

기상자료를 이용한 무피복 재배 감자의 수량 예측

최성진*[†] · 이안수* · 전신재* · 김경대* · 서명철** · 정우석*** · 맹진희* · 김인종*

*강원도농업기술원 특화작물연구소, **국립식량과학원, ***건국대학교

Estimating the Yield of Potato Non-Mulched Using Climatic Elements

Sung-Jin Choi*[†], An-Soo Lee*, Shin-Jae Jeon*, Kyeong-Dae Kim*, Myeong-Cheol Seo**, Woo-Suk Jung***, Jin-Hee Maeng*, and In-Jong Kim*

*Specialty Crops Research Institute, Gangwon ARES, Gangneung 210-851, Korea

**National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

***Department of Applied Bioscience, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

ABSTRACT 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 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 0.1 mm (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 stepwisely 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).

Keywords : potato, marketable yield, sumi, non-mulched, climatic elements, correlation coefficient, stepwise, modeling

감자는 세계적인 주요 식량작물로서 단위면적 및 단위시간당 열량 생산이 높을 뿐만 아니라 단백질 및 각종 비타민

류와 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

[†]Corresponding author: (Phone) +82-33-339-8810 (E-mail) jujumi4617@korea.kr

<Received 4 December, 2013; Revised 13 February, 2014; Accepted 20 February, 2014>

30일 전부터 10일 전까지의 결과에서 이러한 경향이 뚜렷하였다고 하였다. 온도는 감자 식물체의 광합성과 호흡에 직접적인 영향을 주며 15~20°C가 대부분의 품종에서 괴경 형성 및 생육 최적온도라고 알려져 있다(Bodlaender, 1963). 망실재배는 노지에 비해 감자 생육기간중 온도는 약 1.8~2.8°C 높았고, 광의 강도는 5,000~12,000 Lux 낮아 경장과 경엽중이 증가하는 등 괴경의 형성과 비대에 불리한 환경이라고 사료된다(Kim *et al.*, 1992).

우리나라의 기상조건은 감자재배에 매우 불리하다. 봄감자 수확기인 6, 7월에 장마 등으로 인하여 강우량이 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 수미감자의 수량성적과 해당지역의 기상자료간의 상관도를 살펴보고 다변량 분석을 통하여 감자수량 추정을 위한 모델을 얻고자 하였다.

재료 및 방법

국립식량과학원 작물환경과로부터 1980년부터 2011년까지 연도별 전국 92개소의 일별 기상요소를 제공받았으며, 2012년의 기상요소는 기상청 홈페이지에서 내려받아 이용하였다. 수집된 기상요소는 연도 및 지역별 일평균기온, 최

Table 1. Numbers of analyzed year, region and data, and ranges of planting and harvest date, and the yield characteristics.

Years	Regions	No. of Data	Date of planting	Date of harvest	Total Yield	Rate of marketable yield	Marketable yield
11	17	86	2.21~5.28	5.24~9.16	821~4881	43.0~97.8	657~4559

Table 2. Ranges of climatic elements for every 10 days after planting.

D.A.P.	T _{ave} (°C)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	Prec. (mm)	W.V. (m/sec)	R.H. (%)	S.H. (hrs)	D.R. (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

Abbreviations ; DAP for days after planting, T_{ave} for average air temperature, T_{min} for minimum air temperature, T_{max} for maximum air temperature, Prec. for precipitation, WV : wind velocity, RH : relative humidity, SH : sunshine hours, DR for days of rain over 0.1 mm

Table 3. Ranges of climatic elements for every 10 days before harvest.

D.B.H.	T _{ave} (°C)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	Prec. (mm)	W.V. (m/sec)	R.H. (%)	S.H. (hrs)	D.R. (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	0~9
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	0~9
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	0~9
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	0~10
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	0~10

Abbreviations : D.B.H. for days before harvest

저기온, 최고기온, 강수량, 풍속, 상대습도 및 일조시간 등이었다. 여기에 0.1 mm 이상의 강수량을 기록한 일수를 강수일수로 추가하였다. 감자의 총서수량, 상서율 및 상서수량 성적은 농촌진흥청 농업과학도서관에서 전국의 감자 우량계통 지역적응시험 보고서의 결과를 모아 총 438개의 성적을 database화하였다. 그러나 실제 분석에 이용한 상서수량 성적은 11개 연도, 17개 지역의 86개 성적이었는 데 (Table 1), 그 이유는 시험성적을 찾을 수 없었던 연도가 있었고, 수미품종, 무피복, 노지재배만을 대상으로 하였기 때문이었다. 최근의 감자 지역적응시험은 피복재배로 이루어지는 경우가 많아 분석대상에서 제외하였다. 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. Table 2와 3에는 각 기간 동안의 기상요소 합의 범위를 나타내었다.

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

결과 및 고찰

기상요소와 수량특성간 상관 분석

연도 및 지역별 수미 감자의 총서수량, 상서율 및 상서수량 성적 86개와 해당연도 및 지역의 기상요인들 간의 상관계수를 분석하였다(Table 4, 5).

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, 파종 후 10일간의 일교차, 파종 후 2

1~30일의 강수량 및 파종후 31~40일의 일조시간이었다. 따라서 파종 후 초기의 기온이 높을수록 감자의 출현기가 빨라져서 지상부 생육기간을 충분히 확보하였던 것이 수확기 감자 수량을 증가시키는 효과가 있었던 것으로 사료되었고, 출현 이후의 강수량과 일조시간이 감자의 지상부 생육을 촉진시킨 것으로 해석되었다. 또한 수확 전 50일 동안에는 강수량, 일조시간, 상대습도, 강수일수가 유의성이 나타났다. 이 시기의 감자의 총서수량은 파종 후 50일간에 비하여 상대적으로 기상요소의 영향이 적게 나타났다.

감자의 상서율은 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 상서율과 고도의 정의 상관을 보임으로써 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났는데 이것은 Table 1에 나타난 10일간의 적산 최고기온의 범위가 감자의 지상부 생육에 장애를 일으키는 낮은 기온에 걸쳐있다는 것을 의미한다. Table 2의 감자재배기간 중의 기온은 Yamaguchi *et al.*(1964)이 출현 후 생육적온이라 했던 21~24°C보다 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 상서율은 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 상서율이 증가된다는 것을 의미한다. 이러한 결과를 감자의 시설재배에서 이용한다면 이 시기에 인위적인 가온, 관수 및 가습을 통하여 괴경크기의 균일도를 높일 수 있다는 추정이 가능하였다. 또한 상서율이 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 상서율과 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 낮기온은 높을수록 생육이 촉진되지만 밤 기온은, 감

Table 4. Correlation coefficient between the yield characteristics of potato and climatic elements for 50 days after planting.

Yields	D.A.P.	T_ave (°C)	T_min (°C)	T_max (°C)	T_m-m (°C)	Prec. (mm)	W.V. (m/sec)	RH (%)	S.H. (hrs)	D.R. (days)
Y_total	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
Rate_mar.y.	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
Y_mar.	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

*, ** significant at 0.05 and 0.01 probability levels respectively

Abbreviations : Y_total for total yield, Rate_mar.y. for rate of marketable yield, Y_mar. for marketable yield

Table 5. Correlation coefficient between the yield characteristics of potato and climatic elements for 50 days before harvest.

Yields	D.B.H.	T_ave (°C)	T_min (°C)	T_max (°C)	T_m-m (°C)	Prec. (mm)	W.V. (m/sec)	RH (%)	S.H. (hrs)	D.R. (days)
Y_total	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
Rate_mar.y.	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*
Y_mar.	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

*, ** significant at 0.05 and 0.01 probability levels respectively

자 생육 최저한계 온도인 8°C 이상을 유지하여 영향을 주지 않는 것으로 해석된다. 파종 후 20일간의 강수량, 풍속, 상대습도, 일조시간 및 강수일수가 수량과 전혀 상관성이 나타나지 않았던 것은 이 시기의 감자는 땅속에서 출현하기 전의 단계로써 지하의 환경에는 큰 영향을 주지 않았기 때문인 것으로 추정되며, 이 기상요소들은 파종후 20일 이후에 강수량, 일조시간, 강수일수 등이 상서수량과 다소의 상관성이 나타났다. 수확전 50일 동안에 상서수량과 상관을 보인 기상요소는 평균기온, 최저기온, 최고기온, 강수량, 일조시

간 및 강수일수이었는데, 상서율과 마찬가지로 상서수량에서도 일조시간과는 고도의 부의 상관, 강수일수와는 고도의 정의 상관성이 나타났다. 이러한 높은 상관성이 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 주요요소인 건물함량과 칩색도와 높은 상관을 보였는데 특히 수확 전 30~10일에 뚜렷하다고 한 바 있다.

전반적으로 우리나라 감자 재배지에서는 지상부 생육기

인 파종 후 50일 동안은 기온이 높을수록 지상부 생육이 촉진되기 때문에 괴경 수량이 증가하는 것으로 나타났고, 괴경이 비대하는 시기인 수확 전 50일 동안에는 기온의 영향은 적고 상대습도가 높고, 일조시간은 적으며, 강수일수가 많은 경우에 수량이 증가하였다. 이것은 달리 표현하면 우리나라 감자재배환경에서는 생육초기에는 낮은 기온이, 생육후기에는 많은 일조시간과 적은 강수량이 감자 괴경비대를 제한하고 있다는 것이다.

감자의 상서수량 예측모형

앞선 결과에서 총서수량보다는 상서수량이 기상요소들과 더 높은 상관을 보였다. 이를 바탕으로 유의한 상관이 있는 것으로 나타난 기상요소들과 수량간의 관계를 Excel을 이용 산점도와 추세선을 그려보았다(Figs. 1, 2).

감자의 수량성적과 해당지역의 기상요소를 이용하여 감

자 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 Table 6과 같았고, 각 독립변수(시기별 기상요소) 및 상수는 Table 7에 나타내었다.

Table 7에서 도출된 감자수량 예측모형은 다음과 같다.

모형1 : $y = 10.718 \times Tmax_1 + 742.388$

모형2 : $y = 8.448 \times Tmax_1 + 126.351 \times DR_8 + 621.714$

모형3 : $y = 7.661 \times Tmax_1 - 6.742 \times Prec_4 + 142.023 \times DR_8 + 913.754$

모형4 : $y = 7.820 \times Tmax_1 - 6.315 \times Prec_4 + 128.214 \times DR_8 + 91.762 \times DR_3 + 643.965$

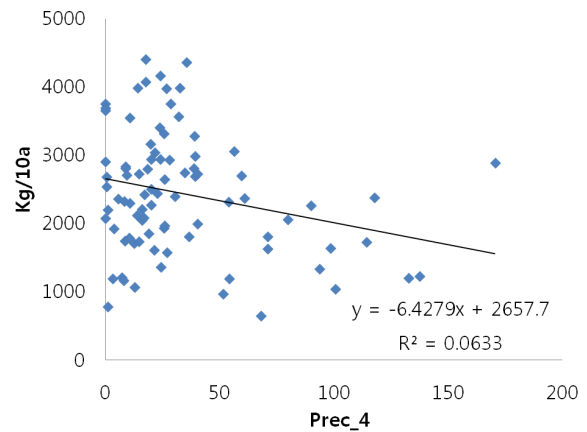
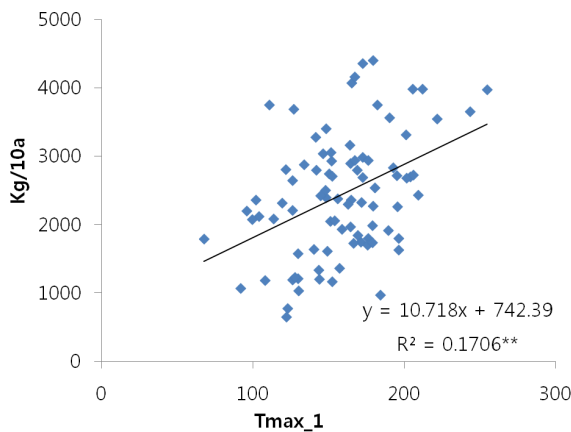


Fig. 1. Correlations between marketable yield of potato and 2 climatic elements, the accumulated daily maximum air temperature (1st~10th days after planting, Tmax_1) and the sum of precipitation (31st~40th days after planting, Prec_4).

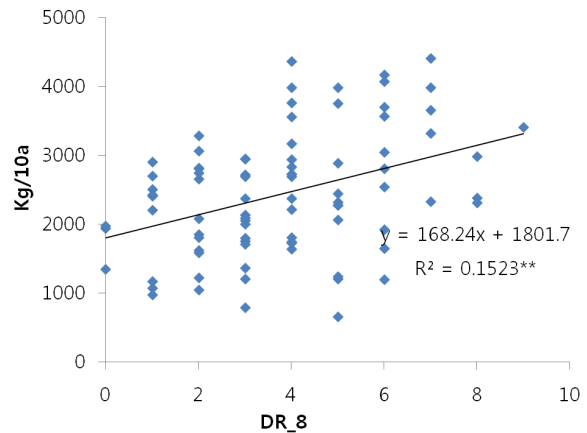
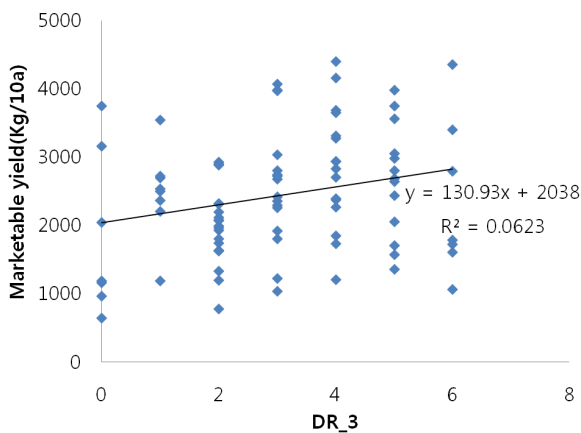


Fig. 2. Correlations between potato yields and 2 climatic elements, days of rain over 0.1 mm(21th~30th after planting and 30th~21th before harvest, DR_3 and DR_8).

Table 6. Analysis of variance.

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			

Table 7. Models for predicting yield of potato.

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

이들 네 가지 모델식을 이용하여 얻을 수 있는 예측수량과 실제의 상서수량간의 관계그래프는 Fig. 3과 같았다. 모든 그래프는 기울기가 1에 가깝고 축의 절편은 0에 근접하였다. 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 기상요인들이 있었지만, 단계분석의 과정에서 파종후 10일까지의 최고기온, 31~40일의 강수량, 21~30일의 강수일수, 그리고 수확전 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 때문으로 판단되었다.

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 저하정도를 평가할 수 없었다는 점은 지구 온난화로 대변되는 기후다변화의 시대에 매우 아쉬운 점이

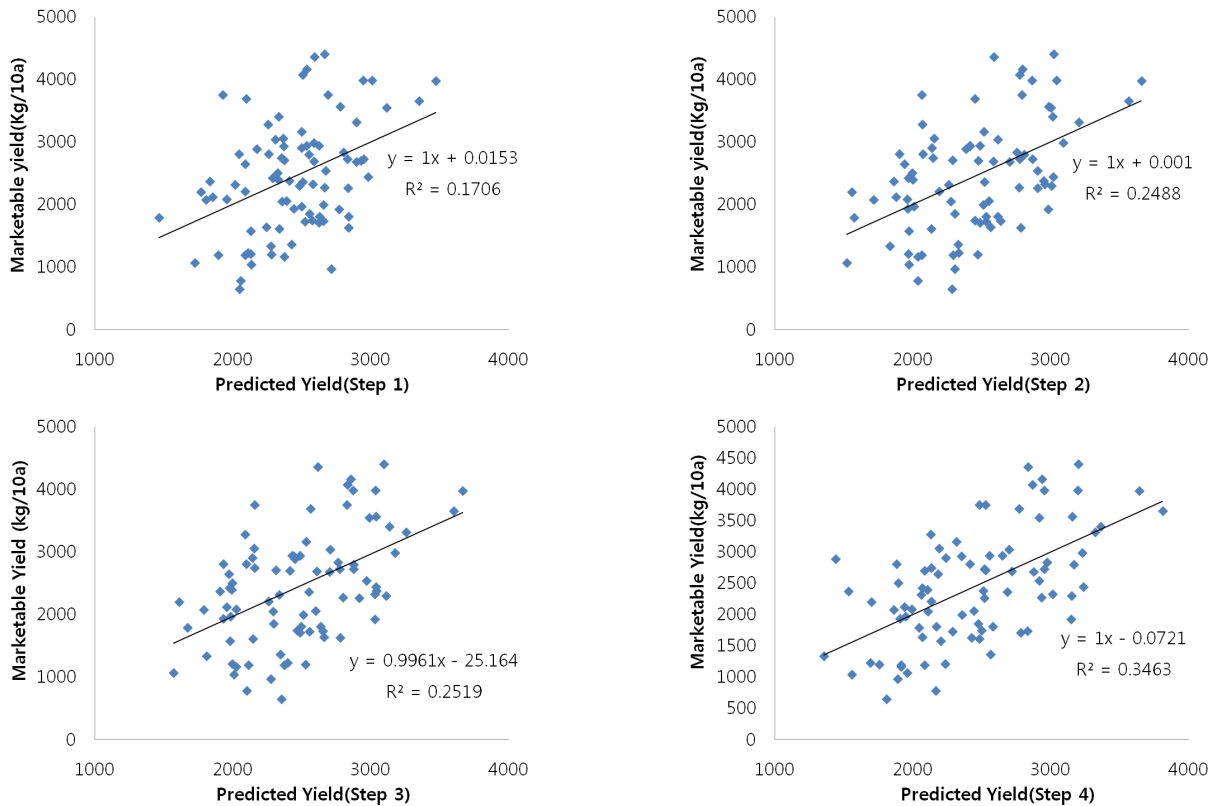


Fig. 3. Correlations between the real marketable yield and the predicted yield derived from the 4 steps of models.

었다. 또한 본 연구에서는 무피복 재배감자를 다루었으나 금후 피복재배 감자에 대한 연구가 필요할 것으로 보였다.

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 파종시기 재설정, 재배적지 탐색 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국책기술개발 과제의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인용문헌

Agblor, A. and M. G. Scanlon. 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, J. H., J. M. Lee, J. I. Yun, Y. I. Hahm, and K. Y. Shin. 1996a. Modeling of potato growth and yield based on meteorological information II. Statistical modeling. *RDA. J. Agri. Sci.* 38(2):345-352.
- Ahn, J. H., J. M. Lee, J. I. Yun, Y. I. Hahm, B. H. Kim, Y. H. Om, and J. K. Kim, 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 Ivimms 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., P. Hrstkova 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, J. C., Y. H. Yun, D. C. Chang, C. S. Park, and S. Y. Kim. 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, C. G., H. C. Ok, J. C. Jeong, O. S. Hur, J. H. Seo, K. H. Jeong, and S. J. Kim. 2012. Effects of altitude and Planting Time on Tuber Bulking of Potato. *Korean J. Crop Sci.* 57(4):418-423.
- Kim, S. I., K. Y. Shin, S. J. Hwang, Y. I. Hahm, C. S. Park, B. D. Kim, J. K. Kim, W. H. Ryu, K. S. Choi, B. H. Hahn, and K. S. Ho. 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, A. S., J. R. Kim, Y. S. Cho, Y. B. Kim, J. K. Ham, J. G. Sa, and J. C. Shin. 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, H. J., B. S. Kwon, and J. S. Shin. 2001. Relationship between meteorological elements and yield of potato in Goheung Area. *Korean J. Plant. Res* 14(2):133-138.
- Van Delden, A., J. J. Schroder, M. J. Kropff, C. Grashoff, and R. Booij. 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.