한국농림기상학회지, 제26권 제2호(2024) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 26, No. 2, (2024), pp. 103~113
DOI: 10.5532/KJAFM.2024.26.2.103
ⓒ Author(s) 2024. CC Attribution 3.0 License.

남부지역 논에서 수확시기별 봄감자의 생육 특성 및 괴경 상품성의 변화

오서영*, 김성훈, 최지수
국립식량과학원 남부작물부 논이용작물과
(2024년 03월 06일 접수; 2024년 03월 17일 수정; 2024년 05월 13일 수락)

Change in Growth and Tuber Quality as Influenced by Harvesting Time of Spring Potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Southern Paddy Field

Seo Young Oh*, Sung Hoon Kim, Jisu Choi
Paddy Crop Research Division, Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Miryang 50424, Korea
(Received March 06, 2024; Revised March 17, 2024; Accepted May 13, 2024)

ABSTRACT

The effect of harvesting time on the growth, marketable tuber yield, and tuber quality of spring potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Dami) were analyzed in the southern paddy fields in order to determine the optimal harvesting time. At 30-50 days after flowering, the total and marketable tuber yields of spring potato reached their maxima and commercial tuber rate was also high. External defects such as tuber malformation or crack did not occur until 40 days after flowering, but after that, secondary growth such as shooting appeared. Among the nutrient compositions of tubers, carbohydrate content accounted for more than 60% of tuber dry weight without significant difference among harvesting times until 50 days after flowering. The crude protein content decreased slightly as the harvesting time was delayed. However, the mineral nutrient content of tubers decreased with delaying harvesting time and was lowest at 30-40 days after flowering. Therefore, the optimal harvesting time of spring potato was judged to be 30-40 days after flowering, when marketable tuber size and quality were great as less affected by high temperature or waterlogging under natural environmental conditions.

***Key words*: Marketable tuber yield, Optimal harvesting time, Potato tuber, Rice paddy field, Tuber quality**

* Corresponding Author : Seo Young Oh
(osoonja@korea.kr)

I. 서 론

우리나라에서 감자(*Solanum tuberosum* L.)의 재배는 봄재배, 여름재배, 가을재배, 겨울시설재배 등으로 구분되며 재배지역의 기상이나 해발고도에 따라서 작형이 달라진다. 국내 재배면적은 봄감자가 65.3%로 가장 많고, 여름감자(17.0%), 겨울시설재배(9.7%), 가을감자(8.0%) 순으로 재배되고 있다(KOSIS. 2023). 최근 쌀 생산을 조정하는 일환으로 정부는 논에 벼 대체 작물의 재배를 권장하고 있고, 농가에서는 벼(*Oryza sativa* L.) 대신에 소득이 높은 봄감자를 재배하고 있어 그 면적은 지속적으로 증가할 것으로 보인다. 더군다나 감자는 단위 면적당 생산량이 많을 뿐만 아니라 토양에 대한 적응성이 높아서 우리나라 전역에 재배가 가능하고, 생육기간이 짧아 다양한 작부체계에 적용될 수 있다(RDA, 2003; RDA, 2014). 특히, 봄감자 재배는 수확 후에 벼를 재배하여 논 상태를 유지하거나 또는 콩(*Glycine max* (L.) Merr.), 녹두(*Vigna radiata* (L.) Wilczek), 참깨(*Sesamum indicum* L.) 등의 소득성 작물들과 연계하여 윤작할 수 있어서 농경지 이용효율성을 높일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 감자는 토양 수분 함량의 변화에 민감한데, 봄감자 재배 시 4~5월의 가뭄과 6~7월의 우기에 의해 생산성과 품질이 저하될 수 있다. 하지만, 논 재배 시 저수지, 양수장 등 수리시설에서 농업용수를 공급받을 수 있어 생육 초기와 괴경 비대기에 건조 피해를 예방할 수 있고, 배수로를 정비하고 이랑을 높게 하여 재배하면 우기 시 피해도 최소화할 수 있을 것이다.

한편, 감자는 지상부가 노랗게 변하면서 고사하면 수확하는데 대부분 농가에서는 경험에 의존하여 수확이 이루어지고 있고, 일부 농가에서는 봄감자 수확이 6월 말에서 7월 상순까지 지연되기도 한다. 수확시기가 너무 이르면 미숙한 상태의 감자를 수확하게 되고, 너무 늦으면 우기와 고온의 영향으로 땅속에서 괴경이 썩어 수량이 적고 품질이 떨어질 수 있다. 따라서 감자 괴경 발달이 종료되는 시점을 토양조건, 상서 수량과 품질 등의 관점에서 명확히 살펴보고 수확적기를 제시할 필요가 있다.

본 연구에서는 남부지역 논에서 봄감자를 재배하고 개화 후 수확시기를 달리하여 상서 수량과 괴경의 품질 분석 등을 통해 적정 수확시기를 제시하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 작물재료 및 재배조건

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 병충해에 강한 다미(Dami) 품종이며, 대관령에 위치한 고령지농업연구소의 망실포장에서 증식한 병이 없는 건전한 씨감자를 공급받아 사용하였다. 씨감자는 20일간 산광 최아 후 맹아가 0.5-1.0 cm 정도 출현하였을 때 무게가 30-40 g이 되도록 절단하여, 통풍이 잘되는 그늘에서 5일간 더 보관한 후 사용하였다. 절단된 씨감자는 2022년과 2023년 3월 20일에 경상남도 밀양의 국립식량과학원 남부작물부 내부 논 시험포장에서 절단면이 아래로 향하도록 하여 파종하였다. 논 포장은 로터리 정지작업 후 비료(N-P_2O_5-K_2O)는 표준시비(10.0-8.8-13.0 kg/10a)에 맞춰서 전량 기비로 시용한 후에 고휴1열로 이랑을 조성하였다. 씨감자는 조성된 이랑에 포기간 거리는 20 cm, 깊이는 10 cm로 하여 파종하였고, 무공흑백배색 PE멀칭비닐(0.03 mm)을 사용하여 피복하였다. 재배기간 동안 인위적인 관수는 별도로 하지 않고 자연강우에 의존하였으며, 기타 재배관리는 농촌진흥청 감자 표준 영농교본에 준하여 실시하였다(RDA, 2003). 감자 재배는 2022년에 예비실험을 통해 논 재배 가능 여부를 확인하였고, 2023년 본 실험을 수행하였다.

2.2. 기상환경 분석

대기 기상환경은 봄감자 재배기간(2023년 3월~2023년 7월) 동안 시험지 인근의 밀양기상대(N35°49′147″ E128°74′412″, 8 m above sea level)에서 측정한 일평균 기온과 일 강우량 자료를 사용하였으며, 평년(10년, 2013~2022년) 값과 비교하였다.

2.3. 토양의 이화학적 특성 분석

실험 현장의 토양은 미사질양토이며, 씨감자 파종 전과 수확 후에 지표 1-2 cm를 걷어내고 표토층(0-15 cm)의 토양을 휴대용 코어(100 cm^3; Soil Core Sampler Model 0200CS, Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA)와 토양 오거(ø 35 mm; Single Edelman Auger, Eijkelkamp, Zeveenar, Netherlands)를 사용하여 각각 4반복으로 채취하여 토양 물리성과 화학성을 분석하였다. 토양물리성은 코어로 채취한 토양 시료를 105°C에서 건조 후 무게를 측정하는 방식으로 용적밀도, 토양 3상, 공극율을 구하였다. 토양 화학성은 오거

로 채취한 토양 시료를 그늘에서 건조 후 체별하여서 토양 산도와 전기전도도를 측정하고, 토양 유기물, 전질소, 유효인산, 치환성 양이온(K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) 함량 등의 이화학적 특성을 분석하였다(NIAST, 2000).

2.4. 엽록소형광 분석

엽록소형광은 개화 후 10일부터 40일까지 10일 간격으로 10개체를 무작위로 선정하여 조사하였으며, 식물체의 줄기 선단부로부터 3번째에 위치한 성숙한 잎을 대상으로 낮시간(12:00～13:00)에 20분간 광을 차단하여 암적응시킨 후 1,500 μmol·m^{-2}·s^{-1}의 광량을 5초간 조사하여 측정하였다.

2.5. 생육 특성 및 수확량 조사

생육 특성은 개화 후 10일부터 10일까지 10일 간격으로 10개체를 무작위로 선정한 후 지상부와 지하부로 구분하여 농촌진흥청이 제시한 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2003)에 의거 조사하였다. 지상부는 경장, 경경, 지상부 생체중과 건체중을 조사하였고, 지하부는 수량 조사를 위해 지하부 생체중과 건체중, 괴경 총수량, 상서수량 등을 중심으로 조사하였다. 상서는 상품성이 있는 감자로 괴경의 무게가 50 g 이상이면서 생리장해와 병징이 없는 것을 대상으로 하였다. 그리고 기형서, 열개서, 이차생장 유무 등의 외부생리장해와 더뎅이병 발생 여부는 육안으로 확인하였다.

2.6. 괴경의 이화학적 특성 분석

감자 괴경은 60°C 순환식 건조기에서 2～3일간 건조한 후 소형파쇄기(HR2860, Philps Investment Co., Ltd, China)로 균일하게 분쇄하여 4°C 냉장실에 보관하면서 조단백질, 조지방, 조회분 등의 품질을 분석하는데 사용하였다. 조단백질 함량은 시료를 질소/단백질 분석기(Kjeltec™ 8400, Foss, Hillerod, Denmark)를 이용하여 측정하였으며, 조회분 함량은 700°C 직접회화법을 이용하여 측정하였다(AOAC, 1988). 조지방 함량은 자동유지추출장치(Soxhlet System Buchi Labotechink, B-811, AG, Swizerland)를 이용하여 n-hexane으로 3시간 열수 추출한 후 지방 함량을 구하였다. 수분 함량은 상압가열건조기(DS-80S, Dasol Scientific, Hwaseong, Korea)를 이용하여 105°C에서 24시간 건조하여 감소된 중량값을 측정하였다. 탄수화물 함량은 100% 중량부에서 수분, 단백질, 지방, 회분을 뺀 나머지로 표시하였다.

2.7. 괴경 내 무기성분 함량의 분석

감자의 무기성분 함량은 4°C 냉장실에 보관중인 분쇄시료를 대상으로 농촌진흥청 농업과학기술원 표준분석법에 준하여 다량원소(K, Ca, Mg, Na)와 미량원소(Fe, Mn, Zn, Cu)를 분석하였다(NIAST, 2000). 즉, 시료에 분해용액($HN0_3$:H_2SO_4:$HClO_4$=10:1:4)을 첨가하여 전처리 및 여과 과정을 거친 후 유도결합플라즈마 분광광도계(Inductively Coupled Plasma Spectrophotometry-Mass, ICP-Integra XL, GBC Scientific Equipment Pty Ltd., Victoria, Australia)를 이용하여 분석하였으며, 건물중 1 g당 함량으로 제시하였다.

2.8. 통계분석

모든 통계분석은 SPSS 통계 패키지 18.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)을 이용하여 수행하였으며, 수확시기에 따른 차이를 알아보기 위하여 일원 배치 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, Duncan의 다중검정($p < 0.05$)으로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다.

III. 결 과

3.1. 재배지역 내 기상요인의 변화

감자 재배기간(2023년 3월～2023년 7월) 동안 논포장 인근의 일평균 대기온도와 강우량의 변화를 살펴보았다(Fig. 1). 남부지역 감자 파종기인 3월의 평균온도와 강수량은 10.5°C와 44 mm로 평년 대비 온도는 1.9°C 높고 강수량은 35 mm 낮은 편이다. 반면, 영양생장기인 4～5월에는 평균온도가 14.0～18.3°C로 평년과 유사하였으며, 강수량은 47.5～242.5 mm로 평년보다 3배 많았는데 5월에 대략 100 mm나 되는 강우가 2회에 걸쳐서 있었다. 그리고 감자 괴경 형성 및 비대기인 6월에는 평균온도가 23.2°C로 평년과 유사하였으며, 강수량은 238.5 mm로 평년보다 2배 많았다.

3.2. 재배지역 내 토양 환경요인의 변화

논 토양에서 감자 재배 후 토양의 용적밀도는 재배 전보다 다소 높고 공극율은 낮았다. 그리고 토양 3상

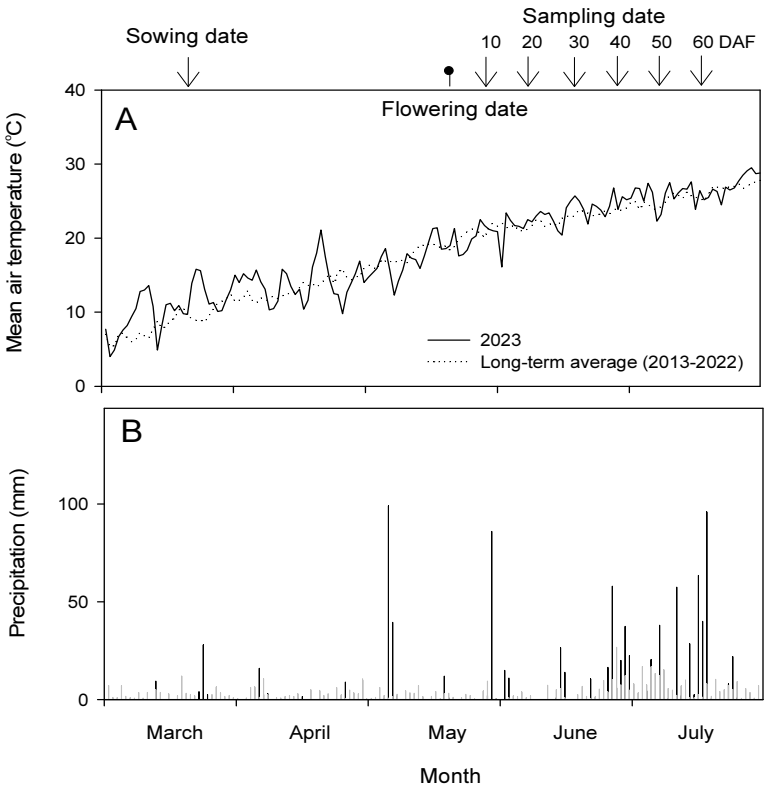

Fig. 1. Daily air temperature (A) and precipitation (B) during the experimental period (2023, solid line) and their long-term averages (2013–2022; dotted line).

중에 기상율은 감자 재배 후에 감소하고 액상율과 고상율은 증가하였다(Table 1). 감자를 재배하기 전에 논토양의 pH는 5.6로 약한 산성을 나타냈고, 전기전도도는 0.6 dS·m^{-1}로 감자 재배를 위한 적정 기준(NAAS, 2022)에 부합되었다. 토양 유기물과 Ca^{2+} 함량은 각각 35.1 g·kg^{-1}, 6.4 cmol·kg^{-1}로 적정 기준보다 다소 높았다. 그러나, 유효인산(Av. P_2O_5) 함량은 134.0 mg·kg^{-1}로 적정기준의 최저치보다도 47% 낮았다. 치환성 양이온 중에 K^+과 Mg^{2+} 함량도 각각 0.5 cmol·kg^{-1}, 1.2 cmol·kg^{-1}로 적정범위보다 다소 낮았다. 그리고 감자 재배 후에는 유효인산 함량이 크게 감소하였고, 치환성 양이온(K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) 함량은 모두 증가하였다.

3.3. 감자 잎의 엽록소형광 특성

감자잎의 OJIP 곡선에서 O, K-단계에서의 형광밀도는 개화 후 40일에 다소 증가하고, I, P-단계에서의 형광밀도는 개화 후 일수가 증가함에 따라 큰 폭으로 감소하였다(Fig. 2A). 광계II의 최대 광화학적 효율(F_v/F_m)은 새벽에 개화 후 일수에 따른 차이가 없이 0.8 이상으로 안정된 값을 보였다(데이터 미제시). 그러나 낮시간에 F_v/F_m은 개화 후 일수가 증가함에 따라 감소하였고, 특히 개화 후 40일에는 0.5 이하로 크게 낮았다(Fig. 2B). 또한 개화 후 일수가 증가함에 따라 초기 형광(F_o)은 증가하였고, 최대형광(F_m)은 감소하였다(Fig. 2C-D).

3.4. 감자의 생육 및 수량

논 재배 감자의 지상부는 개화 후 20-30일까지는 녹색 상태를 유지하면서 생체중과 건체중도 높았으나 그 이후에 크게 감소하였고, 개화 후 60일 이후에는 줄기의 직경이 감소하고 지상부가 거의 고사하였다. 감자 수량은 개화 후 30-50일에 괴경 총수량, 상서수량 등이 최대에 도달하였으며, 상품성 있는 감자의 비율도 높았다(Table 2, Fig. 3). 그리고, 개화 후 40일까

Table 1. Physical and chemical properties of soil in paddy field in southern Korea

Soil condition	Physical properties					Chemical properties							
	Bulk density (g/cm^3)	Three phases of soil (%)			Porosity (%)	pH (1:5)	EC ($dS \cdot m^{-1}$)	OM ($g \cdot kg^{-1}$)	T-N ($g \cdot kg^{-1}$)	Av. P_2O_5 ($mg \cdot kg^{-1}$)	Exchangeable cations ($cmol \cdot kg^{-1}$)			
		Liquid	Solid	Air							K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
Paddy field soil before potato cultivation	1.18[z]	31.4	44.5	24.1	55.5	5.6[z]	0.6	35.1	2.5	134.0	0.5	6.4	1.2	0.2
Paddy field soil after potato cultivation	1.39	36.5	52.3	11.2	47.7	5.4	1.2	34.1	2.4	58.9	0.9	7.9	1.9	0.2
Optimum soil conditions for potato cultivation[y]						5.5-6.2	<2.0	20-30	-	250-350	0.5-0.6	4.5-5.5	1.5-2.0	-

[z]Values are expressed as the mean of four replicates.
[y]Optimum soil conditions for potato cultivation were cited from National Academy of Agricultural Science (2022).

지는 기형서나 열개서 등 외부생리장해가 없었고 내부갈변이나 중심공동 등의 내부생리장해도 발생하지 않았다. 그러나 그 이후에는 기형서 발생뿐만 아니라 감자 괴경에서 일부 발아가 이루어지거나 땅속에서 썩는 등의 내부생리장해가 발생하였다. 2022년 예비실험에서도 개화 후 30일에 상품성 있는 감자의 비율이 67.4%로 높은데 반하여 수확시기가 지연되어 개화 후 60일에는 27.2%로 크게 감소하고 부패서가 다량 발생함을 확인하였다(데이터 미제시).

3.5. 감자 괴경의 이화학적 특성

감자의 일반성분은 건량기준으로 탄수화물 함량이 60% 이상으로 가장 높았으며, 조단백질(8.4-9.5%), 조회분(4.3-5.4%), 조지방(0.03-0.31%) 순으로 포함되어 있다(Table 3). 조단백질 함량은 조사기간 동안 거의 일정하였으나 개화 후 40일에 다소 낮았다. 조지방 함량은 수확시기가 늦어짐에 따라 점차 감소하였으며, 조회분은 조사기간 동안 거의 일정하였으나 개화 후 50일에 가장 높았다. 그리고 탄수화물 함량은 조사기간 동안 60% 이상으로 높았으며 개화 후 60일 이후에는 다소 감소하였다. 수분함량도 조사기간 동안 대체로 일정하였으나 개화 후 40일과 60일에 20% 이상으로 다소 높았다.

3.6. 감자 괴경의 무기성분 함량

괴경의 무기질 함량은 조사기간 동안 44.1～54.2 $mg \cdot g^{-1}$ DW 범위내에 있었으며, 수확시기가 늦어짐에 따라 감소하여 개화 후 40일에 가장 낮았다(Table 4). 무기질 함량중에 다량원소는 수확시기와 무관하게 K > P > Mg > Ca > Na 순으로 함량이 높았으며, 미량원소도 수확시기와 무관하게 Fe > Zn > Mn > Cu 순으로 높았다(Table 4). P는 개화 후 점차 감소하여 개화 후 40일에 3.83 $mg \cdot g^{-1}$으로 낮고 다시 증가하였다. K은 수확시기가 늦어질수록 점차 감소하여 개화 후 40일에 36.3 $mg \cdot g^{-1}$이었으며, Ca은 수확시기가 늦어질수록 증가하는 경향을 보였으나 개화 후 40일에는 0.79 $mg \cdot g^{-1}$으로 낮았다. Mg은 유의미한 차이를 보이지 않았으며, Na은 수확시기가 늦어질수록 다소 증가하였다. 미량원소 중에 Fe, Mn, Cu는 수확시기가 늦어짐에 따라 점차 증가하여 개화 후 50일에 가장 많았으며, 이후 다소 감소하였다. 이에 반해 Zn는 수확시기가 늦어짐에 따라 점차 감소하여 개화 후 40일에 가장 적었다.

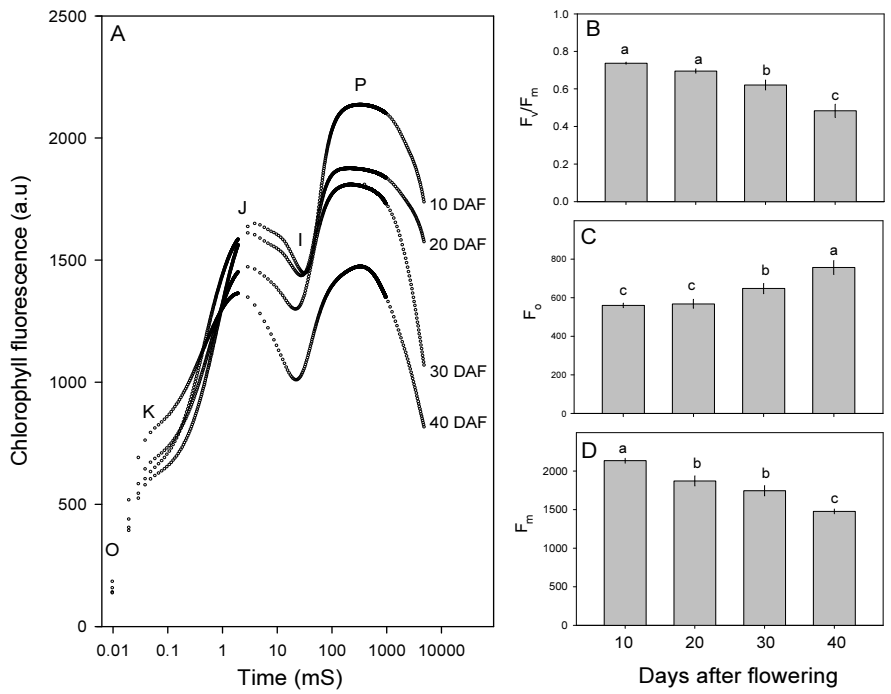

Fig. 2. The OJIP curve (A) and chlorophyll a fluorescence parameters (B-D; F_v/F_m, F_o, and F_m) in leaves according to days after flowering (DAF) of spring potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Dami) in the paddy field. Values are expressed as the mean±standard error of ten replicates. Different letters within each column indicate significant differences among treatments by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

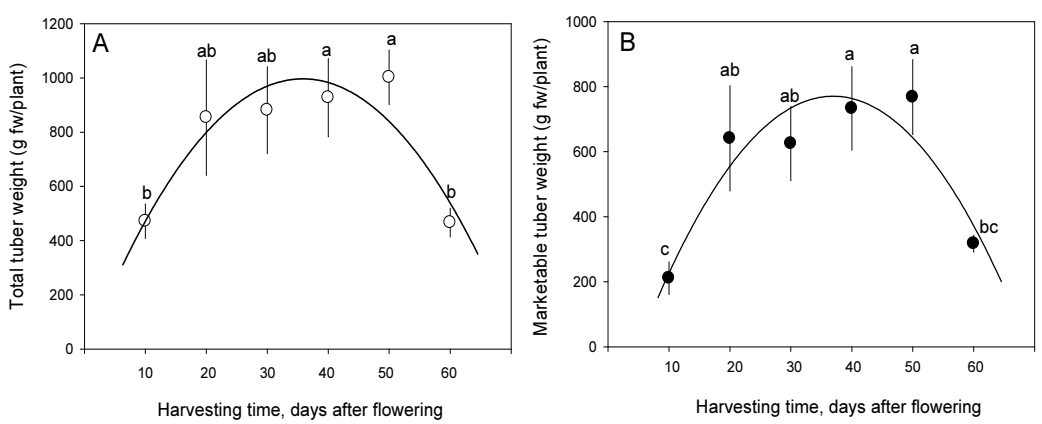

Fig. 3. The change of total tuber (A) and marketable tuber (B) by harvesting time of spring potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Dami) in the paddy field. Values are expressed as the mean±standard error of ten replicates. Different letters within each column indicate significant differences among treatments by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

Table 2. Shoot and tuber yields as affected by harvesting time of spring potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Dami) cultivated in the paddy field

Days after flowering (Harvesting date)	Shoot				Potato tuber			
	Length (cm)	Diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Total tuber (No./plant)	Marketable tuber (No./plant)	Commercial tuber rate (%)	Secondary growth (%)
10 DAF (25 May)	70.0±0.6^{ns}	14.1±0.8^{a}	712.4±95.3^{ab}	80.2±11.6^{a}	11.7±0.9^{a}	2.7±0.5^{c}	22.8±4.0^{b}	0^{b}
20 DAF (4 June)	68.0±1.8	12.6±0.7^{ab}	821.0±162.3^{a}	91.7±17.9^{a}	11.8±1.7^{a}	4.7±0.3^{bc}	43.7±6.4^{a}	0^{b}
30 DAF (14 June)	69.2±3.2	12.0±1.0^{ab}	535.1±61.4^{bc}	69.9±8.5^{ab}	13.3±2.3^{a}	6.3±1.9^{ab}	46.3±2.6^{a}	0^{b}
40 DAF (24 June)	70.2±2.4	13.7±0.7^{a}	282.6±58.0^{cd}	36.7±7.7^{bc}	13.7±2.2^{a}	8.0±1.5^{a}	59.0±4.2^{a}	0^{b}
50 DAF (4 July)	64.8±2.2	10.4±0.4^{bc}	282.8±57.9^{cd}	36.9±8.9^{bc}	14.0±1.9^{a}	8.5±1.2^{a}	62.2±5.1^{a}	12.5±4.2^{a}
60 DAF (14 July)	66.8±3.5	9.4±1.0^{c}	209.1±41.7^{d}	32.9±7.9^{c}	9.3±1.7^{b}	3.8±0.3^{bc}	50.1±11.0^{a}	8.6±5.3^{ab}

[z]Values are expressed as the mean±standard error of ten replicates.
[y]Different letters within each column indicate significant differences among treatments by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

Table 3. The proximate nutrient compositions of tubers according to harvesting time of spring potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Dami) grown in the paddy fields

Days after flowering (Harvesting date)	Nutrient compositions of potato tuber (%, the dry matter)				
	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude ash	Carbohydrate
10 DAF (25 May)	18.9±0.3^{c}	9.5±0.1^{a}	0.31±0.02^{a}	4.7±0.1^{ab}	66.8±0.4^{a}
20 DAF (4 June)	18.4±0.2^{c}	9.2±0.1^{ab}	0.20±0.02^{b}	4.7±0.1^{ab}	67.6±0.3^{a}
30 DAF (14 June)	17.8±0.6^{c}	9.0±0.2^{ab}	0.09±0.04^{c}	4.8±0.2^{ab}	68.3±0.7^{a}
40 DAF (24 June)	21.0±1.4^{b}	8.4±0.4^{b}	0.07±0.02^{c}	4.5±0.5^{b}	65.9±1.6^{a}
50 DAF (4 July)	18.5±0.2^{c}	9.1±0.3^{ab}	0.06±0.01^{c}	5.4±0.3^{a}	66.7±0.5^{a}
60 DAF (14 July)	24.8±0.3^{a}	9.3±0.4^{a}	0.03±0.01^{c}	4.3±0.1^{b}	61.5±0.7^{b}

[z]Values are expressed as the mean±standard error of five replicates.
[y]Different letters within each column indicate significant differences among treatments by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

Table 4. Mineral nutrient content of tubers according to harvesting time of spring potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Dami) grown in the paddy fields

Days after flowering (Harvesting date)	Macro-nutrients (mg·g^{-1} DW)					Micro-nutrients (μg·g^{-1} DW)				Total nutrients (mg·g^{-1} DW)
	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	
10 DAF (25 May)	5.34^{a}	45.3^{a}	0.87^{ab}	2.03^{ns}	0.11^{c}	450.7^{b}	13.8^{b}	39.4^{a}	14.3^{ab}	54.2^{a}
20 DAF (4 June)	4.76^{b}	41.9^{b}	0.89^{ab}	2.04	0.12^{bc}	680.3^{b}	16.9^{b}	35.6^{ab}	14.1^{ab}	50.4^{b}
30 DAF (14 June)	4.19^{cd}	38.4^{cd}	0.91^{ab}	2.05	0.13^{ab}	910.0^{ab}	19.9^{ab}	31.9^{bc}	13.8^{b}	46.6^{cd}
40 DAF (24 June)	3.83^{d}	36.3^{d}	0.79^{b}	2.04	0.12^{ab}	922.7^{ab}	20.1^{ab}	29.8^{c}	14.6^{ab}	44.1^{d}
50 DAF (4 July)	4.52^{bc}	39.5^{bc}	1.09^{a}	2.14	0.13^{a}	1,288.1^{a}	24.6^{a}	24.6^{b}	15.8^{a}	48.8^{bc}
60 DAF (14 July)	5.16^{a}	36.5^{d}	1.00^{ab}	2.02	0.13^{a}	729.7^{ab}	18.0^{b}	32.6^{bc}	15.3^{ab}	45.6^{d}

[z]Values are expressed as the mean of five replicates.
[y]Different letters within each column indicate significant differences among treatments by Duncan's multiple test ($p < 0.05$).

IV. 고 찰

감자 괴경의 적기 수확은 생리적 성숙도에 가까운 고품질 괴경을 생산하는데 중요하여 수확량, 괴경 크기, 모양, 비중 등을 결정하고 농가의 수익에 직결되며, 수확된 감자의 가공적성과 저장성에도 영향을 미칠 수 있다(Solaiman *et al*., 2015; Sharkar *et al*., 2019). 감자는 주로 괴경의 크기에 의해 품질이 분류되고 있지만, 품질 평가요소로 무게, 부패, 기형, 병해충의 발생 여부, 녹화 등의 외관상 특성과 중심공동, 내부 변색, 저장양분 등의 특성들이 중요하다(Kim, 2002).

감자는 꽃봉오리 형성 시 괴경이 형성되기 시작하여 개화 시에는 엽면적지수가 최대에 도달하게 되고 괴경 비대가 시작된다(Howlader and Hoque, 2018). 따라서 본 연구에서는 괴경의 적절한 수확시기를 결정하고자 개화 후 10일 간격으로 생육 특성과 괴경의 품질 변화를 살펴보았다. 그 결과, 개화 후 30-40일에 괴경 비대가 최대에 도달하였으며, 그 이후에는 맹아가 발생하는 2차 생장이 나타났다(Table 2). 생리적 성숙보다 이른 시기의 감자 수확은 괴경이 성장하고 비대하는 시간을 단축시켜 상품성이 있는 상서 수량이 제한될 수 있다. 반면에 늦은 시기의 수확은 너무 큰 괴경을 생산할 수도 있고 휴면성이 깨뜨려져 맹아가 형성되어 상품성이 낮아질 수 있다. 본 연구에서도 개화 후 50일 이후에 땅속 괴경에서 2차 발생이 나타났는데, Fig. 1에서 보는 바와 같이 개화 후 50일 이후에는 평균온도가 25℃ 이상으로 높을 뿐만 아니라 강우의 빈도도 잦고 강수량도 많아진 원인으로 보인다. 고온은 엽록소 함량의 손실뿐만 아니라 탄소 수송 및 CO_2 고정의 억제로 인해 광합성 및 전분 축적 능력을 감소시키고, 괴경의 기형 및 괴사를 유발하고, 휴면상태에도 부정적인 영향을 미친다(George *et al*., 2018). 더군다나 감자 괴경은 수확 후 곧바로 시장에 유통되어 소비되기도 하지만 일부는 거래량이나 가격 조절을 위해 저장하기도 한다. 감자는 저장기간에도 계속해서 호흡하기 때문에 휴면상태를 유지하여 수확 후 손실을 최소화하기 위해서는 수확시기가 중요하게 작용할 수 있다.

한편, 공극률, 기상율과 같은 토양의 물리적 특성은 작물의 뿌리 발달에 미치는 영향을 평가하는데 중요한 요소이다(Konnerup *et al*., 2018). 더군다나 논 토양은 입자가 작은 점질토로 이루어져 있어서 밭 토양과는

달리 공극률과 기상률이 낮기 때문에 폭우 등에 의한 집중적인 강우 시, 오랜 기간 침수될 우려가 있으며 작물에 스트레스로 작용할 수 있다. 본 연구에서도 논에서 감자 재배 후에 공극률과 기상률이 낮아졌으며(Table 1), 이는 6~7월의 우기에 의한 결과로 보여진다. 또한 감자는 고온에 민감하며 온도가 30°C를 초과하면 수확량이 감소하고 괴경 품질이 떨어지는데(Krauss and Marschner, 1984), 조사지역인 밀양은 6월에 평균온도가 23.2°C이지만 최고온도가 30°C를 초과하는 일이 빈번하여 늦은 수확은 감자의 생육에 스트레스 요인으로 작용할 것으로 보인다. 이는 엽록소형광 분석에도 나타나는데 감자 잎의 OJIP 곡선에서 형광밀도가 O, K-단계에서 개화 후 40일에 다소 증가하고, I, P-단계에서 큰 폭으로 감소하였다. 그리고 개화 후 일수가 증가함에 따라 F_v/F_m이 큰 폭으로 감소하는데 F_o의 증가와 더불어 F_m의 감소를 동반하여 광억제가 일어나고 있음을 알 수 있다(Bussotti *et al*., 2011; Oh *et al*., 2015). 이러한 특성들은 마늘(*Allium sativum* L)이나 배추(*Brassica campestris* ssp. *napus* var. *pekinensis*), 그리고 겨울밀(*Triticum aestivum* L.) 등의 저온성 작물에서도 고온과 침수의 영향에 의해 나타나는 것으로 보고된 바 있다(Oh *et al*., 2014; Oh *et al*., 2015; Shao *et al*., 2013). 개화 후 40일 이후에는 낮시간에 온도가 높아질뿐 아니라 간헐적으로 비가 내려서 과습상태에 놓이게 될 우려가 있어 광억제에 의한 스트레스 상태에 놓일 것으로 보인다.

감자 재배 시 문제중에 하나가 *Streptomyces* 속에 속하는 일부 토양균에 의한 더뎅이병 감염이며, 더뎅이병은 알칼리성 토양에서 많이 발생하여 토양 pH 5.5 이하에서는 발병이 경감되는 것으로 보고된 바 있다(Kim *et al*., 2012). 본 연구에서도 Table 1에서처럼 논 토양의 pH가 5.6으로 낮고 감자 재배 이후에도 5.4로 낮아 감자 재배 적정범위 내에 있어서 토양 pH 조절을 위한 별도의 시비가 필요 없는 것으로 나타났으며, 실제로 더뎅이병에 의한 증상은 관찰되지 않았다(데이터 미제시). 그리고, 감자 재배에 적합한 토양 내 유기물 함량은 20-30 $g \cdot kg^{-1}$이며 우리나라 토양은 적절한 함량을 보유하고 있어서 감자 재배가 가능하다. 그러나, 논 토양은 밭 토양에 비하여 인산 등 잔류양분이 적은 편이다(Heo, 2021). Table 1에서 살펴본 바와 같이 감자 재배 전 논 토양의 유효인산 함량이 134.0 $mg \cdot kg^{-1}$로 감자 재배 적정기준의 최저치보다도 크게 낮아 적절한 시비가 필요한 것으로 보인다.

감자는 탄수화물, 단백질, 식이섬유, 비타민, 무기질 등이 풍부하여 유럽에서는 주식으로, 국내에서는 부식으로 식단에 자주 이용되고 있다(Zaheer and Akhtar, 2016; Singh *et al*., 2020). 특히 탄수화물 함량이 높아 건물 함량의 55-75%가 전분이다. 본 연구에서도 탄수화물이 60% 이상으로 높았으며, 개화 후 50일까지는 유의미한 차이를 보이지 않았다. 단백질 함량은 10% 미만으로 낮았으며, 개화 후 40일에 최소값을 보였다. 또한 괴경 내 P, K과 Ca 함량은 Table 4에서와 같이 개화 후 점차 감소하여 개화 후 40일에 최저 함량을 보였는데, 이는 개화 후 일수가 증가하면서 괴경의 크기가 증가한데서 기인한 것으로 보인다. 이러한 결과는 개화 후 40일 전후에 수확하였을 경우에도 유기영양분의 손실이 그리 크지 않음을 알 수 있다. 그리고 무기질 함량이 개화 후 수확시기가 늦어짐에 따라 점차 감소하지만 이는 오히려 감자칩 가공 과정에서 색상이 어둡고 탁해지는 것을 막아 유리하게 작용을 할 것으로 보인다.

이상의 결과를 토대로 남부지역 논에서 봄감자 재배 시 수확적기는 고온과 침수의 영향을 덜 받으면서 괴경 비대가 최대에 도달하는 개화 후 30-40일인 것으로 판단된다. 이 시기에 괴경은 생리적 성숙기에 도달하고 탄수화물, 단백질의 손실이 거의 없으며 무기질 함량의 감소는 감자칩 등 가공과정에 있어서 오히려 유리할 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 적정 수확시기로 제시된 개화 후 30-40일은 6월 중하순에 해당하여 고온의 영향을 받을 우려가 있는 바 파종시기를 다소 앞당겨 그 영향을 최소화할 필요가 있다. 또한 논 재배 시 침수 피해가 발생하지 않도록 배수로를 정비하고 이랑을 높게하여 우기의 피해를 최소화하여야 할 것이다.

적 요

남부지역 논에서 봄감자를 재배하고 수확시기를 달리하여 상서 수량과 괴경의 품질 분석 등을 통해 적정 수확시기를 제시하고자 하였다. 봄감자 수량은 개화 후 30-50일에 총수량, 상서수량 등이 최대에 도달하였으며, 상품성 있는 감자의 비율도 높았다. 기형서나 열개서 등 외부생리장해도 개화 후 40일까지는 발생하지 않았으나, 그 이후에는 일부 괴경에서 발아하는 등 2차 생장이 나타났다. 영양성분중에 탄수화물이 60% 이상으로 높고, 개화 후 50일까지는 유의미한 차

이를 보이지 않았다. 그리고 조단백질 함량은 수확시기가 늦어짐에 따라 점차 낮아졌다. 괴경의 무기질 함량도 수확시기가 늦어짐에 따라 점차 감소하였으며, 개화 후 30-40일에 가장 낮았다. 따라서 남부지역 봄감자 재배 시 수확적기는 고온이나 침수의 영향을 덜 받으면서 괴경 비대가 최대에 이르는 개화 후 30-40일인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 어젠다사업(과제명: 남부지역 논의 녹두 연계 작부체계 기술 개발, 과제번호:PJ016827022023)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 1998: Officinal Methods of Analysis. 16th ed., AOAC International, Gaithersburg, MD, USA. 620-632.

Bussotti, F., R. Desotgiu, C. Cascio, M. Pollastrini, E. Gravano, G. Gerosa, R. Marzuoli, C. Nali, G. Lorenzini, E. Salvatori, F. Manes, M. Schaub, and R. J. Strasser, 2011: Ozone stress in woody plants assessed with chlorophyll a fluorescence. A critical reassessment of existing data. *Environmental and Experimental Botany* **73**, 19-30.

George, T. S., M. A. Taylor, I. C. Dodd, and P. J. White, 2018: Climate change and consequences for potato production: a review of toleranceto emerging abiotic stress. *Potato Research* **60**, 239–268.

Heo, S., 2021: Changes in soil chemical properties of rice paddy, upland field, and greenhouse in Incheon from 2015 to 2019. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* **54**(2), 204-212.

Howlader, O., and M. A. Hoque, 2018: Growth analysis and yield performance of four potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* **43**(2), 267-280.

Kim, J. S., Y. G. Lee, M. Kwon, J. I. Kim, G. J. Lee, J. T. Lee, and J. S. Ryu, 2012: Control of common scab of potato caused by *Streptomyces* spp. by soil pH adjustment and crop rotation. *Research in Plant Disease* **18**(2), 117-122.

Kim, S. Y., 2002: Prospects and status on quality of potato. *Korean Journal of Crop Science* **47**, 135-139.

King, J. C., and J. L. Slavin, 2013: White potatoes, human health, and dietary guidance. *Advances in Nutrition* **4**(3), 393S-401S.

Konnerup, D., G. Toro, O. Pedersen, and T. D. Colmer, 2018: Waterlogging tolerance, tissue nitrogen and oxygen transport in the forage legume Melilotus siculus: a comparison of nodulated and nitrate-fed plants. *Annals of Botany* **121**(4), 699-709.

Korean Statistical Information Service (KOSIS), 2023: Statistics of agriculture, forestry and fishery; Food crop cultivation area. http://Kosis.kr.

Krauss, A., and H. Marschner, 1984: Growth rate and carbohydrate metabolism of potato tubers exposed to high temperatures. *Potato Research* **27**, 297-303.

National Academy of Agricultural Science (NAAS), 2022: Fertilization standard on crops (5th revision). NAAS. Suwon, Korea 82p (in Korean).

National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST), 2000: Analytical methods of soil and plant. NIAST, Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea.

Oh, S., K. H. Moon, and S. C. Koh, 2015: Assessment of high temperature impacts on early growth of garlic plant (*Allium sativum* L.) through monitoring of photosystem II activities. *Horticultural Science and Technology* **33**(6), 829-838.

Oh, S., K. H. Moon, I. C. Son, E. Y. Song, Y. E. Moon, and S. C. Koh, 2014: Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Chinese cabbage in response to high temperature. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **32**, 318-329.

Rural Development Administration (RDA), 2003: Potato cultivation. Agricultural Technical Guide Textbook-31. Sammi Publishing Company, Suwon, Korea, 331p (in Korean).

Rural Development Administration (RDA), 2014: Potato-soybean double cropping cultivation. Dawon Publishing Company, Suwon, Korea, 112p (in Korean).

Shao, G. C., J. J. Lan, S. E. Yu, N. Liu, R. Q. Guo, and D. L. She, 2013: Photosynthesis and growth of winter wheat in response to waterlogging at different growth stages. *Photosynthetica* **51**(3), 429-437.

Sharkar, M., J. U. Ahmed, S. F. Ahmed, S. M. Z. Al-Meraj, and M. Mohi-Ud-Din, 2019: Effect of harvesting dates on the yield and tuber quality of processing potatoes. *Bangladesh Journal of*

Agricultural Research **44**(1), 179-193.

Singh, B., P. Raigond, S. Dutt, and M. Kumar, 2020: Potatoes for food and nutritional security. *Potato: Nutrition and Food Security*, 1-12.

Solaiman, A. H. M., T. Nishizawa, T. S. Roy, M. Rahman, R. Chakraborty, J. Choudhury, M. Sarkar, and M. Hasanuzzama, 2015: Yield, dry matter, specific gravity, and color of three Bangladeshi local potato cultivars as influenced by stage and maturity. *Journal of Plant Sciences* **10**(3), 108-115.

Zaheer, K., and M. H. Akhtar, 2016: Potato production, usage, and nutrition—a review. *Critical reviews in food science and nutrition* **56**(5), 711-721.