significant differences within column at $p < 0.05$.

장률의 경우 초장은 -10 kPa 관수 처리구가 113.2%로 가장 많이 증가하였고 경장, 엽장 및 엽폭, 측지수 및 경경에서도 -10 kPa에서 가장 많이 증가하였다. 정단 소엽의 엽장 및 엽폭은 -20 kPa 관수 처리구에서 각각 70.0% 및 64.2%로 가장 많이 증가하였고, 엽수는 -30 kPa 관수 처리구가 77.9%로 가장 좋았다. 전체적으로 토양 수분 함량별 감자 생육은 -10 kPa에서 가장 우수하였고 그 다음이 -20 kPa에서 우수한 경향이였다(Fig. 2A). 일반적으로 감자재배 시 괴경 형성기와 비대기 관수처리가 지상부 생육을 촉진시킨다고 보고되고 있고(Liu *et al.*, 2015), 이것은 관수 처리가 유기물 분해 및 비료의 흡수를 촉진시켜 지상부 생육이 증진된 것으로 보인다(Arroita *et al.*, 2013; Jama-Rodzenska *et al.*, 2021).

토양 수분함량 처리별 지상부 및 지하부 생체중은 -10 kPa에서 가장 좋았고, 그 다음이 -20 kPa, -30 kPa, -40 kPa, Control (무관수구) 순이었다(Table 4). 지상부와 지하부의 비율을 나타내는 T/R율과 괴경 수는 처리 간 차이가 없었다. 전체적으로 감자 수량은 무관수구에 비해 관수 처리구에서 수량이 높았으나 관수 처리 간에는 통계적 유의성 차이는 인정되지 않았다. 하지만 -10 kPa, -20 kPa에서 다른 처리보다 수량이 높은 경향을 나타내었고 특히 상서수량은 -10 kPa에서 가장 높았다.

Obidiegwu *et al.* (2015)은 감자의 괴경 형성기와 비대기의 수분결핍은 지상부의 생육 저하, 괴경의 크기 감소, 이상 괴경의 생성 등에 영향을 미친다고 하였다. 뿐만 아니라 Irena & Mauromicale (2018)은 감자 재배 시 관수량이 많아짐에 따라 지상부 및 지하부의 건물중이 증가한다고 하였고, Lee *et al.* (2016)은 감자의 상서수량은 강수량이 가장 큰 영향을 미친다고 하였다. 그리고 Phlich *et al.* (2020)은 감자의 수분스트레스는 광합성을 저해하여 수량감소의 원인이 된다고 하였다. 따라서 Matteau *et al.* (2021)은 감자의 최적 수

분함량은 토양이나 환경조건에 따라 다소 차이가 있으나 평균적으로 -15 kPa 정도라고 하였다. 본 실험에서도 사양토 토양에서 감자 토양 수분 함량별 감자 수량은 -10 kPa에서 지상부 및 지하부 생체중, 전체 수량, 상서 수량 등이 전체적으로 가장 우수하였고, 무관수구(자연강우 의존)대비 수량을 47%가량 증수 시킬 수 있었다.

관비 처리에 따른 감자 생육 및 수량반응 비교

관비 처리는 복합 비료 3수준(NPK 0.5배, NPK 0.8배, NPK 1.2배)과 칼리 단용 3수준(K 2, K 5, K 7)을 괴경 형성기와 비대기에 나누어 관수 처리를 하고 각각의 처리는 처리 후 전기전도도(Electric conductivity, EC)변화를 통해 관수를 확인하였다(Fig. 3). 그 결과 비료의 농도가 높은 NPK 1.2 처리구가 EC 변동 폭이 가장 높았으며, 그 다음으로 NPK 0.8, NPK 0.5, K 7, K 5 및 K 2 순으로 나타났다. 괴경 형성기와 비대기에서 두 시기 모두 유사한 변동 폭을 확인할 수 있었고, 이를 통하여 작물의 근권에 시비가 되었음을 확인할 수 있었다.

관비 처리에 따른 지상부의 상대 생장율을 보면 무처리 대비 감자 지상부 상대 생장률은 초장의 경우 K 7 처리구가 가장 높았고, 경장의 경우 NPK 1.2 처리구, 엽수는 NPK 0.8 처리구, 그 외 경경, 엽장, 엽폭, 정단 소엽의 엽장 및 엽폭은 K 5 처리구에서 가장 많이 증가하여 K 5 처리구가 가장 우수함을 확인할 수 있었다(Fig. 4. A, B). 관비 처리 전후 대비 상대 생장률은 초장과 정단 소엽(엽장 및 엽폭)의 경우 K 5 처리구가 가장 많이 성장하였고, 경장, 엽장 및 엽수는 NPK 0.8 처리구가 가장 많이 증가하였다. 전체적으로 NPK 0.8 처리구와 K 5 단용 처리에서 상대 생장률이 높게 나타났다(Fig. 4. B, D).

감자 관비 처리구의 생육후기(수확 2주 전) 지상부 생육을 조사한 결과 초장은 가장 낮은 무비구와 NPK 0.5 처리

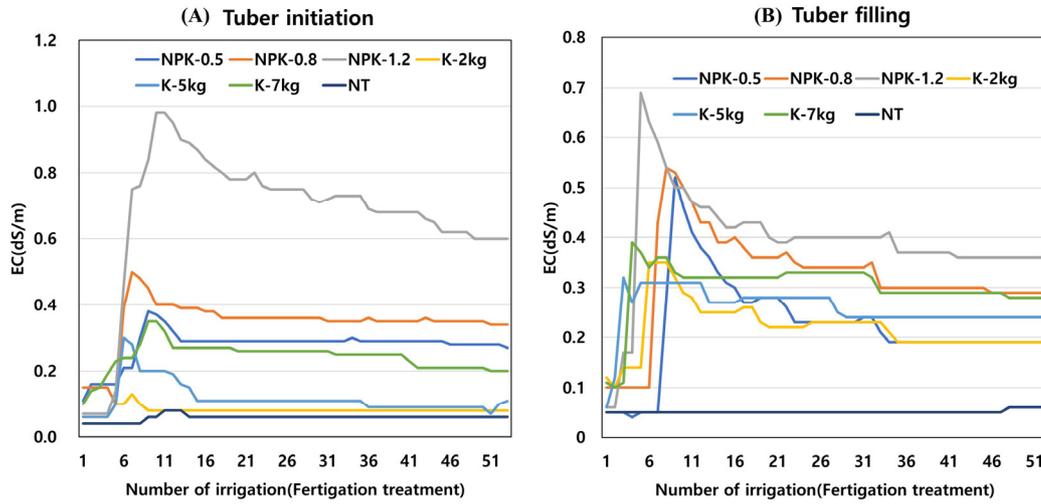


Fig. 3. Variation in the specific electrical conductance (EC) by fertigation treatment at the (A) tuber initiation and (B) the tuber filling stages of potato. Compound fertilizer (NPK) and potassium fertilizer (K) were fertigated through a surface drip system to a 400-fold concentration with a total amount of 4 t/10a (660 ml/plant).

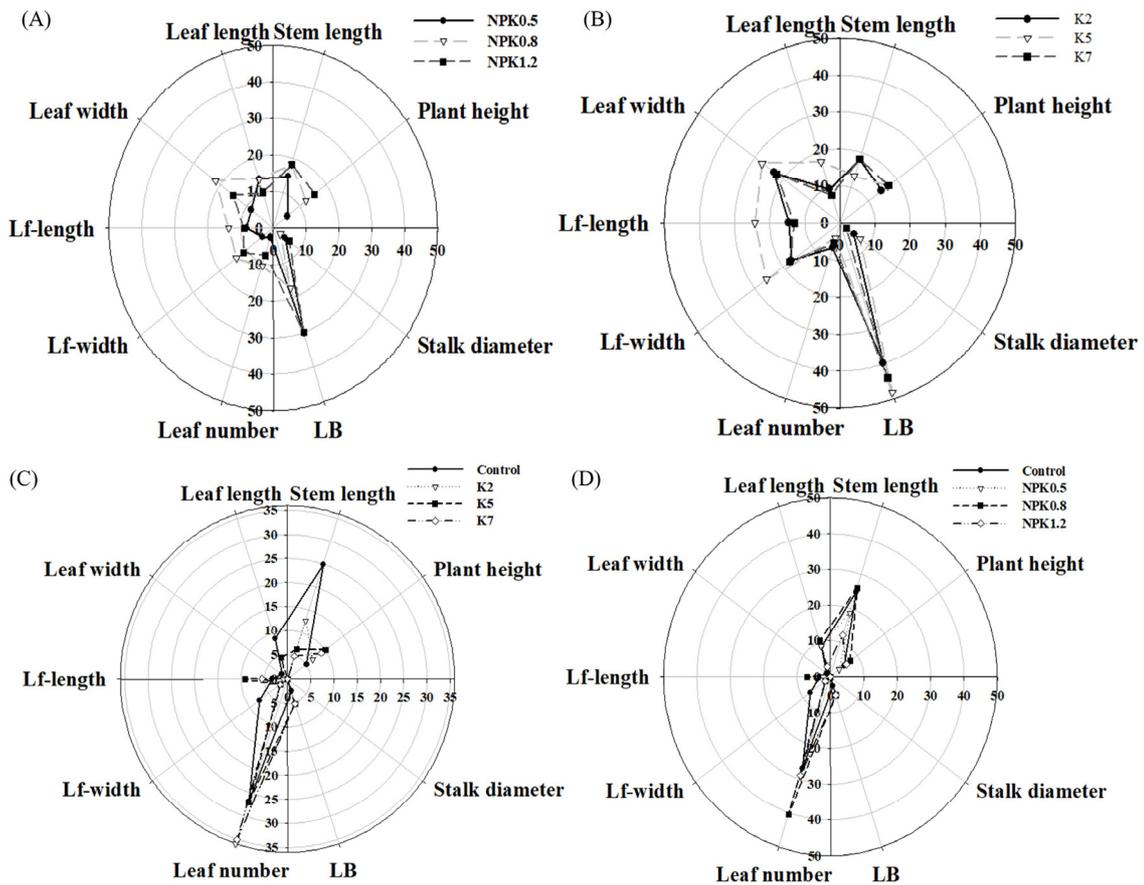


Fig. 4. Relative growth rate of the top fresh part after fertigation treatments using a surface drip system in spring potato cultivation. (A), relative growth rate compared to the control according to fertigation treatment with compound fertilizer (NPK); (B), relative growth rate compared to the control according to fertigation treatment with potassium fertilizer (K); (C), relative growth rate compared to before and after fertigation treatments with compound fertilizer (NPK); (D), relative growth rate compared to before and after fertigation treatments with potassium fertilizer (K). Lf, leaflet; LB, lateral bud number.

Table 5. Growth characteristics of the top fresh part after each fertigation treatment in spring potato.

Treatment ¹	Plant height (cm)	Stem length (cm)	Stalk diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaflet		Leaf Number (ea)	Lateral bud number (ea)
						Length (cm)	width (cm)		
Control	36.6b ²	16.1a	12.5a	25.6b	12.2c	8.3b	6.8c	13.9b	2.4b
NPK 0.5	38.6b	17.5a	11.8ab	29.1a	13.0bc	8.9b	7.0bc	14.3ab	3.1ab
NPK 0.8	41.2a	18.2a	11.9ab	29.0a	14.8ab	9.5ab	7.7ab	15.4a	2.8ab
NPK 1.2	42.3a	18.6a	12.0a	28.0ab	14.0ac	8.9b	7.5b	15.0ab	4.8a
K 2	41.9a	18.7a	11.7ab	27.5ab	15.4a	10.1a	8.2a	14.9ab	3.1ab
K 5	42.1a	16.9a	11.1b	28.7a	15.0a	9.9a	8.1a	14.0b	3.8ab
K 7	42.9a	17.7a	11.5b	27.4ab	14.9a	9.4ab	8.0a	14.7ab	3.8ab

¹Control (non-fertigation); NPK0.5, (N-P₂O₅-K₂O: 2.5-2.2-3.25 kg/10a); NPK0.8, (N-P₂O₅-K₂O: 4-3.5-5 kg/10a); NPK1.2, (N-P₂O₅-K₂O: 6-5.3-7.8 kg/10a); K2, (0-0-2 kg/10a); K5, (0-0-5 kg/10a); K7, (0-0-7 kg/10a).

²Different letters denote significant differences within column at $p < 0.05$.

Table 6. Characteristics of yield by fertigation treatment using a surface drip system in spring potato.

Treatment ¹	T/R ratio	Top fresh weight (g/plant)	Root Fresh weight (g/plant)	Total tuber number (ea/plant)	Total tuber weight (kg/10a)	Marketable tuber weight (kg/10a)	Marketable tuber ratio (%)
Control	0.23c ²	136.6d	583.9c	9.2a	3,235b	2,584b	79.8a
NPK 0.5	0.29bc	195.1c	676.3bc	8.5a	3,793bc	3,162b	83.2a
NPK 0.8	0.33ab	193.4c	582.5c	8.0a	3,228b	2,572b	79.5a
NPK 1.2	0.34ab	219.7b	660.3bc	8.8a	3,668bc	3,149b	85.7a
K 2	0.35a	234.8b	664.5bc	8.3a	3,712bc	3,100b	83.5a
K 5	0.33ab	264.9a	797.5a	8.0a	4,414a	3,870a	87.8a
K 7	0.31ab	215.8bc	705.7ab	9.4a	3,904ab	3,224ab	82.1a

¹Control (non-fertigation); NPK0.5, (N-P₂O₅-K₂O: 2.5-2.2-3.25 kg/10a); NPK0.8, (N-P₂O₅-K₂O: 4-3.5-5 kg/10a); NPK1.2, (N-P₂O₅-K₂O: 6-5.3-7.8 kg/10a); K2, (0-0-2 kg/10a); K5, (0-0-5 kg/10a); K7, (0-0-7 kg/10a).

²Different letters denote significant differences within column at $p < 0.05$.

구를 제외하고는 차이가 없었고, 경장은 모든 처리에서 차이가 없었다(Table 5). 그리고 경장은 무비구가 가장 높았고 NPK 처리와 K 단용처리에서 오히려 낮은 경향이었으나 큰 차이는 없었다. 이것은 관비처리 중 질소질 비료로 인해 줄기의 비대보다는 줄기신장을 촉진시켰기 때문인 것으로 보인다(Arafa *et al.*, 2011). 반면에 잎은 모든 관비 처리구가 무비구에 비해 생육이 좋은 경향이였다. 엽수와 측지수도 관비 처리구가 무비구에 비해 다소 많은 경향이고, 관비 처리구 간에는 통계적 유의성 차이는 있지만 큰 차이를 나타내지는 않았다. 이것은 관비의 시기가 감자의 괴경형성기와 괴경 비대기로 영양분이 지상부 보다는 지하부의 괴경 비대에 사용되었기 때문인 것으로 보인다(Karam *et al.*, 2011; Feng *et al.*, 2017).

관비처리에 따른 T/R율은 모든 관비처리가 무비구에 비

해 높았고, 관비 처리 간에는 NPK 0.5처리를 제외하고는 처리 간 차이가 없었다(Table 6). 그리고 지상부 생체중은 K 5 단용 처리에서 가장 우수하였고, 그 다음으로 K 2, K 7, NPK 1.2, NPK 0.5, NPK 0.8, Control (무비구) 순이였다. 지하부 생체중도 K 5 단용처리가 가장 우수하였고, 주당 괴경 수는 처리 간 통계적 차이가 없었다. 전체 수량은 K 5 와 K 7처리에서 각각 4,414 kg, 3,904 kg으로 가장 우수하였고, 상서 수량 또한 K 5 와 K 7처리에서 가장 우수하였다. 그 외 K 2, NPK 0.5, NPK 1.2, NPK 0.8, Control 은 처리간 통계적 차이는 없었으나 무비구에 비해 모든 관비 처리에서 수량이 높은 경향이였다. Job *et al.* (2019)은 칼리 단용시비를 통하여 대조구 대비 104% 증수를 보고하였고, Lee *et al.* (2002)은 칼리 및 인산시비는 감자 수량을 5~22%가량 증수시킨다고 하였다. 본 연구에서도 칼리 단

용처리(K 5)에서 생육 및 수량이 가장 우수하여 이 전 연구 결과와 유사한 결과를 나타내었다. 일반적으로 칼리 시비는 당함량, 비타민 함량 등의 품질요소를 증대시키기도 하지만 감자의 양분 전류를 촉진하고 광합성 효율을 증대시키는 역할하기 때문에 수량이 증대되는 것으로 사료된다(Lim *et al.*, 2020; Bhattarai & Swarnima, 2016).

그리고 NPK 복합비료 처리가 K단용 관비 처리 보다 수량이 낮은 것은 괴경 비대기에 질소를 시비할 경우 지상부 영양생장을 촉진시켜 수량을 오히려 감소시키는 것으로 보인다(Naumann *et al.*, 2020; Love *et al.*, 2005).

결과적으로 칼리 단용 관비처리(K 5 kg/10a)는 기존의 표준 시비량보다 질소 50%, 인산 50%, 칼리 11%를 절감할 수 있고 수량도 무비구 대비 27% 가량 증대시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 봄감자 재배 시 괴경형성기와 괴경 비대기에 각각 일주일 정도 -10 kPa로 관수하거나 K 5 kg (2.5 kg씩 나누어 관수)을 관비할 경우 비료 절감효과 뿐만 아니라 수량도 증대시킬 수 있을 것이다.

그러나 봄 감자 재배시 괴경 형성기와 괴경 비대기에 -10 kPa 처리와 K 5 kg을 혼용처리를 하였을 때 가장 효과적이라 예단하기 어렵다. 이것은 일부 문헌(Clinton *et al.*, 2007; RDA, 2018)에서는 감자는 개화기 이전에도 자주 관수하는 것이 수량에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그러므로 봄 감자 재배 시 수분 공급 스케줄링에 관한 추가적인 연구가 필요하며 더불어 이러한 수분 공급스케줄링 기반 하에 관비 처리를 함께하는 연구가 단계적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

적 요

본 연구는 봄 감자 재배 시 괴경 형성기와 괴경 비대기에 최적 수분함량을 구명하고 관비 재배 시 적합한 추비 기준을 마련하고자 수행 하였다.

1. 감자의 최적 수분함량을 구명하기 위한 괴경 형성기와 괴경 비대기에 관수처리 결과 관수처리 전후 지상부의 생육을 비교한 상대생장률과 대조구(무관수, 자연강우 의존) 대비 상대 생장률 모두에서 -10 kPa 및 -20 kPa 처리구에서 우수한 경향을 보였다.
2. 관수처리에 따른 지하부 생체중은 -10 kPa과 -20 kPa 처리구에서 다른 처리보다 뛰어났으며, 수확량 및 상서수량은 -10 kPa 처리구가 무관수구에 대비 약 47%가량 증수되었다.
3. 감자의 최적 관비량 설정을 위해 괴경 형성기와 괴경 비대기에 관비를 실시한 결과 관비 처리 전후 지상부의 생

육을 비교한 상대생장률은 K 5 및 NPK 0.8배 관비구에서 생육이 가장 우수하였고, 대조구(무관비구, 기비만 시용) 대비 감자 지상부 상대 생장률은 K 5, K 7, NPK 1.2배 관비구에서 가장 우수하였다.

4. 관비 처리에 따른 감자 지하부 생체중 및 수량, 상서수량을 비롯한 다수의 조사항목에서 K 5 처리구가 가장 우수하였고, 수량도 K 5 처리구가 대조구 대비 약 27%가량 증수되었다.

사 사

이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호:PJ015754 022022)의 지원을 받았으며, 이에 감사합니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Arroita, M., J. Causapé, F. A. Comín, J. Díez, J. J. Jimenez, J. Lacarta, C. Lorente, D. Merchán, S. Muñoz, E. Navarro, J. Val, and A. Elosegí. 2013. Irrigation agriculture affects organic matter decomposition in semi-arid terrestrial and aquatic ecosystems. *J. Hazard. Mater.* 263(1) : 139-145
- Arafa, A. A., S. Farouk, and H. S. Mohamed. 2011. Effect of potassium fertilizerm biostimulants and effective micro-organisms as well as their interacrion on potato growth, photosynthetic pigments and stem anatomy. *J. of plant production.* 2(8) : 1017-1035.
- Bhattarai, B. and K. C. Swarnima. 2016. effect of potassium on quality and yield of potato tubers-a review. *SSRG - IJAES.* 6(3) : 7-12.
- Choi, G. L., K. H. Yeo, H. C. Rhee, S. C. Lee, N. J. Kang, and H. G. Choi. 2017. Establishment of optimum nitrogen and potassium application for paprika fertigation. *KSBEC.* 26(2) : 1-6.
- Clinton, C. S., B. P. Andre, P. E. Eric. 2007. Irrigation best mangement practices for potato. *Amer J of Potato Res.* 84 : 29-37.
- Dhillon, J. S., E. M. Eickhoff, R. W. Mullen, and W. R. Raun. 2019. World potassium use efficiency in cereal crops. *J. Agron.* 111(2) : 889-896.
- Eissa, M. A. 2018. Efficiency of P fertigation for drip-irrigated potato grown on calcareous sandy soils. *Potato res.* 62 : 97-108.
- Feng, Z., S. Wan, Y. Kang, and S. Liu. 2017. Drip fertigation regime for potato on sandy soil. *Emir. J. Food Agric.* 29(6) : 476-484.
- Food and agriculture organization FAOSTAT <https://www.fao.org/faostat>.
- Ha, S. G., Y. K. Sonn, K. H. Jung, Y. J. Lee, M. J. Cho, H. J. Yun, and J. K. Sung. 2015. Estimation of growth stage-based nit-

- rogen supply levels for greenhouse semi-forcing zucchini cultivation. *KJOAS*. 42(4) : 319-324.
- Ierna, A. and G. Mauromocale. 2018. Potato growth, yield and water productivity response to different irrigation and fertilization regimes. *Agric. Water Manag.* 201 : 21-26.
- Jama-Rodzenska, A., G. Janik, A. Walczak, K. A. Sowinska, and J. Sowinski. 2021. Tuber yield and water efficiency of early potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) cultivated under various irrigation levels. *Sci. Rep.* 11 : 19121.
- Joe, J. H., H. B. Son, D. C. Jang, J. S. Lim, and H. J. Kim. 2011. RDA Interrobang 29. RDA. pp. 9-15.
- Jensen, M. E., R. D. Burman, and R. G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE manuals and reports on engineering practice no. 70. A.S.C.E. New York, NY. p.360.
- Jeong, H. K., J. H., Sung, and H. J. Lee. 2020. Analysis of social demand for countermeasures in response to extreme weather events in Korean agricultural sector. *J. of Climate Change Res.* 11 : 235-246.
- Job, A. L. G., R. P. Soratto, A. M. Fernandes, N. S. Assunção, F. M. Fernandes, and R. Tagi. 2019. Potassium fertilization for fresh market potato production in tropical soils. *Agronomy*. 11(6) : 3351-3362.
- John, E. B. and R. Gavin. 2009. Advances in potato chemistry and technology(chapter 1). Academic press. Palmerston north. New Zealand. p.1-27.
- Jung, K. S., K. H. Jung, W. K. Park, Y.S. Song, and K.H. Kim. 2010. Establishment of the optimum nitrogen application rate for oriental melon at various growth stages with a fertigation system in a plastic film house. *K.J.S.S.F.* 43(3) : 349-355.
- Karam, F., R. Massaad, S. Skaf, J. Breidy, and Roupheal, Y. 2011. Potato response to potassium application rate and timing under semi-arid conditions. *Adv. Hort. Sci.*, 2011 25(4) : 265-268.
- King, B. A., Stark, J. C., and Neibling, H. 2020. Potato production system Stark, J.C.,(Eds.), Chapter 13 Potato irrigation management. pp. 417-446. Switzerland AG: Springer Nature.
- Kim, S. H., H. B. Sohn, S. Y. Hong, J. H. Nam, D. C. Chang, J. T. Suh, and Y. H. Kim. 2017. Determination of greening and shelf life of potato based on washing and storage temperature condition. *Korean J. Crop Sci.* 62(1) : 66-72.
- Kim, M. J., H. Y. Kang, T. S. Oh, and J. S. Park. 2017. Drought status and outlook for 2017. *J.Korea Water Resour. Assoc.* 50 : 56-61.
- Kolbe, H. and S. Stephan-Beckmann. 1997. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). II. Tuber and whole plant. *Potato Res.* 40 : 135-153.
- Lee, A. S., S. J. Choi, S. J. Jeon, J. H. Maeng, J. H. Kim, and I. J. Kim. 2016. Estimating the yield of marketable potato of mulch culture using climatic elements. *J.C.S.B.* 61(1) : 70-77.
- Lee, C. S., G. J. Lee, K. Y. Shin, J. H. Ahn, J. T. Lee, and B. K. Hur. (2002) Effect of application added phosphorus and potassium for potato and Chinese cabbage in mounded highland soil. *K.J.S.S.F.* 35(6) : 372-380.
- Lim, J. S., B. H. Lee, S. H. Kang, and T. G. Lee. 2020. Influence of fertilization treatment using organic amendment based on soil testing on plant growth and nutrient use efficiency in potato. *J.C.S.B.* 65(4) : 436-446.
- Liu, C., G. H. Rubaek, F. Liu, and M. N. Andersen. 2015. Effect of partial root zone drying and deficit irrigation on nitrogen and phosphorus uptake in potato. *Agric. Water Manag.* 15 : 66-76.
- Love, S. L., J. C. Stark, and T. Salaiz. 2005. Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer. *Amer J of Potato Res.* 82 : 21-30.
- Markakis, P. 1975. The nutritive value of potato protein. In: *Protein Nutritional Quality Foods Feeds*, II, Friedman, M., Ed., Dekker, New York. U.S.A. p.471-487.
- Matteau, J. P., P. Célécourt, G. Létourneau, T. Gumiere, and S. J. Gumirer. 2021. Potato varieties response to soil matrix potential based irrigation. *agronomy*. 11(2) : 352-362.
- McCay, C. M., J. B. McCay, and O. Smith. 1987. The nutritive value of potatoes. In: *Potato Processing* Talburt, W. F. and Smith, O., Eds., AVI, Connecticut. U.S.A. p.287-331.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. <https://www.mafra.go.kr/sites/mafra/index.do>
- Nam, S. S., I. H. Choi, S. K. Bae, and J. K. Bang. 2007. Effect of irrigation level on plant growth and bulb yield during bulb development stage of garlic plants. *H.S.T.* 25(3) : 169-173.
- Naumann, M., M. Koch, H. Thiel, A. Gransee, and E. Pawelzik. 2020. The importance of nutrient management for potato production part II: Plant nutrition and tuber quality. *Potato Res.* 63 : 121-137.
- Obidiegwu, J. E., G.J. Bryan, H. G. Jones, and A. Prashar. 2015. Coping with drought: Stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Front. Plant Sci.* 6 : 542-565.
- Plich, J., M. D. Boguszewska, and W. Marczewski. 2020. Relations between photosynthetic parameters and drought-induced tuber yield decrease in katahdin-derived potato cultivars. *Potato Res.* 63 : 463-477.
- Pinheiro, C. and M. Chaves. 2010. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data. *J. Exp. Bot.* 62 : 869-882.
- Raymundo, R., S. Asseng, R. Robertson, A. Petsakos, G. Hoogenboom, R. Quiroz, G. Hareau, and J. Wolf. 2018. Climate change impact on global potato production. *Eur J Agron.* 100 : 87-98.
- Reyes-Cabrera, J., L. Zotarelli, D. L. Rowland, M. D. Dukes, and S. A. Sargent. 2014. Drip as alternative irrigation method for potato in Florida sandy soils. *Am. J. Potato Res.* 91 : 504-516.
- Roberts, T. L. and A. E. Johnston. 2015. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. *Resources, Conservation and Recycl.* 105 : 275-281
- Rural Development Administration (RAD). 2018. Guide of agricultural technology(potato). RDA. Jeonju. Korea. pp.154.

- Song, Y. S., H. J. Jun, W. K. Park, B. G. Jung, K. S. Jung, K. S. Lee, and Y. S. Yoon. 2008. Determination of optimal application rates of phosphorus and potassium fertilizers for paddy rice. *K.J.S.S.F.* 41(2) : 75-82.
- Shock, C. C., C. Cliton, A. B. Prerira, and E. P. Eldredge. 2007. Irrigation best management practices for potato. *A.J.P.R.* 84 : 29-37.
- Slavador, R. M. and D. M. Bañoc 2020. Yield response of sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam) to soil solarization and nutrient management under micro-fertigation technique. *SVU-IJAS.* 2(2) : 45-59.
- Raun, W. R. and G. V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *J. Agron.* 91(4) : 357-363.