

어젠다코드	2 - 11 - 33		구 분	세부완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	G01	작목구분코드	FC-05-0501
과제종류	공동연구		세세부사업	국책기술	
연구과제 및 세부과제			수행기간	과제책임자 및 세부책임자	
기후변화 신시나리오에 따른 밭작물 생산에 미치는 작물과 환경요인 평가 프로토콜 개발			'13	국립식량과학원 작물환경과	서명철
1) 기후변화 신시나리오에 따른 감자, 고구마의 적기적작에측을 위한 평가기술 개발			'13	강원도원 특화작물연구소	최성진
책임용어	기후변화, 감자, 고구마, 문헌조사, 수량예측모형				

ABSTRACT

As for potato, 633 results of regional adjustment test, 1,477 theses and 162 documents for practical use in farm, and as for sweet potato, 949 results of regional adjustment test, 515 theses and 58 documents for practical use in farm were collected. The results of regional adjustment test were input in excel 2007 program to create database. And the other collections were made a list and classified into several divisions like cultivation, variety, seed, breeding, pest and so forth. And the climatic elements were also collected from 1980 to 2012. Among these collections, we surveyed the relations between the results of potato regional adjustment test and their climatic elements.

We aimed to evaluate the effects of climatic elements on potato yield and create a model with climatic elements for estimating the potato yield, using the results of the regional adjustment tests of potato. We used 86 data of the yield data of a potato variety, Sumi, from 17 regions over 11 years. According to the results, the climatic elements showed significant level of correlation coefficient with marketable yield, which appeared to be almost every climatic elements except wind velocity, which was daily average air temperature(Tave), daily minimum air temperature(Tmin), daily maximum air temperature(Tmax), daily range of air temperature(Tm-m), precipitation(Prec.), relative humidity(R.H.), sunshine hours(S.H.) and days of rain over 0.1mm(D.R.) depending on the periods of days after planting or before harvest. The correlations between these climatic elements and marketable yield of potato were stepwised using SAS, statistical program, and we selected a model to predict the yield of marketable potato, which was $y = 7.820 \times Tmax_1 - 6.315 \times Prec_4 + 128.214 \times DR_8 + 91.762 \times DR_3 + 643.965$. The correlation coefficient between the yield derived from the model and the real yield of marketable yield was 0.588(DF 85).

1. 연구목표

감자는 세계적인 주요 식량작물로서 단위면적 및 단위시간당 열량 생산이 높을 뿐만 아니라 단백질 및 각종 비타민류와 무기염류가 풍부하기 때문에 식품적 가치도 높은 작물의 하나이다(Burton, 1966). 우리나라는 1824년에 만주로부터 들어온 이래, 식량이 부족하던 시절 배고픔을 달래주던 구황작물 역할을 수행하였고, 1970년대 본격적인 식량증산 정책이 시행되면서 1980년대 이후에는 부식작물로 역할이 변하였고, 최근에는 패스트푸드 산업이 발달하면서 가공원료 이용비율이 급속히 증가하고 있다(Jeong *et al.*, 2003).

감자는 동일한 품종일지라도 재배지역에 따른 생육이나 품질이 매우 다르게 나타나는, 즉 기상요인에 아주 민감한 작물로 알려져 있다(Agblor *et al.*, 2002). 12~21°C의 기온에서 생육이 양호한 저온성 작물로서 생육단계에 따라 최적 요구온도가 달라서(Borah, 1959), 맹아의 출현은 26.7~29.4°C, 출현 후 생육은 21~24°C가 알맞고(Yamaguchi *et al.*, 1964), 괴경의 비대기에는 지온 22°C가 알맞다고 하였다(Epstein, 1966). 또한 감자는 저온단일 조건에서 증수되는데 일장은 12시간 정도(Wheeler and Tibbitts, 1986), 일사량은 많을수록 괴경비대가 촉진된다(Haverkort and Harris, 1986)고 하였다. 최근 들어 토양이나 기상환경 등의 요인을 분석하여 작물의 생육, 수량 및 품질 등을 예측하기 위한 연구(Ahn *et al.*, 1996b ; Chloupek *et al.*, 2003 ; Van Delden *et al.*, 2003 ; Lee *et al.*, 2011)들이 시도되고 있다. Ahn *et al.*(1996b)은 감자 수량형성에 영향을 미치는 기상요소는 남작의 경우 일조시수, 평균기온 및 일사량, 수미는 일사량과 일조시수라고 하였다. Jeong *et al.*(2003)은 최저온도와 일조시수가 감자 가공품질의 주요소인 건물함량 및 칩색도와 높은 상관계수를 보여주었고 특히 수확일 기준 30일 전부터 10일 전까지의 결과에서 이러한 경향이 뚜렷하였다고 하였다. 온도는 감자 식물체의 광합성과 호흡에 직접적인 영향을 주며 15 ~ 20°C가 대부분의 품종에서 괴경형성 및 생육 최적온도라고 알려져 있다(Bodlaender, 1963). 망실재배는 노지에 비해 감자 생육기간중 온도는 약 1.8~2.8°C 높았고, 광의 강도는 5000~12000Lux 낮아 경장과 경엽층이 증가하는 등 괴경의 형성과 비대에 불량한 환경이라고 사료된다(Kim *et al.*, 1992).

우리나라의 기상조건은 감자재배에 매우 불리하다. 봄감자 수확기인 6, 7월에 장마 등으로 인하여 장우량이 많고 기온이 높아 기형서가 발생하기 쉽고 품질이 나빠지기 쉽다. 가을감자는 강원도 동해안지역의 경우 여름 고온기를 지나 기온이 떨어지기 시작하는 8월 초순경에 파종하여 서리가 내리기 전인 10월 하순 또는 11월 초순에 수확하는데, 파종 후 고온으로 종서가 썩기 쉽고 10월에 저온이 빨리 찾아오는 해에는 생육기간이 부족하여 수량과 품질이 떨어질 수 있다.

지금까지 기상요소가 감자수량에 미치는 영향에 대한 국내 연구는 많지 않았다. 더구나 지역적응시험과 같이 국내 여러 지역에서 오랫동안 누적된 수량성적을 활용한 논문은 발견하지 못하였다. 본 연구에서는 전국에서 수행된 감자 우량계통 지역적응시험에서 표준품종으로 이용되는 수미 감자의 수량성적과 해당지역의 기상자료간의 상관도를 살펴보고 다변량 분석을 통하여 감자 수량 추정을 위한 모델을 얻고자 하였다.

2. 재료 및 방법

국립식량과학원 작물환경과로부터 1980년부터 2011년까지 연도별 전국 92개소의 일별 기상요소를 제공받았으며, 2012년의 기상요소는 기상청 홈페이지에서 내려받아 이용하였다. 수

집된 기상요소는 연도 및 지역별 일평균기온, 최저기온, 최고기온, 강수량, 풍속, 상대습도 및 일조시간 등이었다. 여기에 0.1mm 이상의 강수량을 기록한 일수를 강수일수로 추가하였다.

1980년부터 2012년까지 연도별 감자 및 고구마 지역적응 및 작황시험 등의 성적을 농촌진흥청 농업과학도서관에서 찾아 MS Excel 2007에 입력하였다. 국립식량과학원 홈페이지에서 감자와 고구마 관련 영농활용자료를 찾아 목록과 주요내용을 MS Excel 2007에 입력하였다. 또한 감자, 고구마의 생리적 특성 및 환경변화에 대한 반응 조사를 위하여 농촌진흥청 농업과학도서관과 DBpia에서 논문검색하여 목록과 주요내용을 MS Excel 2007에 입력하였다.

상기의 지역적응 및 작황조사시험 수집자료 중에서 수미감자, 무피복재배 성적(11개 연도, 17지역의 86개)을 추출하였다. 다수의 보고서에는 총서수량, 상서율 및 상서수량 중 2항목이 빠져있는 경우가 있었는데 상서율을 평균값으로 대체하여 환산하였다. 감자수량에 영향을 미칠 수 있는 기타의 요인은 토양, 재식거리, 비료 및 퇴비 사용량 등이 있겠으나 본 연구에서는 감안하지 않았다.

감자의 지상부 생육기를 파종 후 50일까지로 하고, 10일 간격으로 5단계로 나누어 기상요인들을 정리하였다. Kim *et al.*(2012)에 따르면 괴경의 건물중은 파종후 58일부터 91일까지에서 증가정도가 가장 컸다고 하였는데, 본 연구에서는 이를 참조하여 평균 105일의 수미 재배기간 중 괴경비대기를 수확 전 50일부터 수확기까지로 보고, 역시 10일 간격으로 5단계로 나누었다. 평균기온, 최저기온, 최고기온 등 모든 기상데이터는 분석 대상기간 동안의 일기상요소의 합계를 이용하였다. 표 2와 3에는 각 기간 동안의 기상요소 합의 범위를 나타내었다.

표 1. 분석에 이용된 연도, 지역 및 주요 수량 특성

연도	지역	분석 성적수	파종일 (월.일)	수확일 (월.일)	총서수량 (kg/10a)	상서율 (kg/10a)	상서수량 (kg/10a)
11	17	86	2.21~5.28	5.24~9.16	821~4881	43.0~97.8	657~4559

표 2. 파종 후 10일간격 기상요소의 범위

파종 후 일수	일평균기온 (°C)	일최저기온 (°C)	일최고기온 (°C)	강수량 (mm)	풍속 (m/sec)	상대습도 (%)	일조시수 (hrs)	강우일수 (days)
1~10	30.7~169.9	-11.9~116.3	67.6~254.6	0~89.5	10.3~64.7	323.1~801.9	21.8~105.2	0~5
11~20	47.4~182.4	-0.6~116.4	87.2~258.7	0~201	7.2~63.1	419.8~805.4	30.6~116.3	0~6
21~30	62.9~202.7	3.7~146.6	108.4~258.8	0~178.4	8.5~60.3	351.4~842.5	25.1~105.4	0~6
31~40	87.7~211.6	12.5~159.4	130.4~278.7	0~170.5	7.4~63.5	435.3~856.8	28.6~101	0~7
41~50	105.4~231.7	43.6~181.7	153~293.4	0~122	4.3~57.7	531~855.3	13.4~107.7	0~7

표 3. 수확 전 10일간격 기상요소의 범위

파종 후 일평균기온 일수	일최저기온 (°C)	일최고기온 (°C)	강우량 (mm)	풍속 (m/sec)	상대습도 (%)	일조시수 (hrs)	강우일수 (days)
50~41	122.9~252.4	64.2~210.4	166.9~327.7	0~394.6	6.7~59.4	459.3~883	17.2~104.7
40~31	142.4~264.8	86.1~225.9	178.4~312	0~204.3	6~54.4	506.4~925	19.1~104
30~21	145.2~263.7	87~227.2	179.3~316.3	0~298.4	4~45.1	518.9~919.9	18.4~103
20~11	170.8~274.2	106.9~244.2	202.2~326	0~425.5	7~88.2	515.1~898.2	15.3~101.3
10~1	145~300.8	110.1~257.1	186~356.5	0~666.4	4.7~67	584.4~934.8	10.9~105.6

기상데이터와 수미감자의 상서수량 성적간의 상관계수는 통계프로그램 SAS를 이용하여 구하였다. 또한 다변량 분석방법 중 단계분석(Stepwise)법을 이용하여 최종적으로 수량특성 미치는 영향이 크면서 독립적인 기상요소를 활용한 감자수량 예측 모형을 얻고자 하였다.

2. 결과 및 고찰

<서류(감자, 고구마) 지역별 성적 DB 구축>

'80년 이후 추적 가능한 자료 수집을 통한 지역별 재배면적 및 단위수량 자료를 엑셀 입력하였다. 일부 년도는 농촌진흥청도서관에도 자료가 없어 좀더 많은 도서관이나 현지자료나 보고서를 탐색하여야 할 것으로 사료되며 미조사 연도는 감자는 '83, '86, '87, '94, '95, '97년이고, 고구마는 '86, '87, '96, '01~'04, '07년이다. 감자(20개 필드 633지점), 고구마(23개 필드 949지점)를 엑셀로 DB화 하였다(그림 1,).

감자
고구마
그림 1. 수집 자료를 이용한 감자와 고구마 DB 구축

<서류(감자, 고구마) 연구관련 문헌 색인자료 DB화>

감자, 고구마의 생리적 특성 및 환경변화에 대한 반응 조사를 위한 문헌의 검색은 농촌진흥청도서관의 자료와 DBpia에서 각각 감자와 고구마를 검색어로 하여 검색 후 엑셀에서 재분류하여 다음과 같이 색인파일을 작성하였다. 논문(감자 1,477, 고구마 515건), 영농활용(감자 162, 고구마 58건), 백서 등 일반문헌 일부를 엑셀로 DB화하였다(그림 2).

그림 2. 감자와 고구마 관련 논문 요약 DB

<재배적 특성에 따른 재배지 구분>

표 4. 지역별 감자재배시 기상환경 및 수량

구분 지대별	적응 구분	재배작형	재배기간 중 기상환경					평균 수량 (kg/ha)	생육 기간	
			연평균 기온 (°C)	적산 온도 (°C)	강수량 (mm)	일조 시수 (시간)	무상 기간 (일)			재배 면적 (ha)
1지대 고냉지대	최적지	고랭지재 배	8.5~11	2,600~	900~	6~7	130 이상	3,800	3,200	4하~ 9중
				2,700	1,100					
2지대 중산간지대	적지 (상)	여름재배	10~12	3,100~	800~	6~7	-	5,000	2,400	4하~ 8하
				3,300	1,100					
3지대 중부평야지대	적지 (중)	여름재배	11~13	1,600~	800~	6~7	-	2,000	2,550	3하~ 7중
				2,500	900					
4지대 남부평야지대	적지 (중)	봄재배	12~14	1,500~	300~	7~8	-	2,500	2,450	3하~ 5중
				1,700	500					
		가을재배	12~14	1,900~	300~	6~7	80 이상	1,200	1,800	8상~ 10하
				2,100	500					
5지대 남부해안지대	적지 (상)	봄재배	13~15	800~	400~	7~8	-	4,000	2,400	2하~ 5하
				2,000	600					
		가을재배	13~15	2,100~	300~	6~7	90 이상	1,300	1,850	8하~ 11하
				2,300	500					
6지대 제주지역	적지 (상)	봄재배	15이상	1,500~	300~	4~5	-	1,800	2,300	1하~ 5하
				1,700	500					
		가을재배	15이상	1,900~	400~	5~6	100 이상	1,500	1,950	9상~ 12하
				2,500	600					

- 1지대(최적지) : 강원도 평창군을 중심으로 해발 600m 이상 고랭지대로서 연평균 기온이 8.5~11°C 정도이고, 여름 기온이 20°C 정도로서 월하(越夏)재배가 가능한 지역
- 2지대(적지상) : 강원도, 경기도 북부, 경북 북부지역의 중산간지역으로 연평균 기온이 10~12°C 정도

이고 월하재배가 가능하여 생육기간이 긴 지역

- 3지대(적지中) : 중부평야지대의 연평균 기온이 11~13℃도로서 봄1기작재배만 가능한 지역
- 4지대(적지中) : 남부평야지대의 연평균 기온이 12~14℃정도로서 봄재배가 가능하고 가을재배도 가능한 적지.
- 5지대(적지土) : 남부해안지대로서 연평균 기온이 13~15℃정도로서 봄재배, 가을재배 적지.
- 6지대(적지土) : 연평균 기온이 15℃ 이상으로 겨울재배가 가능하고, 가을재배 적지

시험연구보고서(작황보고서) 및 국내문헌에서 나타난 여러 가지 요인들을 반영하고 변화된 환경과 특성에 따라 다음과 같이 감자의 지대별 재배형태표를 재작성하였다(표 4).

<기상요소와 수량특성간 상관 분석>

연도 및 지역별 수미 감자의 상서수량 성적 86개와 해당연도 및 지역의 기상요인들 간의 상관계수를 분석하였다(표 5, 6).

감자의 총서수량에 영향을 미치는 것으로 나타난 기상요소는 파종 후 50일 동안 평균기온, 최고기온, 기온일교차, 강수량, 일조시간 및 강수일수였다. 이 중에서 유의성이 높은 것으로 나타난 기상요소들은 파종일부터 20일간의 일평균기온과 일최고기온, 파종후 10일간의 일교차, 파종후 21~30일의 강수량 및 파종후 31~40일의 일조시간이었는데 파종 후 초기의 기온이 높을수록 감자의 출현기가 빨라져서 지상부 생육기간을 충분히 확보하였던 것이 수확기 감자 수량을 증가시키는 효과가 있었던 것으로 사료되었고, 출현이후의 강수량과 일조시간이 감자의 지상부 생육을 촉진시킨 것으로 해석되었다. 또한 수확 전 50일 동안에는 강수량, 일조시간, 상대습도, 강우일수가 유의성이 나타났다. 이 시기의 감자의 총서수량은 파종 후 50일간에 비하여 상대적으로 기상요소의 영향이 적게 나타났다.

표 5. 파종후 50일간 감자수량과 기상 요소간 상관계수

수량 특성	파종후 일수	평균기온	최저기온	최고기온	일교차	강수량	풍속	상대습도	일조시간	강수일수
총서수량	0~10	0.285**	0.150	0.333**	0.275**	0.124	-0.069	-0.044	0.094	0.057
	11~20	0.294**	0.178	0.308**	0.230*	-0.148	-0.180	-0.023	0.111	0.095
	21~30	0.162	0.154	0.135	0.028	0.296**	-0.074	0.180	-0.062	0.235*
	31~40	0.176	0.068	0.233*	0.236*	-0.252*	-0.135	-0.036	0.295**	-0.270*
	40~50	0.106	0.048	0.132	0.129	-0.151	-0.189	0.006	0.155	-0.023
상서울	0~10	0.251*	0.117	0.335**	0.305 **	0.049	0.033	0.188	0.192	0.155
	11~20	0.254*	0.130	0.318**	0.285**	-0.377**	-0.031	0.228*	0.176	0.055
	21~30	0.277**	0.173	0.305**	0.223*	0.147	-0.003	0.246*	0.039	0.134
	31~40	0.229*	0.098	0.320**	0.320**	-0.258*	0.071	0.148	0.182	0.029
	40~50	0.243*	0.122	0.288**	0.260*	-0.327**	-0.039	-0.029	0.279**	-0.187
상서수량	0~10	0.339**	0.174	0.413**	0.351**	0.124	-0.066	-0.044	0.094	0.101
	11~20	0.342**	0.189	0.383**	0.315**	-0.148	-0.179	-0.005	0.111	0.100
	21~30	0.234*	0.189	0.221*	0.104	0.296**	-0.078	0.180	-0.062	0.250*
	31~40	0.232*	0.087	0.317**	0.327**	-0.252*	-0.111	-0.036	0.290**	-0.212*
	40~50	0.183	0.089	0.223 *	0.208	-0.151	-0.192	0.006	0.155	-0.086

*, ** : 각각 0.05, 0.01 유의수준에서 유의함

표 6. 수확 전 50일간 감자수량과 기상 요소간 상관계수

수량 특성	파종후 일수	평균기온	최저기온	최고기온	일교차	강수량	풍속	상대습도	일조시간	강수일수
총서수량	50~41	0.164	0.171	0.157	-0.011	0.069	-0.208	0.218*	-0.006	0.022
	40~31	0.072	0.097	0.030	-0.092	0.221*	-0.049	0.173	-0.208	0.153
	30~21	0.023	0.089	-0.044	-0.182	0.256*	-0.194	0.268*	-0.324**	0.359**
	20~11	-0.005	0.009	-0.043	-0.064	0.192	-0.024	0.238*	-0.317**	0.217*
	10~1	0.024	0.009	0.060	0.066	-0.034	-0.135	0.164	-0.030	0.066
상서울	50~41	0.385**	0.323**	0.392**	0.128	0.142	-0.037	0.166	0.094	0.119
	40~31	0.318**	0.334**	0.251*	-0.121	0.170	0.008	0.331**	-0.181	0.209
	30~21	0.207	0.217*	0.165	-0.079	-0.030	0.003	0.390**	-0.163	0.147
	20~11	0.318**	0.341**	0.255*	-0.164	0.277**	0.076	0.431**	-0.415**	0.374**
	10~0	0.310**	0.386**	0.235*	-0.162	0.242*	0.077	0.453**	-0.253*	0.252*
상서수량	50~41	0.288**	0.269*	0.289**	0.047	0.069	-0.209	0.218*	-0.006	0.060
	40~31	0.190	0.212*	0.137	-0.105	0.221*	-0.052	0.173	-0.208	0.208
	30~21	0.097	0.157	0.025	-0.183	0.256*	-0.179	0.268*	-0.324**	0.390**
	20~11	0.108	0.130	0.055	-0.112	0.192	-0.003	0.238*	-0.317**	0.313**
	10~1	0.124	0.136	0.135	0.011	-0.034	-0.100	0.164	-0.030	0.141

감자의 상서울은 기상의 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났는데, 파종 후 50일 동안 일평균기온, 일최고기온 및 기온일교차, 시기별 강수량과 상대습도 및 일조시간의 영향이 나타났다. 특히 최고기온은 50일간 5단계 모두에서 상서울과 고도의 정의 상관을 보임으로써 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났는데 이것은 표 1에 나타낸 10일간의 적산 최고기온의 범위가 감자의 지상부 생육에 장애를 일으키는 낮은 기온에 걸쳐있다는 것을 의미한다. 표 2의 감자재배기간 중의 기온은 Yamaguchi *et al.*(1964)이 출현 후 생육적온이라 했던 21~24℃보다 크게 낮은 것을 확인할 수 있었다. 그러나 우리나라의 기상조건 하에서 보다 높은 기온에서 지상부 생육촉진을 위해 파종시기를 늦춘다면 수확기는 7-8월의 고온기를 만나게 되어 득보다는 실이 많아질 것으로 판단된다. 또한 감자의 상서울은 파종후 11~20일 및 31~50일 구간에서 강수량과는 부의 상관을 보였다. 11~20일의 구간에서는 출현기, 31~50일 구간에서는 지상부 생육이 빠르게 진행되는 시기이지만 수분요구량이 많지는 않은 특성 때문인 것으로 사료된다. 수확 전 40~1일의 구간에서 상대습도와 높은 정의 상관을 보였다는 것은 증산량이 많지 않은 조건에서 괴경의 비대가 촉진되어 상서울이 증가된다는 것을 의미한다. 이러한 결과를 감자의 시설재배에서 이용한다면 이 시기에 인위적인 가온, 관수 및 가습을 통하여 괴경크기의 균일도를 높일 수 있다는 추정이 가능하였다. 또한 상서울이 일조시간과 높은 부의 상관을 보였다는 것은 쉽게 납득되지 않는 결과인데, 이 시기의 광합성, 증산 및 호흡량과 관련이 있는 것으로 추정되었다. 또한 전체적으로 수확 전 20일 동안에 기온, 강수량, 상대습도, 일조시간 및 강수일수가 상서울과 높은 상관을 보인 것으로 보아 이 시기는 괴경 비대, 특히 작은 괴경의 비대에 중요한 시기일 것으로 추정되었다.

감자의 상서수량은 파종 후 50일 동안 평균기온, 최고기온 및 기온일교차와 고도의 정의 상관이 나타났다. 그러나 최저기온과는 관계가 없는 것으로 나타났는데, 지상부 생육기의 낮

기온은 높을수록 생육이 촉진되지만 밤 기온은, 감자 생육 최저한계온도인 8℃ 이상을 유지하여, 영향을 주지 않는 것으로 해석된다. 파종 후 20일간의 강수량, 풍속, 상대습도, 일조시간 및 강수일수가 수량과 전혀 상관이나 나타나지 않았던 것은 이 시기의 감자는 땅속에서 출현하기 전의 단계로써 지하의 환경에는 큰 영향을 주지 않았기 때문인 것으로 추정되며, 이 기상요소들은 파종 후 20일 이후에 강수량, 일조시간, 강수일수 등이 상서수량과 다소의 상관이나 나타났다. 수확 전 50일 동안에 상서수량과 상관을 보인 기상요소는 평균기온, 최저기온, 최고기온, 강수량, 일조시간 및 강수일수이었는데, 상서울과 마찬가지로 상서수량에서도 일조시간과는 고도의 부의 상관, 강수일수와는 고도의 정의 상관이나 나타났다. 이러한 높은 상관이나 나타난 시기는 수확 전 30~10일 사이로써 이 시기가 감자의 상서수량 증대에 매우 중요한 시기인 것으로 판단된다. Jeong *et al.*(2003)이 최저온도와 일조시수가 감자 가공품질의 주요소인 건물함량과 칩색도와 높은 상관을 보였는데 특히 수확 전 30~10일에 뚜렷하다고 한 바 있다.

전반적으로 우리나라 감자 재배지에서는 지상부 생육기인 파종 후 50일 동안은 기온이 높을수록 지상부 생육이 촉진되기 때문에 피경 수량이 증가하는 것으로 나타났고, 피경이 비대하는 시기인 수확 전 50일 동안에는 기온의 영향은 적고 상대습도가 높고, 일조시간은 적으며, 강수일수가 많은 경우에 수량이 증가하였다. 이것은 달리 표현하면 우리나라 감자재배 환경에서는 생육초기에는 낮은 기온이, 생육후기에는 많은 일조시간과 적은 강수량이 감자 피경비대를 제한하고 있다는 것이다.

<감자의 상서수량 예측모형>

앞선 결과에서 총서수량보다는 상서수량이 기상요소들과 더 높은 상관을 보였다. 이를 바탕으로 유의한 상관이나 있는 것으로 나타난 기상요소들과 수량간의 관계를 Excel을 이용 산점도와 추세선을 그려보았다(Figs. 3, 4).

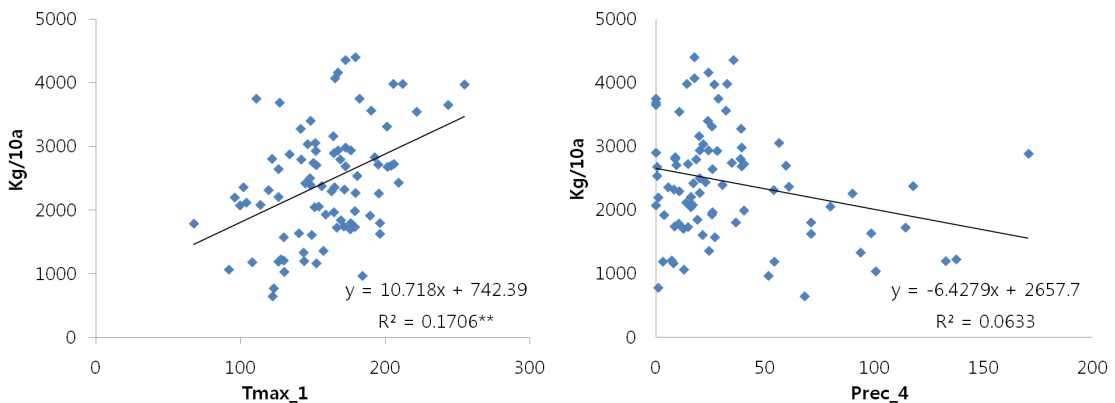


그림 3. 감자 상서수량과 최고기온(파종 후 10일간) 및 강수량(파종 후 31~40일)간 관계

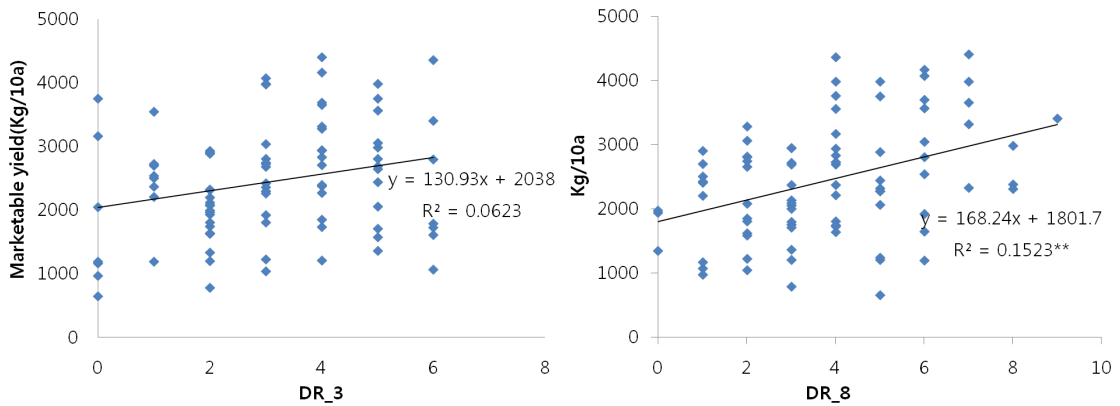


그림 4. 감자 상서수량과 강수일수(과종후 21~30일간, 수확전 30~21일간) 관계

감자의 수량성과 해당지역의 기상요소를 이용하여 감자 수확량을 예측하는 모델식을 만들기 위하여 다변량 분석법을 이용하였다. 감자 상서수량과 기상요소들간의 관계를 통계 프로그램 SAS를 이용하여 단계분석(stepwise)하여 네 가지 감자수량 예측모형을 도출하였다. 감자의 상서수량 예측모형의 분산분석 결과는 표 7과 같았고, 각 독립변수(시기별 기상요소) 및 상수는 표 8에 나타내었다.

표 7. 상서수량 예측모형 분산분석 결과

Step	Source	DF	Sum of square	Mean square	F Value	Pr > F
1	Model	1	11466738	11466738	17.27	.0001
	Error	84	55757973	663785		
	Corrected Total	85	67224711			
2	Model	2	16726028	8363014	13.75	.0001
	Error	83	50498683	608418		
	Corrected Total	85	67224711			
3	Model	3	21298685	7099562	12.68	.0001
	Error	82	45926025	560073		
	Corrected Total	85	67224711			
4	Model	4	23282980	5820745	10.73	.0001
	Error	81	43941730	542490		
	Corrected Total	85	67224711			

표 8. 감자 수량예측 모형

Step	Variable	Parameter Estimate	Standard error	Type II SS	F Value	Pr > F
1	Intercept	742.388	418.110	2092704	3.15	0.0794
	Tmax_1	10.718	2.579	11466738	17.27	<.0001
2	Intercept	621.714	402.392	1452394	2.39	.1261
	Tmax_1	8.448	2.587	6490351	10.67	.0016
	DR_8	126.351	42.975	5259290	8.64	.0042
3	Intercept	913.754	399.374	2391867	5.23	.0247
	Tmax_1	7.661	2.497	5272510	9.41	.0029
	Prec_4	-6.742	2.360	4572658	8.16	.0054
	DR_8	142.023	41.595	6529369	11.66	.0010
4	Intercept	643.965	417.602	1290009	2.38	.1270
	Tmax_1	7.820	2.459	5487209	10.11	.0021
	Prec_4	-6.315	2.333	3975787	7.33	.0083
	DR_8	128.214	41.569	5160822	9.51	.0028
	DR_3	91.762	47.980	1984295	3.66	.0593

표 8에서 도출된 감자수량 예측모형을 이용하여 얻을 수 있는 예측수량과 실제 상서수량간의 관계는 표 9와 같았다.

표 9. 예측모형을 이용한 예측수량과 실제 상서수량간 관계

모형	관련 변수	회귀식	결정계수(R ²)
1	Tmax_1	$y=1x + 0.0153$	0.1706
2	Tmax_1, DR_8	$y=1x + 0.001$	0.2488
3	Tmax_1, Prec_4, DR_8	$y=0.9961x - 25.164$	0.2519
4	Tmax_1, Prec_4, DR_8, DR_3	$y=1x - 0.0721$	0.3463

1~4 모형은 기온기가 1에 가깝고 축의 절편은 0에 근접하는 직선회귀관계였다. 그 중에서도 Step 4에서 얻어진 모형을 적용하면 다른 모형보다 결정계수가 높아 수량에 대한 예측력이 가장 높을 것으로 보였다. 감자 상서수량과 유의한 상관관계가 있었던 기상요인들은 생육기의 단계별로 여러 가지 기상요소들이 있었지만, 단계분석의 과정에서 파종 후 10일까지의 최고기온, 31~40일의 강수량, 21~30일의 강수일수, 그리고 수확 전 30~21일의 강수일수를 제외한 다른 변수(기상요소)들은 제외되었다. Step 4의 모형에서는 결정계수가 0.3463으로 나타났다. 이 결과는 기상정보를 활용한 국내의 다른 감자수량 모델링 연구결과보다 결정계수가 상대적으로 낮게 보이는데, Park *et al.*(2001)은 0.5418이라 하였고 Ahn *et al.*(1996a)은 0.9 이상이라 하였다. 이들의 연구에서는 조사대상 샘플수가 10개 내외로 적고 동일한 지역에서 다년간 수행된 수량성적을 분석한 결과인 반면, 본 연구의 조사대상 샘플수는 86개로 많았던 점과 전국의 다양한 토양과 재배방법에서 도출된 성적이므로 기상을 제외한 다른 요인들이 많았기 때문이란 판단이다.

본 연구에서 나타난 바와 같이 여러 가지 기상요소들이 감자의 수량 특성에 영향을 갖는 것으로 나타났지만 시기가 다른 기상요소들 간에도 상관도가 높은 경우가 많기 때문에 개개의 시기별 기상요소들을 독립변수로 보기 어려운 경우가 많았다. 감자 지역적응시험에서는 기형서의 발생비율 등 품질에 대한 성적이 조사되지 않아 감자 비대기의 고온에 따른 감자 품질 저하 정도를 평가할 수 없었다는 점은 지구온난화로 대변되는 기후다변화의 시대에 매우 아쉬운 점이었다. 또한 본 연구에서는 무피복 재배감자를 다루었으나 금후 피복재배 감자에 대한 연구가 필요할 것으로 보였다.

4. 적 요

1980년부터 2012년까지의 전국 92개소의 기상청 기상자료를 수집하고 전국의 감자 지역적응시험 성적을 수집하였다. 이 데이터들을 활용하여 기상요소가 감자수량에 미쳤던 영향을 평가하고 기상자료를 활용, 감자 수량을 예측해 보고자 하였다. 노지 무피복 재배 수미감자를 대상으로 전국 17지역의 86개 지역적응시험 성적을 추출하여 해당지역의 기상요소들간 상관계수를 조사한 결과, 감자의 상서수량은 파종일부터 50일간의 평균기온, 최고기온 및 일교차와 고도의 상관성이 나타났고, 수확 50일전부터 수확일까지의 최고기온과도 고도의 상관성이 있었으며, 수확 30일전부터 10일전까지의 강수량, 상대습도, 일조시간 및 강수일수도 높은 상관성이 나타났다. 이들 시기별 기상요소들과 감자 상서수량간의 관계를 통계분석 프로그램 SAS를 이용하여 단계분석(Stepwise)한 결과, 다음과 같은 감자 수량예측 모형을 얻을 수 있었다. $y = 7.820 \times T_{max_1} - 6.315 \times Prec_4 + 128.214 \times DR_8 + 91.762 \times DR_3 + 643.965$

감자는 품종마다 기상에 대한 반응이 다르고, 기상 이외에도 토양, 비료, 재배방법 등 여러가지 가능한 요인들이 존재하므로 이 모형만으로 우리나라 지역별 감자수량을 정확히 예측할 수는 없겠으나, 기후변화에 적응하는 농업기술개발을 위한 지역별 감자 파종적기 재설정, 재배적지 탐색 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 인용문헌

- Agblor, A. and Scanlon, M. G., 2002, Effect of storage period, cultivar and two growing locations on the processing quality of french fried potatoes, *Amer. J. of Potato Res.* 79:167-172.
- Ahn JH, Lee JM, Yun JI, Hahm YI and Shin KY. 1996a. Modeling of potato growth and yield based on meteorological information II. Statistical modeling. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(2):345-352.
- Ahn JH, Lee JM, Yun JI, Hahm YI, Kim BH, Om YH and Kim JK, 1996b. Modeling of potato growth and yield based on meteorological information I. Theoretical model and the estimation of parameters. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(2):331-344.
- Bodlaender, K. B. A. 1963. Influence of temperature, radiation and photoperiod on development and yield in the growth of the potato Ed. J. K Ivimns and F. L. Milthorpe, Butterworths. London :199-210.

- Borah, M. N. 1959. The effect of light intensity, length of day and temperature on growth and tuber formation in the potato. D. Thesis, Univ. of Nottingham.
- Burton W. G., 1966, The potato-A survey of its history and of factors influencing its yield, nutritive value, quality and storage. 2nd ed. Veenman an Zonen. Wageningen, Holland:51-81.
- Chloupek, O., Hrstkova, P. and Schweigert, 2003, Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and fertilization over 75 years in the Czech Republic on comparison to some European countries, *Field Crop Res.*(inpress)
- Epstein, E. M. 1966. Preliminary report on the periods of critical need of potatoes for nitrogen and potassium. *Am. Potato J.* 23:267-271.
- Haverkort A. J. and P. M. Harris. 1986. Conversion coefficients between intercepted solar radiation and tuber yields of potato crops under tropical highland conditions *Potato. Res.* 29:529-533.
- Jeong JC, Yun YH, Chang DC, Park CS and Kim SY. 2003. Processing quality of potato(*Solanum tuberosum* L.) tubers as influenced by soil and climatic conditions. *Korean. J. of Environ. Agric.* 22(4):261-265.
- Kim CG, Ok HC, Jeong JC, Hur OS, Seo JH, Jeong KH and Kim SJ. 2012. Effects of altitude and Planting Time on Tuber Bulking of Potato. *Korean J. Crop Sci.* 57(4): 418~423.
- Kim SI, Shin KY, Hwang SJ, Hahm YI, Park CS, Kim BD, Kim JK, Ryu WH, Choi KS, Hahn BH and Ho KS. 1992. Effect of the types of cultivation and time of vine kill on potato yield and virus disease. *Res. Rept. RDA* 34(2):33-40.
- Lee AS, Kim JR, Cho YS, Kim YB, Ham JK, Sa JG and Shin JC. 2011. Analyzing the effect of climatic variables on growth and yield of rice in Chuncheon region. *Korean J. Crop Sci.* 56(2):99~106.
- Park, HJ, Kwon BS, and Shin JS. 2001. Relationship between meteorological elements and yield of potato in Goheung Area. *Korean J. Plant. Res* 14(2):133-138.
- Van Delden, A., Schroder J. J., Kropff, M. J., Grashoff, C. and Booij, R., 2003. Simulated potato yield, and crop and soil nitrogen dynamics under different organic nitrogen management strategies in The Netherlands, *Agri. Eco. & Environ.* 96: 77-95.
- Wheeler, R. M. and T. W. Tibbitts. 1986. Utilization of potatoes for life support systems in space. I. Cultivar-photoperiod interactions *Amer. J. of Potato Res.* 63:315-323.
- Yamaguchi, M., H, Timm, and A. R. Spurr. 1964. Effects of soil temperature on growth and nutrition of potato plants and tuberization, composition and periderm structure of tubers. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 84:412-423.

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제 목
2013(1년)	논문	기상자료를 이용한 무피복 재배 감자의 수량예측
	학술발표	기후변화 신시나리오에 따른 감자재배지 변동예측을 위한 요인분석

7. 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도
					'13
과제책임자	국립식량과학원	농업연구관	서명철	과제 총괄	○
1세부책임자	특화작물연구소	지방농업연구사	최성진	주관수행	○
공동연구자	"	농업연구사	이안수	조사, 논문 보조	○
"	"	"	전신재	조사 지원	○
"	"	"	맹진희	"	○
"	"	농업연구관	김인종	자료 검토	○
"	"	사무운영주사보	김정기	조사 지원	○
"	"	운전서기보	안상진	"	○