장려상

기후변화가 마늘과 양파 주산지의 생산량에 미치는 영향 분석

강혜정

기후변화가 마늘과 양파 주산지의 생산량에 미치는 영향 분석

공간적 의존성을 고려한 공간패널모형을 이용하여

강혜정*

Key words

마늘 단수(garlic yield), 양파 단수(onion yield), 기후통계(climate statistics), 공간의존성(spatial dependence), 공간패널모형(spatial panel model)

ABSTRACT

This study analyzed the effect of climatic factors on the yield of garlic and onion, taking into account spatial dependence between regions, using statistical data by the main production area of garlic and onion. The spatial panel model, which is a panel model considering spatial dependence, was used.

As a result of the analysis, it was found that the average minimum temperature and the amount of sunlight had a positive effect on the yield change of garlic and onion. Other things being equal, if the average minimum temperature rises and the high temperature phenomenon of increasing the amount of sunlight continues, the yield of garlic and onions is expected to increase.

In addition, the production of garlic and onion in the main production area has a statistically significant effect on the production in the adjacent area, so it can be seen that there is a spatial dependence on the formation of the main garlic and onion production area.

차례

1. 서론
2. 분석 자료
3. 분석 방법
4. 분석 결과
5. 요약 및 결론

* 전남대학교 농업경제학과 교수

1. 서론

마늘과 양파는 우리나라의 대표적인 양념채소류로서 한국인 식생활의 필수 농산물이다. 2020년 기준 마늘과 양파 재배면적은 각각 25,372ha와 14,673ha로, 조미채소류 면적의 각각 36%와 21%를 차지하고 있다.

특히 마늘과 양파는 특정 지역을 중심으로 주산지가 형성되어 있다. 2020년 마늘 생산량은 363,432톤인데, 경남, 경북, 전남, 충남의 생산량이 전체의 79.4%를 차지하고 있다. 경남이 26.8%로 가장 많고, 경북 22.8%, 전남 19.4%, 충남 10.3% 등의 순이다. 2020년 양파 생산량은 1,168,227톤이며, 전남이 전체 생산량의 38.8%로 가장 많고, 경남이 21.2%, 경북이 16.4% 등을 차지하고 있다.

주산지는 타 지역보다 특정 작물의 생산량이 대량으로 집중되어 있고, 어떤 통합된 체제에 의해 생산되어 타 지역보다 생산력이 높고, 시장의 수요에 대응할 능력이 있는 생산지역을 의미한다. 주산지는 생산지역의 자연적 요인뿐만 아니라 경제적 요인에 의해 형성되었다(박현태 외, 2002).

그러나 자연적·사회적 여건변화에 따라 주산지는 변화할 수 있다. 특히 최근 기후변화와 관련한 주산지 이동현상은 미래 농업생산의 중요한 논제이다. 지구 온난화로 주요 농산물의 주산지가 남부지방에서 충북, 강원지역 등으로 북상하고 있다. 사과, 복숭아 등 주요 과수 작물의 주산지 이동이 관찰되고 있다.[1] 마늘과 양파의 경우도 향후 기후변화에 따라 한지형 마늘은 재배적지가 점차 사라지고, 난지형 마늘 재배적지는 북상하여 적지 면적은 증가할 것이며, 양파는 고온조건에서 생산량이 증가할 것으로 예측되었다(환경부, 2020).[2]

조미채소류 마늘과 양파는 아직은 과거의 주산지가 유지되고 있으나, 기후변화의 영향이 점차 나타나고 있다. 2018년에는 5월의 잦은 비와 고온현상 등 이상기후로 양파와 마늘 생산량이 급감했던 반면, 2019년에는 최적의 기상조건으로 중만생종 양파·마늘 생산량이 전망치를 크게 웃돌아 공급과잉으로 양파와 마늘 시장가격이 폭락한 바 있다. 이처럼 마늘과 양파는

1) 통계청(2018), 「기후변화에 따른 주요 농작물 주산지 이동현황」
2) 환경부(2020), 「한국 기후변화 평가보고서 2020 – 기후변화 영향 및 적응」

기상여건 변화에 따라 생산량 및 가격 변동이 심하여 정부의 수급안정 대책이 지속적으로 시행되고 있다.

마늘과 양파의 효과적인 수급안정화 정책을 위해서는 정확한 생산량 예측이 선결되어야 한다. 생산량 예측모형을 개발하기 전에 우선 마늘과 양파의 단수에 영향을 미치는 요인, 특히 기상요인의 영향에 대해서 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 마늘과 양파의 주산지 시군의 연도별 단위면적(10a)당 생산량과 기상자료를 이용하여, 기상변수들이 마늘과 양파의 단수에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 양파는 주로 노지에서 재배되는 특성상 기온이나 강수량, 일조량 등 기상정보에 의한 영향이 다른 품목보다 크기 때문에 본 연구의 결과는 향후 기후변화에 따른 생산 예측에 시사점을 줄 것이다.

마늘과 양파와 같이 주산지를 중심으로 재배지역이 밀집되어 있는 품목의 경우, 인접해 있는 지역의 생산량에 의해 영향을 받을 가능성이 높다. Tobler(1970)의 지리학 제1법칙은 모든 것은 그 밖의 다른 모든 것과 관련되어 있지만, 서로 가까이 있는 것들이 멀리 있는 것들보다는 더 높은 관련성을 보인다는 것이다. 이러한 현상은 공간적 의존성 또는 자기상관(spatial autocorrelation, spatial dependence)이라고 한다. 즉, 공간상의 한 위치에서 발생하는 사건과 그 주변 지역에서 발생하는 사건과는 높은 상관관계를 보이고 있는데, 이는 공간상에 인접함으로써 나타나는 파급효과로 볼 수 있다.

공간데이터가 갖고 있는 특성으로 인해 공간적 의존성이 나타나는 경우 통상적인 회귀모델(OLS)을 적용하면 편의가 발생하고 오류를 가져오게 된다. 따라서 본 논문은 마늘과 양파 주산지 지역 간 공간효과를 통제하기 위해 공간계량경제모형을 이용한다.[3] 특히 본 연구는 주산지 시군별 시계열자료로 구축된 패널자료를 이용하여, 지역의 고유한 특성을 통제하면서 공간효과를 동시에 고려할 수 있는 공간패널모형을 적용한다는 점에서 기존 선행연구와 차별성이 있다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제2장과 제3장에서 이용한 자료와 분석방법에 대해 설명하고, 제4장에서 분석결과를 제시하고, 제5장은 요약 및 결론을 내린다.

3) 공간데이터가 갖고 있는 공간적 종속성과 공간적 이질성 문제를 해결하기 위해 사용하고 있는 모형을 일컬어 공간계량경제모형(spatial econometrics models)이라고 한다. 공간계량모델은 어떤 특정한 현상의 공간분포와 그러한 공간분포 패턴에 영향을 미치는 요인들을 분석하는데 있어서 공간데이터가 갖는 공간효과를 통제함으로서 모형 추정 결과에 대한 신뢰도를 높이고자하는 기법이다(이희연·노승철, 2013).

2. 분석 자료

본 논문이 이용한 자료는 2006~2015년 기간의 마늘과 양파의 주산지 시군(마늘 15개 시군, 양파 17개 시군)의 단수(kg/10a)와 기후통계 자료이다.

마늘의 주산지 시군은 충남 태안, 충남 서천, 전남 해남, 전남 신안, 전남 무안, 전남 함평, 전남 고흥, 경북 의성, 경북 영천, 경북 군위, 경북 합천, 경남 창녕, 경남 남해, 제주 제주시, 제주 서귀포시이다. 양파의 주산지 시군은 전남 무안, 전남 신안, 전남 함평, 전남 해남, 전남 고흥, 경북 의성, 경북 군위, 경북 영천, 경북 청도, 경북 합천, 경남 함양, 경남 창녕, 제주 제주시이다. 주산지 시군의 10a당 생산량 자료는 통계청의 「농작물생산조사」에서 2006~2015년까지 조사·발표하였다. 2015년 이후에는 시도별 통계자료만 발표하고 있어, 최근 연도의 통계자료를 이용하는데 한계가 있다.

2006~2015년 기간 동안 마늘과 양파의 주산지 시군별 10a당 생산량 통계는 각각 〈표 1〉, 〈표 2〉와 같다. 두 품목 모두 연도별 단수의 변동성이 크며 지역마다 차이가 있으나, 대체로 단위면적당 생산량이 증가 추세를 보인다. 마늘과 양파의 주산지 시군이 약간 달라서, 본 논문은 두 품목의 모형을 구분하여 추정한다.

표 1. 마늘 주산지 시군별 10a당 생산량

(단위: kg)

도	시군	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
충남	태안	1,217	1,275	1,471	1,648	1,421	1,355	1,316	1,791	1,697	1,537
충남	서천	832	986	1,084	1,405	1,120	1,048	1,308	1,431	1,464	1,330
전남	무안	1,029	1,198	1,190	1,355	989	969	1,092	1,117	1,179	1,234
전남	함평	985	1,126	986	1,200	1,141	873	1,038	1,125	1,174	1,074
전남	해남	1,073	1,234	1,223	1,340	1,127	1,138	1,024	1,210	1,403	1,110
전남	신안	1,181	1,195	1,236	1,306	1,102	1,148	1,014	1,155	1,252	1,240
전남	고흥	1,164	1,312	1,368	1,356	1,157	1,253	1,229	1,418	1,361	1,393
경북	합천	1,345	1,371	1,406	1,503	1,536	1,565	1,538	1,490	1,582	1,358
경북	의성	1,049	1,270	1,300	1,122	1,063	1,023	1,138	1,206	1,259	1,103
경북	영천	1,787	1,965	1,986	2,163	2,015	1,964	2,104	2,166	2,183	1,977
경북	군위	1,020	1,034	1,153	1,096	1,100	1,065	1,401	1,349	1,274	1,188

도	시군	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
경남	창녕	1,463	1,662	1,533	1,962	1,690	1,631	1,636	1,964	1,778	1,580
경남	남해	1,222	1,442	1,378	1,325	1,405	1,415	1,306	1,499	1,424	1,323
제주	서귀포	1,486	1,759	1,838	1,670	1,513	1,736	1,425	1,786	1,605	1,526
제주	제주	1,345	1,439	1,517	1,526	1,094	1,400	1,218	1,447	1,396	1,369

자료: 통계청, 「농작물생산조사」

표 2. 양파 주산지 시군별 10a당 생산량

(단위: kg)

도	시군	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
전남	무안	6,017	6,051	5,713	5,500	6,977	6,787	7,949	7,090	7,646	5,759
전남	신안	5,978	6,152	5,785	5,570	6,669	7,047	8,284	6,633	6,965	5,727
전남	함평	5,562	6,975	6,283	5,567	5,926	5,788	6,817	5,936	6,521	5,978
전남	해남	4,909	5,690	5,148	4,182	5,796	6,074	7,299	6,815	6,224	5,551
전남	고흥	6,808	6,638	5,862	5,419	6,964	6,509	6,542	6,168	6,247	5,016
경북	의성	6,711	7,086	7,716	5,988	7,827	7,264	8,548	6,882	7,255	6,042
경북	군위	6,645	7,577	8,317	7,588	8,611	7,911	7,982	6,915	6,860	6,577
경북	영천	5,685	7,519	8,321	6,012	7,060	6,941	8,581	6,701	7,014	5,787
경북	청도	6,552	7,523	7,975	6,992	7,608	7,492	8,727	7,560	8,447	7,979
경북	합천	5,270	6,075	7,363	5,709	7,381	7,529	6,487	7,416	6,824	6,306
경남	함양	5,329	6,894	7,585	7,410	7,350	6,094	6,744	6,657	6,837	6,298
경남	창녕	5,921	7,647	7,448	6,250	7,484	6,038	6,395	6,539	6,060	6,059
제주	제주	6,412	7,213	6,580	6,338	7,032	5,078	5,790	6,147	6,231	5,918

자료: 통계청, 「농작물생산조사」

기상변수는 기상청 기상자료개방포털(https://data.kma.go.kr)에서 발표하는 2006~2015년 기간의 지역별 기온, 강수량, 일조일사 등의 통계자료를 이용하였다. 양파와 마늘의 수확시기가 5월~6월인 점을 고려하여 1월~4월은 해당연도를, 7월~12월까지는 전년 기상정보를 적용하여, 각 변수의 지역별 연도별 평균값을 구하였다. 또한 기상관측 자료가 없는 지역의 경우에는 가장 인접한 지역의 기상자료로 대체하여 사용하였다. 마늘과 양파의 생육에 영향을 미치는 기상요인으로 누적강수량(mm), 평균강수량(mm), 평균기온(℃), 평균최고기온(℃), 평균최저기온(℃), 평균습도(%rh), 일조율(%)[4]의 총 7가지 변수를 검토하였다.

4) 일조율은 태양이 구름이나 안개에 차단되지 않고 지표를 쬐는 시간인 일조시간을, 일출에서 일몰까지의 시간인 가조시간으로 나눈 후, 그 값을 퍼센트 비율(%)로 나타낸 것이다. 즉, 일조시간/가조시간×100(%)으로 계산된다.

〈표 3〉은 기상변수들 간의 상관관계를 나타낸다. 평균기온과 다른 두 기온 관련 변수간의 상관율은 50% 정도로 높았으며, 누적강수량과의 상관율도 높았다. 평균강수량과 평균습도는 각각 평균최저기온과 평균최고기온과의 상관율이 50% 이상을 상회하는 것으로 나타났다. 따라서 모형 추정 시 설명변수 간 높은 상관관계로 인해 발생하는 다중공선성(Multicollinearity) 문제를 방지하기 위해서, 모형에 사용할 기상변수는 누적강수량, 평균최고기온, 평균최저기온, 일조율로 설정하였다. 특히 지구온난화 현상으로 인한 마늘과 양파 생육변화를 좀 더 살펴보기 위해서, 기온 관련 세분화된 변수로 평균최고기온, 평균최저기온을 포함시켰다.

표 3. 기상변수들 간의 상관관계

구분	누적 강수량	평균 강수량	평균기온	평균 최고기온	평균 최저기온	평균 습도	일조율
누적강수량	1						
평균강수량	0.9991 (0.0000)	1					
평균기온	0.4968 (0.0000)	0.4946 (0.0000)	1				
평균최고기온	0.1256 (0.1257)	0.1271 (0.1212)	0.4773 (0.0000)	1			
평균최저기온	0.4971 (0.0000)	0.494 (0.0000)	0.906 (0.0000)	0.0686 (0.4045)	1		
평균습도	-0.0779 (0.3435)	-0.0827 (0.3146)	-0.1257 (0.1254)	-0.6257 (0.0000)	0.1611 (0.0489)	1	
일조율	-0.1864 (0.0224)	-0.1843 (0.0239)	-0.2559 (0.0016)	0.1157 (0.1585)	-0.3404 (0.0000)	0.0027 (0.9738)	1

주: ( )은 p-value

이와 같이 구축된 분석 자료는 마늘과 양파의 10년(2006~2015년) 동안의 주산지 시군단위 패널자료(panel datat)이다. 모형에 포함될 주요 변수들에 대한 기초통계량을 살펴보면, 〈표 4〉에서 마늘의 평균 단수는 1,363kg/10a이고, 표준편차는 지역 간(between) 차이가 시점 간(within) 차이보다 2배 정도 큰 것으로 나타났다. 누적강수량은 1,335mm이고, 지역 간 차이와 지역의 시점 간 차이의 정도가 유사하다. 평균최고기온과 평균최저기온은 각각

18.8℃와 9.2℃이고, 지역 간 차이가 지역의 시점 간 차이보다는 큰 특징을 보인다. 평균 일조율은 47.3%으로 지역 간 차이와 시점 간 차이가 유사하다.

〈표 5〉에서 양파의 평균 단수는 6,665kg/10a이고, 표준편차는 지역 간(between) 차이가 시점 간(within) 차이보다 2배 정도 큰 것으로 나타났다. 누적강수량은 1,239mm이고, 평균최고기온과 평균최저기온은 각각 19.1℃과 8.7℃이고, 지역 간 차이가 지역의 시점 간 차이보다는 크게 나타났다. 평균 일조율은 46.9%이다.

표 4. 마늘 모형: 주요 변수의 기초 통계량

변수		평균	표준편차	최소	최대
마늘 단수(kg/10a)	overall	1,363.2	283.5	832.0	2,183.0
	between		262.1	1,072.2	2,031.0
	within		125.7	994.4	1,681.4
누적강수량(mm)	overall	1,335.2	415.5	596.5	2,700.8
	between		303.3	978.9	2,087.5
	within		293.6	334.4	2,185.2
평균최고기온(℃)	overall	18.8	1.2	15.7	21.2
	between		1.2	16.4	20.5
	within		0.4	17.9	19.8
평균최저기온(℃)	overall	9.2	2.3	4.8	14.3
	between		2.3	5.4	14.1
	within		0.4	8.4	11.5
일조율(%)	overall	47.3	4.0	37.0	57.2
	between		2.8	38.7	50.5
	within		3.0	41.1	55.9

표 5. 양파 모형: 주요 변수의 기초 통계량

변수		평균	표준편차	최소	최대
양파 단수(kg/10a)	overall	6,664.8	886.4	4,182.0	8,727.0
	between		542.9	5,768.8	7,685.5
	within		715.2	5,078.0	8,467.8
누적강수량(mm)	overall	1,239.3	300.0	596.5	2,248.3
	between		170.1	978.9	1,574.3
	within		251.2	524.1	1,913.3

변수		평균	표준편차	최소	최대
평균최고기온(℃)	overall	19.1	1.1	15.7	21.2
	between		1.1	16.4	20.4
	within		0.4	18.1	19.9
평균최저기온(℃)	overall	8.7	2.0	4.8	14.1
	between		2.0	5.4	13.4
	within		0.5	7.9	11.0
일조율	overall	46.9	3.9	37.0	57.2
	between		2.8	38.7	48.6
	within		2.8	40.7	55.6

패널데이터 분석을 실시하기 전에 패널데이터 자체의 안정성(stationarity) 여부를 확인하기 위하여 패널 단위근 검정(panel unit root test)검정을 실시하였다. 가장 많이 사용되는 패널 단위근 검정방법으로 Im-Pesaran-Shin의 W-test(이하 IPS 검정), ADF-Fisher의 Chi-squre test(이하 ADF-Fisher 검정), Levin, Ln and Chu의 t-ratio test(이하 LLC 검정) 등이 있다. 이 세 가지 검정방법을 각 모형의 주요 변수들을 대상으로 적용한 결과는 〈표 6〉, 〈표 7〉과 같다.

모형 분석에서 모든 변수들은 자연로그를 취하므로, 자연로그를 취한 값으로 패널단위근 검정을 하였다. 전술한 세 가지 방법을 적용하여 패널단위근 검정결과, 최소한 한 방법 이상에서 검정의 귀무가설이 통계적으로 유의하게 기각되어, 모든 변수들은 추세가 없는 안정적인 시계열임을 알 수 있다.

표 6. 마늘 모형: 패널 단위근 검정결과

구분	마늘 단수	누적 강수량	평균 최고기온	평균 최저기온	평균 일조율
IPS 검정	-1.626^{***}	-2.109^{***}	-0.540	-6.193^{***}	0.125
LLC 검정	-4.427^{***}	-4.329^{***}	-0.617	-19.863^{***}	-2.054
ADF-Fisher 검정	102.884^{***}	114.790^{***}	30.001^{*}	40.756^{***}	80.684^{***}

주: *** p〈0.01, ** p〈0.05, * p〈0.1

표 7. 양파 모형: 패널 단위근 검정결과

구분	양파 단수	누적 강수량	평균 최고기온	평균 최저기온	평균 일조율
IPS 검정	-1.508***	-3.049***	-1.310***	-5.187***	-0.700
LLC 검정	-4.116***	-5.250***	-2.923***	-13.990***	-2.386**
ADF-Fisher 검정	87.999***	102.034***	27.588	32.053	79.272***

주: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

3. 분석 방법

본 논문은 공간패널모형(Spatial Panel Model)을 이용하여, 지역 간 공간적 의존성을 고려하면서 기후요인이 마늘과 양파의 단수에 미치는 영향을 분석한다.

공간패널모형은 통상적인 단순 패널모형이 간과한 공간적 종속성을 고려할 수 있으며, 패널통계에 내재한 시공간적 종속성을 동시에 고려하여 통계적 추정의 오차를 줄일 수 있다. 특히, 이러한 공간적 종속성의 영향력은 지역단위 연구에서 반드시 고려해야 할 요소이다(Belotti et al., 2016).

본 연구에서는 정적 공간패널모형인 공간자기회귀모형(Spatial Auto-Regressive, SAR), 공간더빈모형(Spatial Durbin Model, SDM), 공간오차모형(Spatial Error Model, SEM)을 적용하고, 각 모형의 추정결과를 비교한다(김봉태 외, 2015).

가) 공간자기회귀모형(Spatial Auto-Regressive, SAR)

SAR 모형은 공간적 종속성이 종속변수에 내재되어 있다고 전제하고, 이를 공간자기회귀계수(ρ)를 통하여 모형에 반영한다. 즉, 특정시점(t) 및 특정지역(i)의 종속변수의 관측값(Y_{it})은 동일시점의 인접지역의 관측값(Y_{jt})에 의해 영향을 받으며, 이러한 영향력은 공간가중치행렬(spatial weight matrix)과 결합하여 일종의 독립변수로서 모형에 반영된다. SAR 모형은 식(1)과 같다.

(1) $Y_{it} = \rho \sum_{j=1}^{N} w_{ij} Y_{jt} + X_{it}\beta + \mu_i + \epsilon_{it}$

여기서, ρ는 공간자기회귀계수로서 특정지역의 관측값(Y_{it})이 인접지역의 관측값(Y_{jt})들의 공간가중된 평균값으로 설명되는 정도를 나타내며, μ_i는 특정지역(i)의 관측되지 않은 변수들에 의한 오차이고, ϵ_{it}는 일반적 오차이다. w_{ij}는 공간가중치행렬로 공간적으로 더 인접한 지역에 더 높은 가중치를 부여하도록 설정한다. 공간가중치행렬을 구성하는 방식은 다양한데, 가장 많이 사용하는 방법으로 인접(contiguity)에 가중치를 부여하는 방식[5]과 공간좌표(coordinates)를 이용하는 방법[6]이 있다. 본 논문에서는 공간적 인접에 가중치를 부여하는 방식을 적용하여, 지역들이 인접해 있으면 '1', 인접하지 않으면 '0'의 가중치를 부여한 공간가중치 행렬을 구축하고, $\sum_j w_{ij} = 1$이 되도록 횡단표준화하였다.

나) 공간더빈모형(Spatial Durbin Model, SDM)

SDM 모형은 공간적 종속성이 종속변수뿐만 아니라 설명변수에도 내재되어 있다고 전제하고, 이를 모형에 반영한 것이다. SDM 모형은 식 (2)와 같다.

(2) $Y_{it} = \rho \sum_{j=1}^{N} w_{ij} Y_{jt} + X_{it}\beta + \theta \sum_{j=1}^{N} w_{ij} Z_{jt} + \mu_i + \epsilon_{it}$

여기서, ρ는 공간자기회귀계수이며, θ는 특정 설명변수의 공간가중된 평균값이 종속변수(Y_{it})를 설명하는 정도를 나타낸다.

5) 인접에 가중치를 부여하는 방식은 지역이 서로 인접하는 경우에는 '1', 그렇지 않으면 '0'으로 가중치를 부여한다. 일반적으로 가중치는 행을 기준으로 합이 1이 되도록 다시 표준화한다.

6) 공간좌표를 이용하는 방법은 지역의 중심을 기준으로 다른 지역의 중심까지 좌표거리를 계산하고, 이를 횡단표준화함으로써 행의 합이 1이 되도록 하는 방법이다.

다) 공간오차모형(Spatial Error Model, SEM)

SEM 모형은 공간적 종속성이 오차항에 내재되어 있다고 전제하고, 이를 공간자기회귀계수(λ)을 통하여 모형에 반영한다. SEM 모형은 식 (3)과 같다.

$$(3)\ \ Y_{it} = X_{it}\beta + \mu_i + \phi_{it},\ \phi_{it} = \lambda \sum_{j=1}^{N} w_{ij}\phi_t + \epsilon_{it}$$

여기서, ϕ_{it}는 공간적 종속성을 갖는 오차항을 의미하며, λ는 오차의 공간자기회귀계수이다.

위의 세 가지 모형을 이용하여 기후요인이 마늘과 양파의 단수에 미치는 영향을 추정하였다. 시계열 자료 측면에서 시간에 따른 생산기술 변화를 고려하기 위해서, 기후변수들 이외에 시간 또는 추세변수를 모형에 포함시켜서 추정하였다.

모형을 추정한 후 각 변수의 한계효과를 도출하였다. 종속변수 또는 설명변수에 공간적 종속성이 있는 경우 특정 변수의 한계적인 변화는 해당 지역에게 영향을 미칠 뿐만 아니라 다른 지역에도 영향을 미칠 수 있다. 이러한 상황을 파악하기 위해서 본 논문은 LeSage and Pace (2009)가 제안한 방법을 따라서 한계효과를 직접효과와 간접효과로 구분하여 도출한다. 직접효과는 특정 설명변수의 변화가 동일 지역의 종속변수에 미치는 효과이고, 간접효과는 해당 설명변수의 변화가 인접지역의 종속변수에 미치는 효과를 의미한다.

4. 분석 결과

공간패널모형을 이용하여 기후요인이 마늘과 양파 단수에 미치는 영향을 분석한 결과는 각각 〈표 8〉, 〈표 9〉와 같다. 모형 간 비교를 위해서 앞에서 설명한 세 가지 공간패널모형들의 추정결과뿐만 아니라 패널고정효과모형(Fixed Effect Model, FE)의 결과도 함께 제시하였다. 모든 공간패널모형에서 공간자기회귀계수 ρ와 λ가 통계적으로 유의하게 나타나, 마늘과 양파의 생산량에 공간적 의존성이 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 시간변수는 모든 연도에서 유의하게 나타나, 시간에 따른 기술변화가 마늘과 양파 단수 증가에 기여하였음을 알 수 있다.

모든 공간패널모형에서 평균최저기온과 일조율은 통계적으로 유의한 양(+)의 값을 나타내었다. 평균최고기온의 추정계수값도 양(+)의 값이나, 통계적으로 유의하지는 않았다. 즉, 평균최저기온와 평균최고기온이 상승할 경우, 마늘과 양파의 단수는 모두 증가하였음을 알 수 있다. 일조율도 단수 증가에 긍정적으로 기여하였다. 따라서 다른 조건이 동일한 상황에서 평균최저기온이 상승하고 일조율이 늘어나는 고온 현상이 지속되면 마늘과 양파의 단수 증가로 인해 발생할 수 있는 관련 농가들의 피해를 예방하기 위해서 기후온난화에 대응한 마늘과 양파의 수급안정화 전략이 강구될 필요가 있다.

표 8. 마늘의 공간패널모형 분석결과

변수	FE		SAR		SDM		SEM	
	추정 계수	표준 오차	추정 계수	표준 오차	추정 계수	표준 오차	추정 계수	표준 오차
누적강수량	-0.018	0.041	-0.015	0.037	-0.036	0.039	-0.017	
평균최고기온	0.760	0.493	0.392	0.464	0.351	0.492	0.184	
평균최저기온	0.028	0.207	0.136*	0.191	0.258*	0.182	0.252*	
일조율	0.351*	0.149	0.346*	0.134	0.419*	0.149	0.417*	
W*누적강수량					-0.003	0.637		
W*평균최고기온					2.869	0.255		
W*평균최저기온					1.088	0.179		
W*일조율					0.374	0.003		
상수항	3.649	1.391						
ρ			0.198***	0.073	0.152***	0.074		
λ							0.216***	0.082
R2(within)	0.205		0.205		0.344		0.193	
AIC	-301.785		-306.567		-323.786		-306.154	

주: *** p〈0.01, ** p〈0.05, * p〈0.1

표 9. 양파의 공간패널모형 분석결과

변수	FE		SAR		SDM		SEM	
	추정 계수	표준 오차	추정 계수	표준 오차	추정 계수	표준 오차	추정 계수	표준 오차
누적강수량	-0.055	0.045	-0.055	0.041	-0.037	0.065	-0.055	0.059
평균최고기온	0.093	0.477	0.097	0.515	0.188	0.646	0.099	0.638
평균최저기온	0.158	0.182	0.157*	0.172	0.209*	0.174	0.155	0.178
일조율	0.023	0.145	0.022*	0.148	0.147*	0.207	0.026*	0.198
W*누적강수량					0.038	0.119		
W*평균최고기온					0.901	1.120		
W*평균최저기온					0.156	0.321		
W*일조율					0.401	0.366		
상수항	9.064	1.924						
ρ			0.357***	0.078	0.351***	0.080		
λ							0.365***	0.080
R2(within)	0.219		0.219		0.271		0.4193	
AIC	-251.210		-249.220		-235.613		-249.241	

주: *** p〈0.01, ** p〈0.05, * p〈0.1

공간패널모형의 적합성 검증결과[7], SDM이 다른 모형에 비해 통계적으로 유의하게 나타났다. 따라서 마늘과 양파 모두 SDM 모형 추정결과에 대한 한계효과를 도출하였다. 그 결과는 〈표 10〉과 같다.

마늘의 경우 일조율이 1% 상승하면 마늘 단수는 약 1.04% 증가하는데, 이 중 해당 지역의 직접 영향은 0.859%, 인접 지역의 간접효과는 0.182%로 구분할 수 있다. 모든 변수들의 한계효과에서 직접효과의 크기가 간접효과보다 크게 나타났다. 그러나 인접지역의 간접효과도 일정부분 유의하게 기여하고 있었다. 즉, 마늘과 양파의 주산지에서 생산량은 인접지역의 생산량에도 영향을 미치는 공간적 의존성이 나타나고 있었다.

7) SDM을 기준으로 귀무가설 θ=0과 $\theta + \rho\beta = 0$에 대해서 각각 검정한 결과, 귀무가설이 5% 유의수준에서 모두 기각되었다.

표 10. SDM모형의 한계효과

구분	변수	마늘 SDM모형	양파 SDM모형
직접효과	누적강수량	-0.014	-0.039
	평균최고기온	0.391	0.462
	평균최저기온	0.159	0.191
	일조율	0.859	0.735
간접효과	누적강수량	-0.003	-0.01
	평균최고기온	0.177	0.115
	평균최저기온	0.04	0.054
	일조율	0.182	0.147
총효과	누적강수량	-0.017	-0.049
	평균최고기온	0.568	0.577
	평균최저기온	0.199	0.245
	일조율	1.041	0.882

5. 요약 및 결론

본 연구는 마늘과 양파의 주산지 시군별 통계자료를 이용하여, 지역 간 공간적 의존성을 고려하면서 기후요인이 생산량에 미치는 영향을 분석하였다. 공간적 종속성을 고려한 패널모형인 공간패널모형을 이용하였다. 또한 공간패널모형 간 적합성 검정을 통해 선택된 SDM 모형을 이용하여, 추정계수의 한계효과를 직접효과와 간접효과로 구분하여 도출하였다.

분석 결과, 평균최저기온과 일조율은 마늘과 양파의 단수 변화에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다른 조건이 동일한 상황에서 평균최저기온이 상승하고 일조율이 늘어나는 고온 현상이 지속되면 마늘과 양파의 단수는 증가할 것으로 보인다. 기후온난화로 인한 마늘과 양파의 공급과잉 문제가 발생할 수 있으므로, 이에 대한 적절한 수급안정화 방안이 필요할 것이다.

또한 마늘과 양파의 주산지 지역의 생산량은 인접지역의 생산량에 통계적으로 유의하게 영향을 미치고 있어서, 마늘과 양파 주산지 형성에 공간적 의존성이 존재함을 알 수 있었다. 따

라서 마늘과 양파 생산 예측 모형을 구축할 때 주산지 인접지역의 영향도 함께 고려할 수 있는 공간계량경제모형이 적절할 것이다.

이 연구에서는 과거 기후통계자료의 시공간적 추세를 통해서 마늘과 양파의 생산량에 미치는 기후요인의 영향을 분석하였으나, 보다 객관적인 마늘과 양파 생육에 대한 기후요인의 영향에 관해서는 자연과학적 연구가 더 필요할 것이다.

본 연구는 기후변화가 진전됨에 따라 농작물 생산에 유의한 영향을 미치는 기상요인의 영향을 살펴보았다는 점과 마늘과 양파의 주산지 지역 간 공간적 의존성이 생산에 영향을 미치고 있음을 밝혀냈다는 점에서 관련 선행연구들과 차별성이 있다.

그러나 장기 시계열 통계의 부족으로 분석 결과의 통계적 유의성을 충분히 확보하지 못한 한계가 있다. 또한 마늘과 양파 단수에 영향을 미치는 요인으로 기상변수 이외에도 토양 정보, 재배정보 등 다양한 변수들을 모형에 포함시키지 못한 한계가 있다. 향후 농산물의 지역 단위 패널자료가 잘 구축된다면 기후요인과 공간의존성을 동시에 고려하면서 생산량을 보다 정확하게 예측할 수 있는 품목 예측모형 개발과 적용이 가능할 것으로 보인다.

참고문헌

김봉태·엄기혁·이준수·박혜진·육근형. 2015. “공간패널모형을 이용한 연가어업 생산량과 기후변화 요소의 관계에 대한 연구.”「한국수산경영학회」46(3): 63-72.

박현태·김연중·한석호. 2002.「주요 과채의 주산지 구조와 지역간 경쟁력 분석」. 한국농촌경제연구원.

이희원·노승철. 2013.「고급통계분석론-이론과 실습」. 문우사.

통계청(2018),「기후변화에 따른 주요 농작물 주산지 이동현황」.

환경부(2020),「한국 기후변화 평가보고서 2020 - 기후변화 영향 및 적응」.

Belotti, F., Hughes, G., and Mortari, A. P. (2016). Spatial panel data models using Stata. The Stata Journal 17(1): 139-180.

LeSage, J. and Pace, R. K. (2009). Introduction to Spatial Econometrics. New York, U.S.: Chapman and Hall.

Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. Economic Geography 46(1): 234-240.