

배추 생산량 추정에 영향을 미치는 기상요소 연구

김용석 · 심교문[†] · 정명표 · 최인태
국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

Study on Meteorological Factors affecting Estimation of Chinese Cabbage Yield

Kim, Yong Seok, Shim, Kyo Moon[†], Jung, Myung Pyo and Choi, In Tae

Climate Change & Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, Wanju, Korea

ABSTRACT

A Chinese cabbage is one of important vegetables which accounts for more than 60 percent of leaf vegetable. However, cultivation area and yield of Chinese cabbage are steadily decreasing recently. Because meteorological changes destabilize the balance of Chinese cabbage, we need to study on meteorological factors affecting estimation of Chinese cabbage yield. So we conducted a panel analysis using mean temperature, maximum temperature, minimum temperature, precipitation and sunshine's duration from August to November for estimation of Chinese cabbage yield. As the results, we found that if the mean temperature of September increase by 1°C the amount of production of Chinese cabbage per unit area was increased by 348.6 kg/10a. We also found that the mean temperature of October increased by 174.8 kg/10a, that of November 148 kg/10a, the difference between the maximum temperature and the minimum temperature of October equals 443.3 kg/10a. However, we found that the difference between the maximum temperature and the minimum temperature of November decreased 274.1 kg/10a.

Key words: Panel Analysis, Meteorological Factor, Chinese Cabbage Yield.

1. 서 론

배추는 서늘한 기후를 좋아하는 호냉성 작물로 성장에 적합한 기온은 18~20°C이며, 동해를 받는 온도는 -3~-4°C로 알려져 있다(Park and Kim, 2014). 재배기간에 따라 봄 재배, 여름 재배, 가을 재배로 나뉘며, 가을 재배는 전국적으로 7~12월에 이루어지고 있다. 지역적으로 보면 남부지방은 8~9월초에 정식이 이루어지고 11~12월에 수확을 하며, 중부지방은 7월중~8월말에 정식이 이루어지고 9월말~11월초에 수확을 하며, 북부지방은 7월중~8월초에 정식이 이루어지고 9월초~10월 수확이 이루어진다. 배추의 경우는 재배기술이 전국적으로 평준화되어 있어, 인위적인 투입요소에 의한 생산량의 변화보다는 기온이나 강수량 등 자연적인 기상요인에 의한 생산량의 변화가 큰 것으로 보고되고 있다(Lee, 1996). 국가통계포털(<http://kosis.kr>)에서 제공한 통계 자료에 의하면,

재배면적은 2004년에 44,623 ha이었던 것이 2013년에는 28,301 ha로 최근 10년 간 37% 감소한 것으로 나타났고, 총생산량은 2004년에 2,865,485 ton이었던 것이 2013년에 2,120,393 ton으로 최근 10년 간 26% 감소한 것으로 나타났다. 이와 같이 배추의 재배면적이 지속적으로 감소하는 시점에서 급격한 기후변화가 발생한다면 수급불안정이 가속화되어 지난 2009년의 배추 파동과 같이 가격이 폭등되는 현상이 반복될 것이다. 특히, Lee(1996)에 의하면 채소 중에서도 배추와 무는 기타 채소와는 달리 생산량 변동에 따른 가격의 편차가 큰 채소로서 10~20%의 생산량 변동으로도 가격은 3배까지 차이가 날 수 있다고 하였다. 따라서 배추의 생산량 변동에 의한 수급불안정은 농사를 직접 짓는 농가뿐만 아니라, 일반 가계에 까지 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 그래서 이러한 문제들을 극복하기 위해서 Lee *et al.*(2013)의 연구에서와 같이 배추 생산량과 상관성이 높은 인자를 이용한 배추의 생산량을 추정

[†] Corresponding author : kmshim@korea.kr

Received October 20, 2015 / Revised October 30, 2015(1st), November 13, 2015(2nd) / Accepted November 30, 2015

하는 연구와 더불어 배추 생육과 밀접하게 관련이 있는 기상인자들의 미치는 영향을 분석하는 연구도 함께 이루어지고 있다. 배추 생산에 영향을 미치는 기상인자의 분석을 수행한 선행 연구들을 살펴보면 Lee(1996)는 생산함수를 이용하여 각 도별 월 강수량과 월 평균기온이 무와 배추 생산량에 미치는 영향을 연구하였고, Park and Park(2013)은 패널 분석을 이용하여 배추의 생육시기별 강수량과 생육적온 일수, 생육적온을 벗어난 기온 값, 태풍 횟수 등의 기상인자들이 배추의 생산량에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 Kim(2013)은 회귀분석을 이용하여 순별 기온과 강수량이 배추의 생산량에 미치는 영향을 분석하였다.

본 연구에서는 최근 10년간의 기상과 가을배추의 단위당 생산량(kg/10a)에 영향을 미치는 기상인자를 분석하기 위하여 기상인자로서 최고기온, 최저기온, 평균기온, 강수량, 일조시간, 최고기온과 최저기온의 차 등을 이용하였고, 다중회귀분석을 통해 유의한 기상인자만을 선택하여 변수 간의 중복성을 최소화 하였다. 그리고 지역별로 발생할 수 있는 품종이나 기상 외의 환경 차이 등과 시간의 흐름에 따른 재배기술 발달 차이 등을 반영하도록 패널 분석을 실시하였다.

2. 자료 및 방법

2.1 배추의 생산량과 기상자료 수집

가을배추의 단위당 생산량 변화에 영향을 미치는 기상요소를 파악하기 위하여 수집한 기상인자는 대부분 지역의 배추 생육기간을 고려하여 2004년부터 2013년까지 8~11월의 월 평균 기온(T_{avg}), 월최고 기온(T_{max}), 월최저 기온(T_{min}), 월최고기온과 최저기온의 차(T_{diff}), 월강수량(Pre), 월일조 시간(Sun)을 설명변수로 설정하였다. 국가통계포털(<http://kosis.kr/>)에서 가을배추의 단위당 생산량을 수집하였으며, 국가기후데이터

센터(<http://sts.kma.go.kr/>)에서 평균기온, 최고기온, 최저기온, 강수량, 일조시간의 기상요소에 대한 자료를 수집하였다. 기상자료는 경기도 7지역, 강원도 11지역, 충청북도 5지역, 충청남도 5지역, 전라북도 7지역, 전라남도 8지역, 경상북도 11지역, 경상남도 9지역, 제주도 4지역의 기상 값을 평균한 것을 각 도의 대표 값으로 설정하였다.

수집된 기상자료의 특징을 살펴보면 8월 평균기온이 24.6~26.4°C이었고, 9월은 17.8~24.8°C, 10월 평균기온은 11.8~20.1°C, 11월은 4.4~16.3°C로 나타났으며, 강수량은 8월에 68.9~613.0 mm, 9월에 16.9~638.6 mm, 10월에 2.7~148.6 mm, 11월에 0.2~321.3 mm로 나타났다(Table 1).

2.2 다중회귀분석

다중회귀분석은 두 개 이상의 설명변수로 회귀분석을 실시하는 것이며, 설명변수를 선정하기 위한 방법 중 단계선정(Stepwise) 방법은 종속변수와 가장 상관성이 큰 변수가 우선 선정되며, 제외된 변수들 가운데 편상관계수가 가장 큰 변수를 순서대로 선정하는 방법이다(Lee and Roh, 2012).

2.3 패널 분석

패널 분석은 각 효과를 고정된 모수로 가정하는 고정효과 모형과 확률변수로 가정하는 확률효과 모형으로 나뉘는데, 각 모형은 여러 검증을 통해 개체 및 시간에 따른 효과의 반영 여부를 결정하게 된다. 고정효과 모형은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{it} = a + \beta x_{it} + \epsilon_{it} \quad (1a)$$

$$\epsilon_{it} = \mu_i + e_{it} \quad (1b)$$

Table 1. Monthly averaged meteorological factors

	Meteorological factor				
	(a) T_{avg} (°C)	(b) T_{max} (°C)	(c) T_{min} (°C)	(d) Pre (mm)	(e) Sun (hour)
Aug.	24.6~26.4	27.7~33.0	18.8~25.8	68.9~613.0	90.6~273.2
Sep.	17.8~24.8	23.5~28.2	12.9~22.4	16.9~638.6	76.5~213.3
Oct.	11.8~20.1	18.3~24.5	6.0~16.8	2.7~148.6	150.9~253.1
Nov.	4.4~16.3	9.5~19.4	-1.2~13.7	0.2~321.3	101.6~212.9

(a) T_{avg} : Mean air temperature, (b) T_{max} : Maximum air temperature, (c) T_{min} : Minimum air temperature, (d) Pre: Precipitation, (e) Sun: Duration of sunshine.

여기서, 오차항 ϵ_{it} 은 시간에 따라 변하지 않는 개체효과를 나타내는 μ 와 개체와 시간에 따라 변하는 오차인 e_{it} 로 나뉘며, μ 는 추정해야 하는 모수(Parameter)로 간주한다.

개체 고정효과 모형에서는 x_{it} 와 μ 사이에 상관성이 존재하여도 일치추정량을 구할 수 있다.

$$y_{it} = \sum_{i=1}^n a_i + \beta x_{it} + e_{it} \quad (a_i = a + \mu) \quad (2)$$

고정효과 모형을 식 (2)와 같이 개체효과를 더미변수로 나타내는 선형 회귀모형(LSDV: Least Square Dummy Variables)로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{it} = Y_i + e_{it} \quad (3)$$

또한, 식 (3)에서와 같이 개체효과를 나타내는 μ 를 개체에 따라 변하지 않는 시간효과 Y_i 로 대체하면 시간효과를 모수로 추정하는 시간 고정효과 모형으로 나타낼 수 있다(Min and Choi, 2012; Lee and Roh, 2012).

확률 효과 모형은 x_{it} 와 μ 사이에 상관성을 갖지 않고, 오차항은 독립성과 등분산성의 성질을 가진다고 가정하며, GLS(Generalized Least Square) 추정법을 사용한다.

사용할 모형을 결정하기 위해서는 여러 단계의 검증과정을 거친다. Chow 검정(F 검정)을 통해서 개체효과와 시간효과가 포함된 고정효과 모형과 각 효과가 포함되지 않은 합동 모형 간의 적합성을 비교하며, Breusch-Pagan LM 검정을 통해서 개체효과와 시간효과와 분산이 0인지에 대한 검정으로 각 효과의 확률효과가 유의한지 판단하는 검정 방법이다. Hausman 검정은 개체효과와 시간효과가 고정효과인지, 확률효과인지 검정하는 방법으로 개체효과와 시간효과가 설명변수와 상관성이 있는지, 독립적인지 검정한다. 일반적으로 확률효과 모형이 자유도를 적게 사용하기 때문에 개체효과와 시간효과가 설명변수와 상관성이 없다면 더 일치성이 높고 효율적이라고 가정한다(Lee and Roh, 2012).

3. 결과 및 결론

가을배추의 단위당 생산량에 영향을 미치는 기상요인을 설정하기 위해 먼저 다중회귀분석을 실시하였다. 단계선정(Stepwise) 방법을 통하여 가을배추의 단위당 생산량을 종속변수로 하는 다중회귀식을 유도한 결과(Table 2)와 같이 5개의 설명변수들이 선택되었으며, 11월 평균기온(T_{avg11})이 1차로 선택되었으며, 10월 최고기온과 최저기온의 차(T_{diff10})와 10월 평

균기온(T_{avg10}), 9월 평균기온(T_{avg9}), 11월 최고기온과 최저기온의 차(T_{diff11})가 순차적으로 선택되었다. 가을배추의 단위당 생산량에 대한 11월 평균기온의 설명력은 37.8%이며, 10월의 최고기온과 최저기온의 차의 설명력은 13%로 나타났다. 5개의 설명변수를 모두 선택하였을 때 총 설명력은 66.2%인 것으로 나타났으며, 모든 설명변수의 유의성이 인정되었다($p < 0.05$). 따라서 기상요소 중 가을배추 단위당 생산량에 영향을 미치는 인자는 온도와 관련된 변수로 나타났고, 강수량과 일조시간과 관련된 변수들은 상관성이 다소 낮은 것으로 나타났다.

Table 2에서 Durbin-watson 결과, 1.49로 자기상관성이 낮다고 할 수 있으며, Table 3에서 변수 간 다중공선성이 없는 것으로 나타났다($VIF < 5$). 또한 Table 4에서 F-검정결과, 유의수준 0.00으로 추정 모형의 적합성이 인정되었다.

여기서, 일반적으로 다중회귀분석모형을 합동 모형(Pooled OLS: Pooled Ordinary Least Square)이라 한다.

Table 5는 패널 분석 모형 결과를 비교한 표이며, Table 5(a)에서 개체 고정효과 모형의 결과가 합동 모형보다 R^2 가 0.66에서 0.75로 증가하였지만, 설명변수 중 10월 평균기온이 5%에서 유의하지 하지 않게 나타났다.

Chow 검정에 결과 p -value가 0.00로 낮게 나왔기 때문에, 귀무가설이 기각되어 개체 고정효과가 존재한다고 할 수 있다. 개체 확률효과 모형의 결과에서는 모든 설명변수가 5% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났고(Table 5(b)), Breusch-Pagan LM 검정결과, 낮은 p -value(=0.00)가 나타났기 때문에 개체 확률효과가 존재한다고 할 수 있다. 그렇기 때문에 개체

Table 2. Selection of explanatory variables by stepwise method

Model	R^2	Adjust R^2	R^2 variation	Significance level	Durbin-Watson
1	0.39	0.37	0.38	0.00	-
2	0.59	0.50	0.13	0.00	-
3	0.56	0.55	0.06	0.00	-
4	0.59	0.58	0.03	0.01	-
5	0.66	0.64	0.07	0.00	1.49

Model 1. Explanatory variable: (constant), T_{avg11} .
 Model 2. Explanatory variable: (constant), T_{avg11} , T_{diff10} .
 Model 3. Explanatory variable: (constant), T_{avg11} , T_{diff10} , T_{avg10} .
 Model 4. Explanatory variable: (constant), T_{avg11} , T_{diff10} , T_{avg10} , T_{avg9} .
 Model 5. Explanatory variable: (constant), T_{avg11} , T_{diff10} , T_{avg10} , T_{avg9} , T_{diff11} .

Table 3. Coefficient of multiple regression model and VIF of coefficient

Variable	Non-standard coefficient	VIF
Constant	-5,172.57**	
T _{avg9}	410.06**	3.18
T _{avg10}	179.41**	2.71
T _{avg11}	142.09*	2.64
T _{diff10}	507.54**	2.88
T _{diff11}	-275.01**	2.52

VIF: variance inflation factor.

* p -value<0.05, ** p -value<0.01.

고정효과와 확률효과 중 선택을 위한 Hausman 검정을 실시하였다. 그 결과, 높은 p -value(=0.57)가 나왔기 때문에 설명변수와 개체효과 사이의 상관성이 없다는 귀무가설을 택하게 되어 개체 확률효과 모형이 의미 있는 모형으로 나타났다.

시간 고정효과 모형의 경우, 설명변수 중 10월의 최고기온과 최저기온 차만 유의한 것으로 나타났고(Table 5(c)), Chow 검정에서는 p -value(=0.06)로 5% 유의수준에서 귀무가설이 기각이 되지 못하기 때문에, 모든 시간고정효과들이 0이라는 귀무가설을 받아들여지게 된다. 그리고 시간 확률효과 모형의 경우, 10월의 최고기온과 최저기온 차만을 제외하고는 모든 설명변수가 5% 유의수준에 유의한 것으로 나타났지만(Table 5(d)), Breusch-Pagan LM 검증 결과, p -value(=0.16)로 유의수준 0.05보다 크기 때문에 시간 확률효과가 선택되지 못한 것으로 나타났다. 그러므로 시간효과 모형은 고정효과와 확률효과가 모두 나타나지 않는 것으로 나타났다.

모든 검정 결과들을 고려하였을 때 개체 확률효과 모형이 가장 적합할 것으로 예상된다. 선정된 개체 확률모형(Table 5(b))의 설명변수에서 9월 평균기온이 1°C 올라가면 가을배추의 단위당 생산량은 348.6 kg/10a 증가하는 것으로 나타났으며, 10월 평균기온은 174.8 kg/10a, 11월 평균기온은 148.7 kg/10a, 10월의 최고기온과 최저기온의 차는 443.3 kg/10a 로 각각 증

Table 5. Comparison of panel models

	(a) FGEM	(b) RGEM	(c) FTEM	(d) TREM
T _{avg9}	324.87*	348.57**	437.34*	411.98**
T _{avg10}	174.05	174.82*	387.62	199.54*
T _{avg11}	162.94*	148.66**	-37.70	126.19
T _{diff10}	303.58*	443.32**	409.61**	483.83**
T _{diff11}	-328.92**	-274.14**	-134.89	-233.30**
Constant	-795.82	-3,182.01	-7,753.81**	-5,550.06**

(a) FGEM: Fixed group effect model, (b) RGEM: Random group effect model, (c) FTEM: Fixed time effect model, (d) TREM: Random time effect model.

* p -value<0.05, ** p -value<0.01.

가하는 것으로 나타났다. 그렇지만 11월의 최고기온과 최저기온의 차는 274.1 kg/10a 감소하는 것으로 나타났다.

이전의 선행 연구결과들을 보면 Lee(1996)는 9월과 11월의 기온 상승이 가을배추의 단위당 생산량(kg/10a)을 증가시키는 요인으로 작용하는데, 그 이유로 11월의 기온 상승효과는 이 시기의 동해나 서리피해를 줄일 수 있기 때문이라고 설명하였고, 강수량의 경우 10월 이전의 강수량은 대체로 가을배추의 단위당 생산량을 감소시키고, 10월 이후의 강수량은 증가시킨다고 하였다. Cho *et al.*(2013)은 8~11월 최고기온과 강수량을 이용하여 가을배추의 단위당 생산량을 추정한 결과, 8~11월 최고기온 모두 단위당 생산량을 감소시킨다고 하였으며, 강수량의 경우 9~10월의 강수량은 단위당 생산량을 감소시키지만, 11월 강수량은 증가시킨다고 보고한 바 있다.

선행 연구결과와 본 연구를 종합해 보면, 평균기온의 증가는 대체로 가을배추의 단위당 생산량을 증가시키는 것으로 나타났고, 본 연구 사용된 변수 중 10월의 최고기온과 최저기온의 차이는 가을배추의 단위당 생산량을 증가시키며, 11월의 최고기온과 최저기온의 차이는 단위당 생산량을 감소시키는 것으로 나타났다. 그렇지만, 강수량의 경우 선행 연구결과와 달리 본 연구에서는 영향을 미치지 않는 것으로 나타나, 추가 연구가 필요할 것으로 예상된다.

Table 4. F-test for significance of multiple regression model

	Sum of squares	Df	Mean square	F	Significance level
Regression model	100,434,828.90	5	20,086,965.79	32.98	0.00
Residuals	51,168,718.05	84	609,151.41		
Total	151,603,547.00	89			

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구 개발사업(과제번호: PJ00987004)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Berrington A, Smith P, Sturgis P. 2006. An overview of methods for the analysis of panel data. ESRC National Centre for Research Methods Briefing Paper.
- Cho J, Suh J, Jin K, Kang J, Hong C, Lim W, Lee S. 2013. The impacts of high temperature and heavy precipitation amount on winter Chinese cabbage yields. *Journal of Environmental Science International* 22(2):235-242.
- Kim I, Park K, Kim B. 2013. Analysis of meteorological factors on yield of Chinese cabbage and radish in winter cropping system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 15(2):59-66.
- Korean Statistical Information Service. 2014. Statistical database. <http://kosis.kr/>
- Lee H, Roh S. 2012. *Advanced statistic analytics*. Bobmun-sa. Korea.
- Lee J. 1996. An study of decision-making factors of production for radish and Chinese cabbage. Report of Korea Rural Economic Institute. Korea.
- Lee S, Choi J, Nam C, Jang Y, Lee J, Lee H, Park S, Yoe K, Uhm Y. 2013. Study for the development of radish and Chinese cabbage growth model responding to abnormal weather. Report of National Institute of Horticultural Herbal Science. Korea.
- Min I, Choi P. 2012. STATA advanced panel data analysis. Jiphilmedia. Korea.
- National Climate Data Service System. 2012. Climate data. <http://sts.kma.go.kr/>
- Park J, Park Y. 2013. Enhancement way of Chinese cabbage and radish yield prediction model. Report of Korea Rural Economic Institute. Korea.
- Park S, Kim J. 2014. Agriculture technique guide 128: Chinese cabbage. Rural Development Administration. Korea.