J. Soil Groundwater Environ. Vol. 27(5), p. 18~31, 2022 https://doi.org/10.7857/JSGE.2022.27.5.018
ISSN 1598-6438 (Print), ISSN 2287-8831 (Online)

≪ **Research Paper** ≫

북한의 가뭄 특성 변화가 농업에 미치는 영향 평가

송성호* · 김 혁
한국농어촌공사 농어촌연구원

Evaluation of the Impact of Changes in Drought Characteristics on Agriculture in the DPRK

Sung-Ho Song* · Hyuk Kim
Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

ABSTRACT

To evaluate the impact of drought on agriculture in N. Korea, SPI (standardized precipitation index) analysis was carried out by utilizing time-series precipitation data during 1996 – 2003 when severe drought occurred throughout the country. The SPI value was estimated to reach 12 in approximately 60% of the total period, indicating that agricultural productivity deteriorated rapidly due to the long-term drought. The national average drought cycle, based on SPI 12, was estimated as 32.5 months for the last 40 years. However, when examined on 20-year basis, the drought cycle was shortened by 10.6 months in last 20 years (30.3 months) as compared to previous 20 years (40.9 months). Annual crop production continued to increase mainly in rice and maize until the mid-1990s, but declined sharply thereafter due to the drought. After the drought period, the production of potatoes of which growth is more resistant to drought started to increase to the production level comparable to those of rice and soybean. It is expected that changes in the agricultural production environment in N. Korea will be inevitable due to the climate change. To this end, using the results of the drought cycle analysis, it is possible to analyze the changes in the agricultural production environment in N. Korea in the future.

Key words : Drought, SPI, Drought cycle, Agriculture, N. Korea

1. 서 론

가뭄은 특정지역에서 평균 이하의 강수량이 발생되는 현상으로, 가뭄이 시작되는 시점은 일정 기간 동안의 강수량을 평균치와 비교하여 정량적으로 감소되는 기준을 설정하여 적용한다(Song, 2018). 농업 가뭄은 강수량의 부족, 실제증발산량과 잠재증발산량의 차이, 토양수분 부족 등에 의해 발생되는데, 작물 생육에 직접적으로 영향을 미치는 토양수분 함량은 강수에 즉각적으로 반응하는 반면 지표수 및 지하수는 상대적으로 장기간의 강수에 영향을 받는다.

강수량의 변동을 표준화하는 방법으로 고안된 표준강수지수(standardized precipitation index, SPI)는 대상기간 중의 강수 확률분포를 정규분포로 변환시켜 활용하는데, 다양한 시간 간격에 따른 수자원의 이용 가능성에 대한 가뭄의 영향을 반영할 수 있는 장점이 있다(McKee et al., 1993). SPI를 이용하여 20개 저수지에서 관측된 저수위(저수량)를 상관 분석한 결과 SPI는 9~11개월의 누적 강수량과 상관계수가 가장 높은 것으로 나타났다(Song, 2018). 이에 따라 장기간의 가뭄이 지표수자원(댐과 저수지)을 이용한 농업용수 부족에 가장 큰 영향을 주는 것으로 제시하였다.

한편 SPI와 같이 시계열 강수량 자료를 표준화한 결과에 대한 주기성 분석 방법은, 가뭄이 농업환경에 미치는 영향을 평가하는데 유용하다. Lyon et al.(2012)는 기상학적 가뭄의 계절적 예측을 위해 SPI 자료에 대한 자기상관 분석 방법을 적용한 바 있다. 국내에서는 Kwon and

주저자: 송성호, 한국농어촌공사 농어촌연구원 미래농어촌연구소장
공저자: 김혁, 한국농어촌공사 농어촌연구원 전임연구원
*교신저자: 송성호, 한국농어촌공사 농어촌연구원 미래농어촌연구소장
Email: shsong@ekr.or.kr

Received : 2022. 09. 29 Reviewed : 2022. 10. 06
Accepted : 2022. 10. 21 Discussion until : 2022. 12. 31

Moon(2005)이 수문 시계열에서 나타나는 주기성 및 경향성 평가를 위한 방법으로 푸리에 변환(Fourier transform) 분석법을 개선한 웨이브렛 변환(wavelet transform) 분석법을 제시하여 빈도에 대한 스펙트럼 분석을 수행한 바 있다. 또한 Lee et al.(2012)은 가뭄지수를 활용한 한반도의 가뭄 주기 분석을 위하여, SPI와 팔머가뭄지수(Palmer drought severity index, PDSI)에 대하여 웨이브렛 변환 분석법을 이용하였다.

북한은 1995년을 전후로 집중호우에 의한 수해와 이후 약 8년간의 장기 가뭄으로 인한 심각한 식량부족 문제에 직면한 바 있다(RRI, 2015). 당시 전세계로부터 식량 지원 의사를 제공받았으나, 체제 안보를 이유로 UN 산하의 식량농업기구(FAO)와 세계식량계획(WFP) 등을 통한 제한적인 지원을 허용한 바 있다(Meadows, 2015). 지금까지 북한 농업의 현황에 대한 공식적인 통계자료가 없는 상태이다. 그러나 FAO와 WFP의 지원 사업 시 비정기적으로 발간된 특별 보고서에서는, 북한의 행정구역별 농작물 재배면적 및 작물별 생산량 추정치를 제시한 바 있다.

보고서에 따르면 심각한 식량문제 발생 시기 전후 주요 재배작물의 전환이 이루어졌으므로, 필수적으로 관개용수 필요수량의 변화가 수반되어야 한다. 쌀 농업의 경우 농업용수가 농번기에 집중적으로 사용되지만, 옥수수와 감자 등 밭 농업은 재배작물별로 적합한 농업용수 관개시설을 이용하여 특정한 시기에 용수를 공급받아야 한다.

RRI(2015)는 북한의 대표적인 밭 농업지역인 양강도와 자강도의 관개용수 필요수량이 전체 농업용수의 52~72%로 추정하였는데, 해당 지역은 주로 산지로 구성되어 지표수 자원 부족으로 가뭄에 취약하다고 제시되었다. 따라서 과거 대가뭄 시 옥수수 생산량 급감으로 심각한 식량난을 겪은 사례가 있어, 항구적인 가뭄을 대비하기 위한 지하수 관정 개발 등을 이용한 지속가능한 용수공급 체계 구축이 필요하다.

최근 기후위기 심화에 따라 가뭄이 반복되는 특성이 심화됨에 따라, 이 연구에서는 지역적으로 북한의 농업에 영향을 미치는 가뭄 특성과 반복 주기를 평가하였다. 또한 평가 결과를 토대로 북한의 행정구역별로 가뭄이 농업환경에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 연구방법

2.1. 가뭄 특성

가뭄은 적용 대상에 대한 판단 기준에 따라 기상학적 가뭄, 기후학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 농업적 가뭄 등으로 구분된다. 이러한 기준에 따라 강수량 등 기상조건을 이용하는 방법에서부터 저수량, 토양수분 등 수문학적 조건들을 이용하는 방법으로 나누어질 수 있다(Yoo, 2009). 이 중 강수량을 이용한 가뭄 평가는 가뭄빈도 공식을 이용한 방식이 일반적이지만, 최근 기후변화에 수반된 극사상 발생이 빈번해짐에 따라 가뭄지수를 이용한 분석 기법이 효과적으로 이용되고 있다(Song et al., 2013).

농업 가뭄에 중요한 요소로 작용하는 토양수분 함량은 강수량 뿐만 아니라 선행강수 여부와 강수 빈도 등에 영향을 받는다. 따라서 강수의 확률분포를 정규분포화한 SPI를 이용하면, 다양한 시간 간격에 따른 가뭄의 영향을 반영할 수 있다(McKee et al., 1993). 특히 강수량 부족이 수문 요소(지하수위, 저수지 저수량, 토양수분 함량, 하천수 유량 등)에 미치는 영향을 분석하는 경우, 다양한 시간 간격(1, 3, 6, 12개월 등)에 대하여 강수량 부족 현상을 정량화할 수 있다. SPI는 평균값 0과 표준편차 1인 누적정규분포(cumulative normal distribution)를 표준정규분포(standard normal distribution)로 변환시켜 계산된다.

SPI가 양(+)인 경우는 강수량이 중앙값에 비해 많은 반면 음(-)의 값은 적은 것을 의미한다. 따라서 특정 기간 동안에 가뭄은 연속적인 음수로 SPI가 -1.0 이하에 도달하면 발생하지만 양(+)의 값이 되면 종료된다(Table 1).

Table 1. Classification of drought intensity using SPI (McKee et al., 1993)

SPI value	Classification
2.00 <	Extreme wet
1.50 ~ 1.99	Very wet
1.00 ~ 1.49	Moderately wet
-0.99 ~ 0.99	Near normal
-1.00 ~ -1.49	Moderate drought
-1.50 ~ -1.99	Severe drought
-2.00 >	Extreme drought

따라서 강수량의 시계열 자료를 이용한 SPI는 가뭄의 정도를 평가 및 예측하기 위해 널리 사용되는 지표이다. 최근 농업 가뭄을 정량적으로 평가하기 위한 방법으로 SPI와 농업용 저수지의 저수율의 상관성을 분석한 결과, SPI 10 이상의 장기 가뭄 상황에서 저수량이 감소하는 연구 결과가 제시된 바 있다(RRI, 2017; Song, 2018).

2.2. 가뭄 주기 분석

이 연구에서는 급격한 강수량의 감소에 의한 가뭄의 주기성 분석을 위하여 자기상관 분석(autocorrelation analysis) 방법을 이용하였다. 자기상관도는 관측시점별로 자료가 어

느 정도 관련이 되어있는지를 나타내는 것으로, 자기상관 함수(autocorrelation function, ACF)를 이용하여 분석할 수 있다. 자기상관 함수는 시계열 y_t와 y_{t-k}와의 k 시차(time lag) 만큼의 상관관계를 나타낸다. 시계열 y_t의 평균이 $\mu = E[y_t]$라면, 자기공분산 함수와 자기상관 함수는 각각 (식 (1))과 (식 (2))로 표현된다.

$$\gamma_k = Cov[y_t, y_{t+k}] = E[(y_t - \mu)(y_{t+k} - \mu)] \quad (1)$$

$$\rho_k = \frac{E[(y_t-\mu)(y_{t+k}-\mu)]}{\sqrt{E[(y_t-\mu)^2 E(y_{t+k}-\mu)^2]}} = \frac{E[(y_t-\mu)(y_{t+k}-\mu)]}{\sigma_y^2} \quad (2)$$

만약 가뭄 발생과 같이 일정기간의 강수량 시계열 관측값이 없다면 가뭄 전후에 발생한 강수량 자료의 상관성이 없으므로 자기상관 함수에서 시차에 따른 유의한 값이 나타나지 않는다. 반면 지속적인 강수량이 관측되는 경우는 자기상관 함수가 서서히 감소하는 형태를 띠게 된다. 따라서 가뭄의 경우 일정기간 간격의 자기상관 함수값이 나타나게 되며, 이러한 간격을 가뭄 주기(drought cycle)로 판단할 수 있다.

2.3. 북한의 농업 현황

북한의 경우 농작물 재배면적 및 생산량 현황과 관련된 공식적인 통계자료가 없기 때문에, 행정구역별 농업 현황 자료 획득은 불가능하다. 따라서 FAO에서 운영 중인 FAOSTAT(2022)로 부터 북한 전체에 대한 연도별 농지 면적과 작물별 생산량 추정자료를 활용하면 북한의 농업 현황 분석이 가능하다. 다만 행정구역 별 통계자료는 제공하지 않는다. 한편 1990년대 중반 이후 약 8년 간 북한에서 발생한 극심한 가뭄 시 FAO에서 긴급하게 식량 지원 프로그램을 시행하였으며, 이때 약 15년 간 비정기적으로 특별보고서(special report: FAO/WFP crop and food supply assessment mission to the DPRK)가 발간되었다. 이 보고서에는 행정구역별 농작물 재배면적 및 작물별 생산량 추정치가 수록되어 있다(FAO, 2002; 2004; 2008; 2010; 2012).

따라서 연도별 기상특성에 따른 전국적인 변화 추세와 함께 행정구역별 농작물 재배면적과 작물별 생산량 평균치 자료 활용이 가능하다. Meadows(2015)는 이들 FAO 특별보고서 내용을 토대로, 북한의 경작 면적, 기상조건, 화학비료 사용량, 농업투입 변수와 곡물 생산량 관계 등을 분석한 바 있다.

3. 연구결과

3.1. 북한의 농업 가뭄

3.1.1. 가뭄 현황

이 연구에서는 북한에 분포하는 총 27개소의 기상대에서 관측된 총 40년 동안(1981~2020년)의 강수량 자료를 분석하였다(KMA, 2022)(Table 2). 북한의 기상대는 각 시도별로 1~3개 씩 분포하고 있으며, 해발고도는 서부 평야지대의 경우 전반적으로 100 m 이내인 반면 북부 내륙지역인 양강도의 삼지연 기상대와 풍산 기상대, 함경남도의 장진 기상대의 경우 각각 1,000 m 이상 고지대에 위치하고 있다.

강수량을 분석한 결과 연평균 강수량은 923.3 mm로 나타났으며, 이 중 강원도에 위치한 3개 기상대에서 1,354.1 mm로 가장 높은 반면 함경북도에 위치한 3개 기상대에서 651.4 mm로 가장 낮은 것으로 나타났다(Table 3).

북한의 서쪽 평야지대인 황해남도, 평안남도, 평안북도와 북서부의 자강도의 연간 강수량은 1994~1995년 기간 중에 평년 대비 약 1.2~1.4배 이상의 강수량이 집중된 것으로 나타났다. 반면에 이 기간 직후 약 8년 동안에는 개성시를 포함한 남부 일부와 강원도 동해안 일부를 제외한 전국적으로 극심한 가뭄이 발생되었다(Fig. 1).

1981년부터 최근까지 행정구역별 연간 강수량의 변화 추세는 공통적으로 최근 약 15년 동안 강수량의 변화폭이 과거에 비해 커지는 것으로 나타났다. 이러한 변화폭은 연간 강수량이 풍부한 서쪽 평야지대에서 상대적으로 크게 나타나는데, 이에 따른 가뭄과 홍수의 반복으로 농업활동에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

북한지역의 가뭄이 농업에 미치는 영향 평가를 위하여 논 농업 위주의 황해남도, 밭 농업 위주인 양강도와 함경북도, 북한전역을 대상으로 SPI를 분석하였다. 이를 위하여 40년 동안 월 강수량을 이용한 강수량 누적 기간(accumulation period: AP)을 1개월(SPI 1), 3개월(SPI 3), 6개월(SPI 6), 12개월(SPI 12)로 구분하여 월별 변화를 제시하였다(Fig. 2).

전체적으로 SPI 1, SPI 3, SPI 6의 경우는 SPI가 강수량이 풍부한 기간인 여름철에 양(+)의 값을 보이는 반면 강수량이 적은 겨울철 음(-)의 값이 나타나 강수의 계절적 변화가 잘 나타났다. 그러나 북한 전역의 강수량이 40년 평균인 923.3 mm 이하가 연속적으로 나타나 가뭄이 극심했던 1996~2003년(96개월) 기간의 경우 여름철에도 음(-)의 값이 나타남에 따라, 전체적으로 연주기 변동폭이 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 동일 기간 중의 SPI 12

Table 2. Weather stations in the DPRK

Province	Station name	TM coordinate		Latitude	Longitude	Elevation (m)
		X	Y			
Pyungyang-si	Pyungyang	221563.39	4325400.75	39° 02'	125° 47'	38
Pyungan-nam	Anjoo	212421.51	4390576.55	39° 37'	125° 39'	27
	Yangduck	312816.36	4337507.91	39° 10'	126° 50'	279
Pyungan-buk	Soopoong	155113.69	4485652.78	40° 27'	124° 56'	83
	Sineuijoo	106425.07	4449081.89	40° 06'	124° 23'	7
	Goosung	179783.08	4432646.14	39° 59'	125° 15'	99
Jagang	Joonggangjin	324104.74	4627885.83	41° 47'	126° 53'	332
	Ganggye	298046.27	4537830.71	40° 58'	126° 36'	306
	Hoecheon	265817.25	4449882.34	40° 10'	126° 15'	155
Hwanghae-nam	Yongyeon	139477.92	4236022.99	38° 12'	124° 53'	5
	Haejoo	210361.10	4214655.70	38° 02'	125° 42'	81
Hwanghae-buk	Sariwon	218091.30	4268099.27	38° 31'	125° 46'	52
	Singye	284896.81	4264176.83	38° 30'	126° 32'	100
Gangwon	Wonsan	364686.93	4338290.58	39° 11'	127° 26'	36
	Pyunggang	351553.87	4251565.51	38° 24'	127° 18'	371
	Jangjeon	429018.20	4287501.51	38° 44'	128° 11'	35
Hamgyung-nam	Jangjin	351418.81	4469924.80	40° 22'	127° 15'	1,081
	Sinpo	430323.07	4431776.33	40° 02'	128° 11'	19
	Hamheung	376105.80	4421364.34	39° 56'	127° 33'	38
Hamgyung-buk	Sunbong	615369.14	4685885.35	42° 19'	130° 24'	3
	Cheongjin	567863.60	4626042.70	41° 47'	129° 49'	43
	Gincheck	516904.77	4501774.20	40° 40'	129° 12'	23
Yanggang	Samjiyeon	443245.66	4629646.92	41° 49'	128° 19'	1,386
	Hyesan	430340.49	4583497.42	41° 24'	128° 10'	714
	Poongsan	428315.60	4518753.22	40° 49'	128° 09'	1,206
Gaesung-si	Gaesung	286247.40	4204909.98	37° 58'	126° 34'	70
Nampo-si	Nampo	184085.91	4291605.34	38° 43'	125° 22'	47

의 경우 가뭄기간 내내 음(-)의 값을 보이면서 가뭄기간 중에 SPI의 최저값이 나타남에 따라, SPI 12에서 장기 가뭄의 특징이 잘 나타났다.

지역적으로는 북한의 남부지역인 황해남도의 96개월 기간 중 SPI 1의 경우 가뭄으로 구분된 –1 이하의 기간이 총 18개월로, 양강도(21개월) 및 함경북도(23개월)에 비해 적은 것으로 분석되었다(Table 4). 특히 북한 전역의 29개월에 비해 약 62%에 해당하는 것으로 나타났다. SPI 3과 SPI 6의 경우 황해남도는 각각 22개월과 26개월로, 양강도(21개월과 28개월), 함경북도(27개월과 29개월), 북한 전역(34개월과 32개월)의 자료와 비교하면 앞서 SPI 1과 유사한 결과로 나타났다. 따라서 과거 40년 동안 북한의 AP 1~6개월의 가뭄은 남부지역에 비해 북부지방에서 약 1.5배 많은 것으로 분석된다.

장기 가뭄을 지시하는 SPI 12의 경우 황해남도는 21개월로 SPI 1, SPI 3, SPI 6과 유사한데 비해, 양강도(47개월), 함경북도(48개월), 북한 전역(57개월)이 상대적으로 발생 횟수가 급격하게 증가한 것으로 나타났다. 또한 북부지방과 북한 전역의 경우 SPI 6 이하인 단기 가뭄 대비 장기 가뭄의 횟수가 약 1.5배 이상 증가했으며, 가뭄의 지속 기간도 북부지방으로 갈수록 길어지는 것으로 나타났다. 특히 북한 전역의 경우 SPI 12의 가뭄 기간이 전체 기간의 약 60%로 나타남에 따라, 당시의 장기 가뭄에 의한 농업 생산성이 급격하게 악화된 것으로 추정된다. 연속 가뭄이 발생한 개월 수는 자강도 49개월, 함경남도가 42개월로 전국 평균 29개월에 비해 높은 반면, 개성시는 3개월로 매우 낮은 것으로 나타났다.

3.1.2. 가뭄 주기

1981년부터 2020년까지 계산된 월별 SPI 12 값을 기초로 행정구역별로 자기상관 분석을 실시하여 각 지역별로 가뭄 주기를 계산하였다. 가뭄 주기는 자기상관 함수

Table 3. Annual mean precipitation distribution for each province in the DPRK (unit: mm)

Year	Pyungyang -si	Pyungan -nam	Pyungan -buk	Jagang	Hwanghae -nam	Hwanghae -buk	Gangwon	Hamgyung -nam	Hamgyung -buk	Yanggang	Gaesung -si	Nampo -si	The whole country
1981	1,060.5	1,141.8	1,085.3	960.1	1,118.3	1,286.0	1,641.6	789.7	553.7	761.6	1,458.8	967.6	1,069.6
1982	500.1	561.6	825.4	781.5	653.7	758.6	1,064.0	703.1	687.6	715.5	810.2	475.5	709.5
1983	971.8	1,153.1	1,043.1	962.7	733.8	869.3	1,415.6	932.3	773.2	753.7	1,153.2	1,016.3	982.0
1984	906.0	871.3	1,034.7	896.6	838.1	944.3	1,278.6	807.1	851.0	726.0	1,057.3	830.1	921.0
1985	832.7	936.8	1,289.0	916.4	961.8	1,208.7	1,275.0	847.2	525.9	728.3	1,178.7	785.5	956.6
1986	838.1	887.6	1,065.2	1,096.3	645.7	947.6	1,478.0	928.5	833.8	871.8	1,136.1	917.9	971.3
1987	1,146.6	1,119.9	1,030.6	977.4	1,173.0	1,189.1	1,403.9	861.6	683.8	730.1	1,220.1	881.4	1,036.5
1988	635.7	759.8	667.1	715.8	707.3	699.1	1,186.5	690.5	684.3	587.5	931.2	549.6	733.6
1989	751.9	965.5	851.7	953.3	638.4	767.3	1,532.8	885.3	596.2	747.6	892.7	575.6	848.2
1990	1,452.6	1,660.5	1,304.4	916.6	1,980.0	1,808.6	2,046.3	998.0	922.2	831.7	2,055.6	1,531.7	1,457.3
1991	660.4	599.2	749.5	862.6	616.7	660.5	998.6	589.5	720.8	689.2	716.2	303.5	686.8
1992	732.1	1,036.6	995.3	748.4	919.4	828.1	1,165.3	812.7	941.0	692.8	806.9	1,057.7	891.8
1993	604.0	643.8	834.2	700.9	915.3	832.8	1,316.3	592.0	664.4	624.1	1,266.4	690.6	803.0
1994	1,304.1	1,108.5	1,309.4	959.0	1,240.9	1,066.7	1,132.0	782.3	732.0	871.1	1,146.0	1,295.4	1,080.1
1995	1,132.4	1,169.0	1,441.6	1,338.1	847.2	877.4	1,235.3	606.5	595.1	857.1	1,007.5	869.0	997.9
1996	989.7	823.3	1,003.0	759.9	972.3	802.1	1,143.7	555.7	498.9	620.2	1,181.9	1,059.4	866.9
1997	822.4	699.4	729.1	393.0	768.1	696.5	957.9	323.0	389.5	415.0	1,003.0	690.9	651.9
1998	1,037.8	582.5	1,025.8	605.1	966.7	859.4	1,225.9	450.2	470.0	547.6	1,518.3	571.7	823.1
1999	736.1	726.3	829.4	450.0	674.8	647.1	1,068.0	393.8	436.7	535.2	1,297.0	495.0	690.9
2000	502.5	598.1	638.3	565.5	508.1	589.9	718.2	595.0	453.6	485.9	1,237.5	456.1	610.6
2001	750.7	834.0	876.8	715.2	805.1	767.2	1,437.6	561.9	539.3	622.0	1,068.5	631.4	798.8
2002	659.5	685.0	647.2	468.3	755.5	563.1	1,192.4	559.1	510.8	436.7	986.1	422.2	662.4
2003	1,048.3	914.0	1,039.7	671.0	960.0	964.4	1,460.0	597.5	584.6	566.7	1,277.8	634.2	893.3
2004	1,085.2	900.5	1,181.9	929.8	1,083.8	930.8	1,368.0	773.9	530.3	641.0	1,337.2	661.6	951.6
2005	846.1	800.6	940.6	832.8	800.1	736.7	1,115.0	573.8	548.5	693.7	1,137.9	497.1	793.2
2006	616.3	857.7	809.4	480.2	495.6	655.2	1,143.5	593.0	410.2	533.1	955.4	350.3	658.7
2007	1,591.4	1,266.8	1,104.2	694.0	1,399.9	1,557.6	1,352.6	1,038.0	705.7	854.3	1,299.9	1,018.3	1,157.2
2008	880.9	799.7	953.9	680.5	1,087.1	820.2	1,581.1	527.5	654.6	549.4	1,177.3	642.2	863.9
2009	992.9	1,090.4	834.5	839.9	978.0	1,034.0	1,446.5	719.8	585.0	710.0	1,283.6	807.8	942.8
2010	1,145.0	1,363.4	1,682.2	1,354.5	1,230.8	1,424.8	1,688.4	1,061.0	808.9	955.5	1,779.2	1,178.2	1,302.3
2011	1,026.5	1,103.9	1,034.5	826.4	1,413.4	1,373.2	1,642.2	837.8	524.4	660.9	1,930.5	948.3	1,109.4
2012	1,201.5	1,371.7	1,404.9	1,035.9	1,176.7	1,332.6	1,428.2	1,158.6	1,093.5	1,006.8	1,255.8	1,029.3	1,207.3
2013	1,289.3	1,852.7	1,608.4	1,236.0	1,097.9	1,186.2	1,565.1	900.3	729.8	811.8	1,406.5	978.6	1,221.4
2014	527.3	637.2	949.9	676.0	491.9	404.1	850.1	396.5	526.6	484.2	441.8	360.1	563.5
2015	1,121.5	1,249.1	1,190.0	1,050.3	1,073.1	1,422.3	1,600.6	876.5	1,272.8	1,086.3	669.9	912.3	1,125.8
2016	862.5	1,258.6	1,086.5	909.1	886.3	870.7	1,602.5	514.9	306.2	777.0	982.1	730.9	898.6
2017	865.2	930.8	875.9	766.1	687.6	882.6	1,469.5	670.4	482.1	597.0	780.4	608.1	799.0
2018	966.9	1,086.1	1,286.1	971.2	942.1	818.2	1,510.1	854.9	752.6	818.8	1,182.8	1,034.3	1,018.8
2019	582.7	860.9	794.5	834.6	775.0	649.9	981.8	605.0	658.4	455.9	991.9	454.6	718.1
2020	1,450.9	2,077.0	1,564.1	1,101.5	1,338.3	1,649.2	2,446.3	1,204.1	818.0	718.2	1,651.0	1,466.5	1,456.9
Mean	928.2	999.6	1,040.4	840.8	933.9	959.5	1,354.1	729.2	651.4	694.3	1,166.8	784.7	923.3

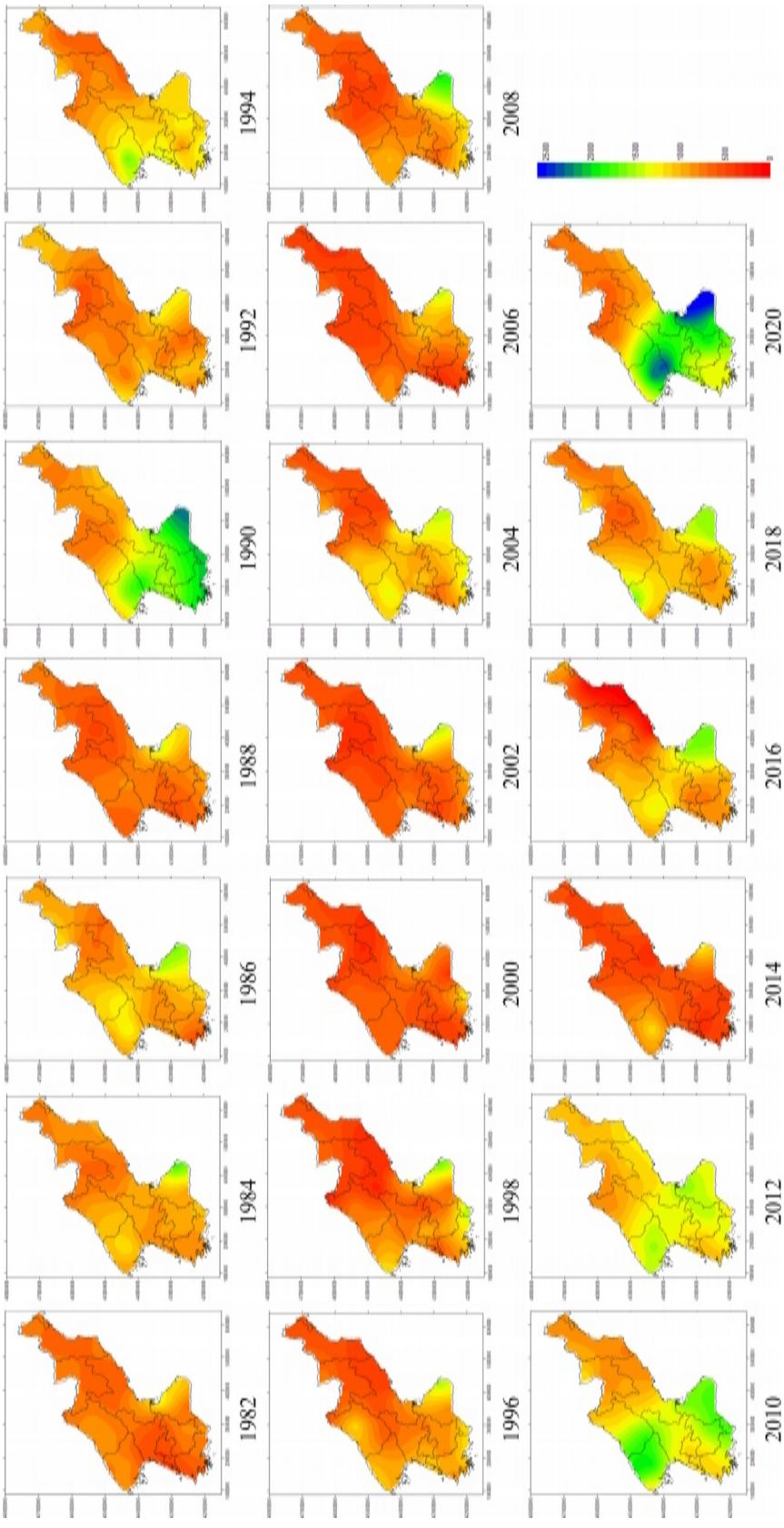

Fig. 1. Annual precipitation distribution over the DPRK during the past 40 years.

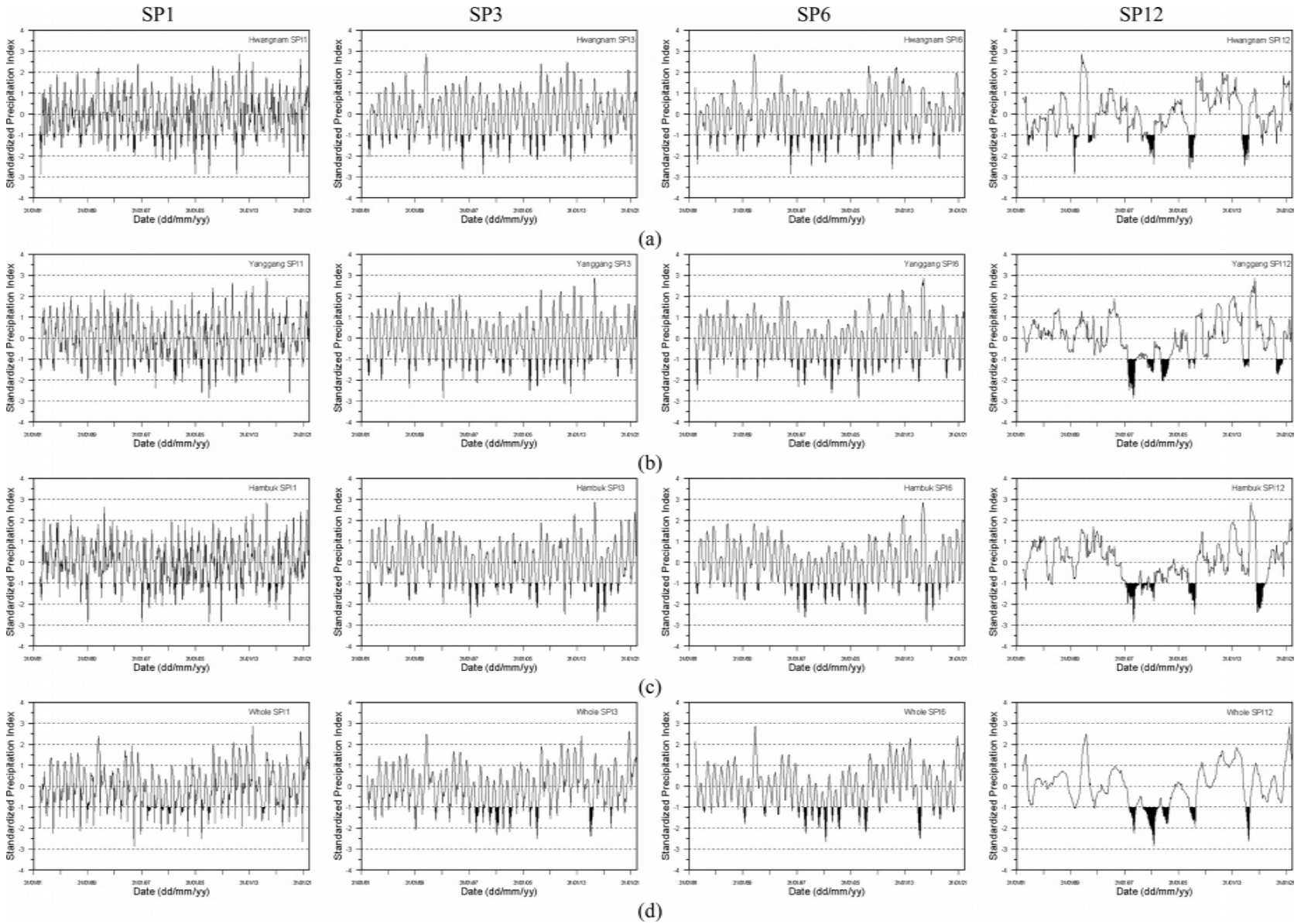

Fig. 2. SPI variations for the representative provinces and the whole area during 40 years (1981-2020). (a) Hwanghae-nam, (b) Yanggang (c) Hamgyung-buk (d) The whole country.

Table 4. Total months with value lower than –1 for SPI 1, 3, 6, and 12 in each province from 1996 to 2003

SPI	Pyungyang -si	Pyungan -nam	Pyungan -buk	Jagang	Hwanghae -nam	Hwanghae -buk	Gangwon	Hamgyung -nam	Hamgyung -buk	Yanggang	Gaesung -si	Nampo -si	The whole country
1	16	25	22	22	18	22	17	28	23	21	16	21	29
3	21	24	25	24	22	31	24	24	27	21	21	27	34
6	18	27	27	34	26	29	24	33	29	28	21	25	32
12 (MCD*)	21(15) (00/07/31 -01/09/30)	47(13) (00/05/31 -01/05/31)	34(12) (00/07/31 -01/06/30)	64(49) (97/06/30 -01/06/30)	21(12) (00/07/31 -01/06/30)	42(24) (99/07/31 -01/06/30)	34(16) (00/03/31 -01/06/30)	50(42) (97/02/28 -00/07031)	48(22) (97/06/30 -99/02/28)	47(16) (97/07/31 -98/10/31) (02/06/30 -03/09/30)	6(3) (98/05/31 -98/07/31)	29(14) (00/05/31 -01/06/30)	57(29) (99/010/31 -02-02-28)

* MCD: maximum consecutive months

Table 5. Drought cycle for each province in DPRK using SPI 12 (1981~2020)

Province	1981-2020	1981-2000	2001-2020	Province	1981-2020	1981-2000	2001-2020
Pyungyang-si	34	49	34	Gangwon	35	35	25
Pyungan-nam	29	26	35	Hamgyung-nam	30	59	33
Pyungan-buk	34	31	26	Hamgyung-buk	31	42	33
Jagang	35	70	34	Yanggang	34	48	34
Hwanghae-nam	34	36	34	Gaesung-si	34	36	24
Hwanghae-buk	34	34	25	Nampo-si	26	25	27
				Average	32.5	40.9	30.3

값 중 최초로 최고값을 나타내는 월로 결정하였다. 총 40년간의 SPI 12를 분석한 결과 전국적인 평균 가뭄 주기는 32.5개월로, 전반기 20년(1981~2000년)간은 40.9개월인 반면 최근 20년(2001~2020년)간의 경우에는 30.3개월로 나타났다. 따라서 최근 20년간의 가뭄 주기가 전반기 20년에 비해 약 10개월이 단축되어, 북한지역의 가뭄발생 빈도가 증가하는 것으로 나타났다(Table 5).

전국적으로 지난 40년간의 가뭄 주기는 26~35개월로, 남부지역의 남포시가 26개월로 가장 짧은 반면 동부와 북부인 강원도와 자강도가 각각 35개월로 가장 긴 것으로 분석되었다. 이러한 차이는 연강수량의 최대값과 최소값의 편차가 남포시의 경우 1,228.2 mm로 큰 반면 자강도의 경우 961.5 mm로 상대적으로 작은 영향이 반영된 것으로 판단된다. 전반기 20년간의 가뭄 주기는 25~70개월로, 남포시가 25개월로 가장 짧은 반면 자강도가 70개월로 가장 긴 것으로 나타났다. 최근 20년간의 가뭄 주기는 24~35개월로, 개성시가 24개월로 가장 짧은 반면 평안남도가 35개월로 가장 긴 것으로 분석되었다.

가뭄의 강도와 지속기간으로 판단할 수 있는 ACF값과 경과시간의 변화를 분석한 결과, 전기에 비해 후기에 값의 증가와 더불어 경과시간이 증가하는 것으로 나타남에 따라 가뭄 강도와 지속기간이 최근에 더욱 심화되는 것으로 판단된다(Fig. 3).

3.2. 북한의 농업

3.2.1. 농지 면적

FAOSTAT에서 제공하는 농지 면적은 북한 전역에 대한 추정 통계값이다. 따라서 행정구역별 농지 면적은 1990년대 중반에 시작된 대가뭄 기간 이후 FAO 현장 조사단에서 발간한 연도별 특별보고서 중 자료 신뢰도가 높은 5개년에 대하여 분석하였다(Table 6). 특별보고서로부터 분석된 농지면적은 현재 알려진 농지면적 약 1,500천 ha의 84% 수준 인 약 1,255 ha로 나타났다. 이러한 북한의 농지 면적은 북한 전체 면적 12,246천 ha 중 약 10%로, 농지 면적이 가장 넓은 황해남도의 경우 북한 전체 농지 면적 대비 약 20%인 256천 ha를 차지하는 것으로 나타났다.

행정구역별 면적 대비 농지 면적의 비율 역시 황해남도

Table 6. Agricultural land area estimated from the special reports in DPRK (unit: 10^3 ha)

Province	Total area (A)	Agricultural land area						Ratio (B/A, %)
		2002	2004	2008	2010	2012	Mean (B)	
Pyungyang-si	262.9	41.6	42.4	45.8	27.1	29.3	37.3	14
Pyungan-nam	1,186.7	167.7	193.0	216.5	155.9	159.1	178.4	15
Pyungan-buk	1,239.3	206.3	206.0	230.7	204.8	215.0	212.6	17
Jagang	1,676.5	50.3	51.0	57.3	50.4	54.0	52.6	3
Hwanghae-nam	819.7	250.9	251.0	273.7	252.7	250.0	255.7	31
Hwanghae-buk	815.4	123.3	135.0	161.5	169.2	165.0	150.8	18
Gangwon	1,108.7	76.4	79.0	87.1	78.6	75.0	79.2	7
Hamgyung-nam	1,860.3	124.1	124.0	140.0	124.1	148.0	132.0	7
Hamgyung-buk	1,673.8	87.2	87.7	92.3	92.0	100.0	91.8	5
Yanggang	1,388.8	49.8	50.0	31.0	33.0	30.0	38.8	3
Gaesung-si	130.9	18.9	7.4	0.0	0.0	0.0	5.3	4
Nampo-si	82.9	25.4	0.0	0.0	37.8	40.4	20.7	25
Total	12,245.7	1,221.9	1,226.5	1,336.0	1,225.6	1,265.9	1,255.2	

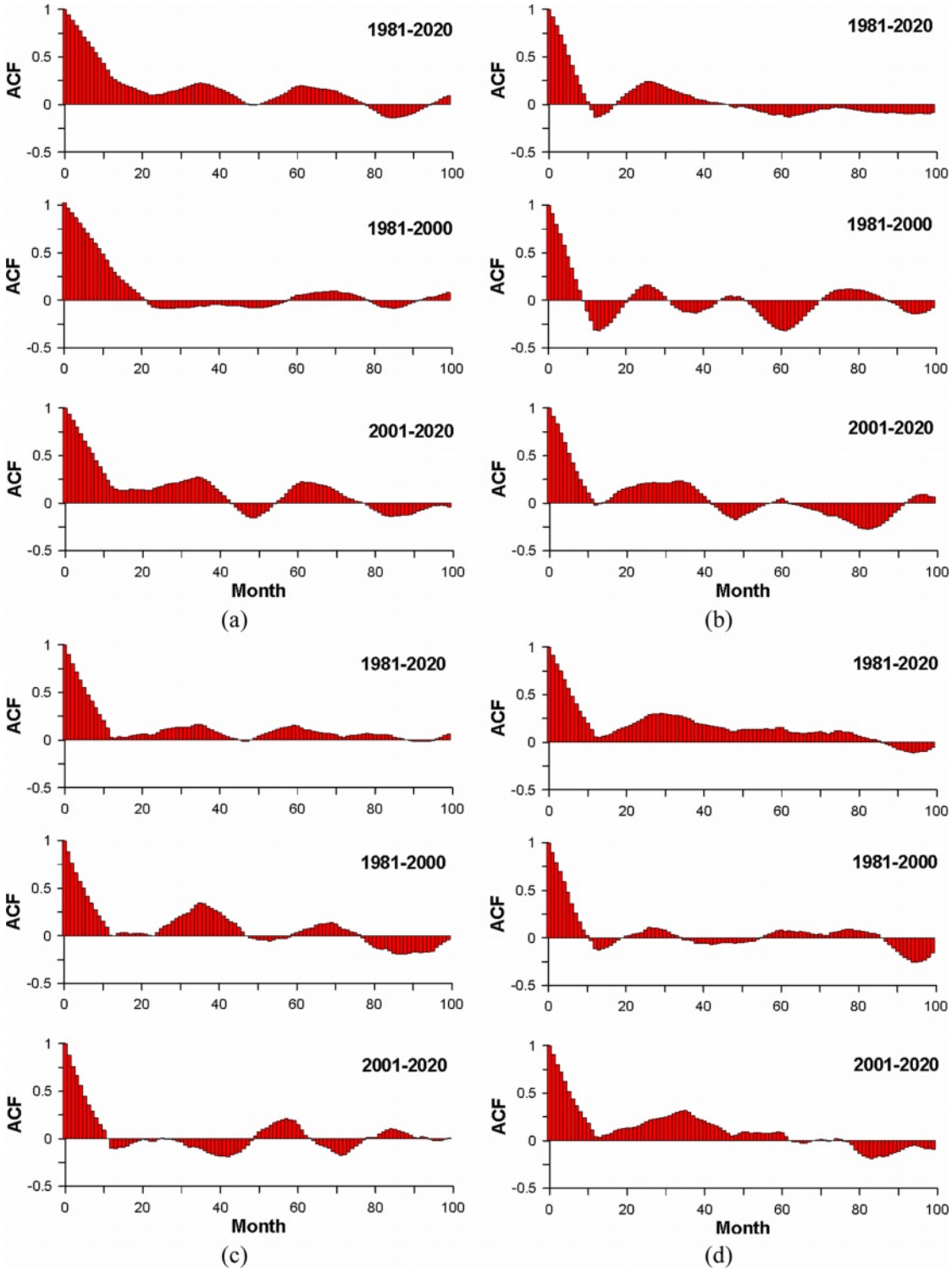

Fig. 3. Autocorrelation function for estimating drought cycle using SPI 12 (1981~2020) at Jagang (a), Nampo (b), Gangwon (c), and Pyungan-nam (d). ACF indicates autocorrelation function.

가 31%로 가장 높게 나타났으며, 서쪽과 남쪽에 위치한 평야지대인 남포시, 황해북도, 평안북도, 평안남도, 평양시의 농지면적 비율이 14% 이상으로 동쪽과 북쪽지역에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 반면 북부지역인 양

강도와 자강도의 경우에는 농지 면적이 3% 이하로 분석되었다.

행정구역별 주요작물에 대한 농지 면적 중 서쪽과 남쪽 지역인 황해남도, 평안북도, 평안남도, 황해북도, 평양시, 남포시 및 개성시는 전체 논 면적 574.1천 ha의 약 78%인 445.3천 ha를 차지하는 것으로 나타났다(Table 7). 특히 남포시, 개성시, 평양시, 황해남도, 평안남도 및 평안북도의 경우 전체 농지 면적에서 논 면적의 비율이 각각 약 68%, 64%, 63%, 58%, 55% 및 48%로, 쌀의 주산지는 이들 서쪽과 남쪽의 평야지역에 집중되는 것으로 분석된다. 반면 농지 면적이 약 3% 이하인 양강도와 자강도의 경우 밭 면적은 각각 37.0천 ha와 45.6천 ha로, 전체 밭 면적인 681.1천 ha의 약 12%를 차지하는 것으로 나타났다. 그러나 농지 면적 대비 밭 면적의 비율은 양강도와 자강도가 각각 95%와 87%로 나타남에 따라, 이들 지역에서 밭 작물에 대한 의존도가 매우 높은 것으로 나타났다.

북한의 재배 면적 변화 분석을 위하여 과거 40년 동안의 연평균강수량과 4가지 대표 작물(쌀, 옥수수, 감자 및 대두)의 재배면적을 이용하였다. 전체적으로 강수량과 작물 재배면적의 상관성은 크지 않지만, 1990년대 중반 이후의 대가뭄 시기를 경계로 옥수수 재배면적이 급격하게 감소한 반면 감자의 재배면적은 급격한 증가 이후 점차 안정화되는 추세로 나타났다(Fig. 4). 다만 대두의 경우에는 2015년 이후 급격하게 감소되는 것으로 나타났다.

3.2.2. 작물 생산량

북한전역의 연간 평균 쌀과 밭작물의 생산량은 각각 약 2,111천 ton과 2,079천 ton으로, 전체적으로 비슷한 수준으로 나타났다(Table 8). 행정구역별로는 쌀의 경우 논 면적이 집중된 서쪽과 남쪽 평야지역인 황해남도, 평안북도, 평안남도, 황해북도, 평양시, 남포시, 개성시에서 전체 대비 약 81%인 총 1,714.6천 ton을 생산하는 것으로 나타났다. 전국적인 단위면적 당 생산량은 0.034 ton/ha로 나타났으며, 이 중 시 지역을 제외하면 황해남도, 황해북도, 평안북도 및 평안남도가 각각 0.114, 0.062, 0.061 및 0.054 ton/ha로 다른 지역에 비해 생산성이 높은 것으로 나타났다.

전체 생산량 대비 쌀 생산량 비율은 시 지역을 제외하면 황해남도, 평안남도, 평안북도가 각각 60.1, 59.9, 51.2%로 높은 비율을 차지하는 반면, 밭 작물 생산량은 양강도, 자강도, 함경북도가 각각 96.3, 84.8, 68.8%로 북부 산간지역이 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

북한의 연도별 작물 생산량은 1990년대 중반까지 쌀과 옥수수 위주로 지속적인 증가세가 나타난 후, 1990년대 중반 이후의 대가뭄과 함께 급격하게 감소한 것으로 나타났다(Fig. 5). 대가뭄 이후에는 감자 재배면적의 증가와 더불어 생산량이 지속적으로 증가하여 쌀과 옥수수 생산량 대비 중간 수준의 생산량을 보이는 것으로 나타났다.

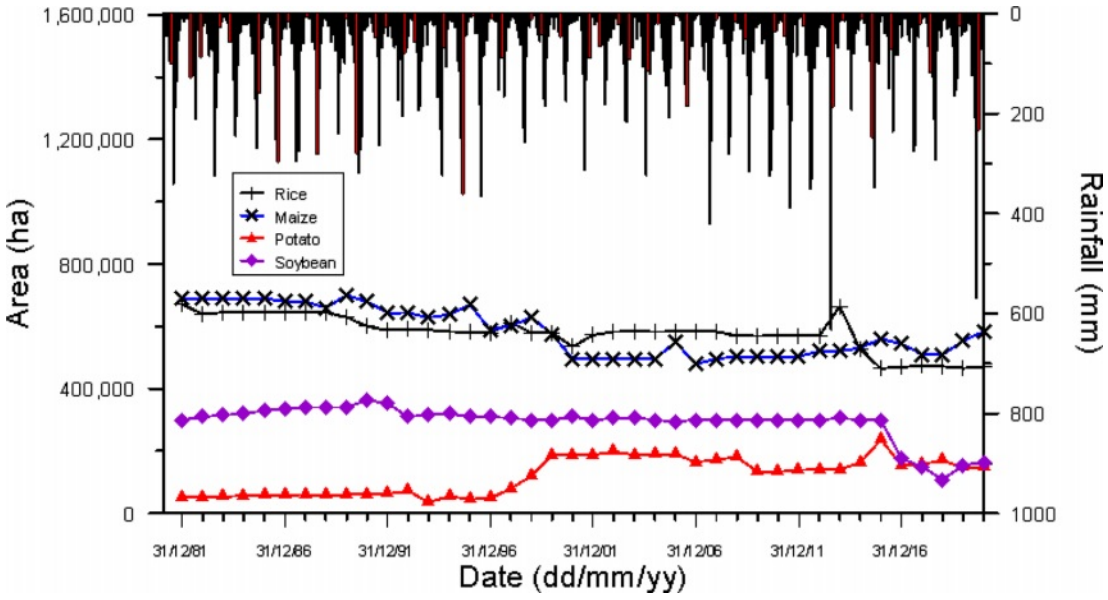

Fig. 4. Annual variation of area for major crops in DPRK (1981~2020).

Table 7. Agricultural land area for major crops estimated from the special reports in DPRK (unit: 10^3 ha)

Province	Total (A)	Paddy field (B)	Dry field					Field total (B+C)	Ratio of field (%, (B+C)/A)	Ratio of paddy field (%, B/(B+C))	Ratio of dry field (%, C/(B+C))
			Maize	Potato	Soybean	The rest	Total (C)				
Pyungyang-si	262.9	23.4	11.2	1.1	1.2	0.4	13.9	37.3	14.2	62.7	37.3
Pyungan-nam	1,186.7	97.4	63.8	8.3	6.9	2.0	81.0	178.4	15.0	54.6	45.4
Pyungan-buk	1,239.3	101.8	87.5	11.9	7.9	3.5	110.8	212.6	17.2	47.9	52.1
Jagang	1,676.5	7.0	35.7	2.4	5.0	2.5	45.6	52.6	3.1	13.3	86.7
Hwanghae-nam	819.7	146.9	84.5	12.0	9.2	3.1	108.8	255.7	31.2	57.5	42.5
Hwanghae-buk	815.4	58.3	75.6	6.1	8.1	2.7	92.5	150.8	18.5	38.7	61.3
Gangwon	1,108.7	34.0	36.6	3.3	4.0	1.3	45.2	79.2	7.1	42.9	57.1
Hamgyung-nam	1,860.3	60.6	50.1	12.1	5.1	4.1	71.4	132.0	7.1	45.9	54.1
Hamgyung-buk	1,673.8	25.4	49.4	9.1	6.1	1.8	66.4	91.8	5.5	27.7	72.3
Yanggang	1,388.8	1.8	5.0	19.8	3.0	9.2	37.0	38.8	2.8	4.6	95.4
Gaesung-si	130.9	3.4	1.6	0.2	0.0	0.1	1.9	5.3	4.1	64.2	35.8
Nampo-si	82.9	14.1	4.7	0.7	1.0	0.2	6.6	20.7	25.0	68.1	31.9
Total	12,245.7	574.1	505.7	87.0	57.5	30.9	681.1	1,255.2	10.3	45.7	54.3

Table 8. Productions of major crops in DPRK (unit: 10^3 m^3)

Province	Total area (10^3 ha) (A)	Rice (B)	Dry field crops					Total productions (B+C)	Productions per unit area (m^3/ha) (B+C)/A	Ratio of rice productions (%, B/(B+C)	Ratio of dry field productions (%, C/(B+C)
			Maize	Potato	Soybean	The rest	Total (C)				
Pyungyang-si	262.9	88.9	41.6	2.4	2.0	0.8	46.8	135.7	0.052	65.5	34.5
Pyungan-nam	1,186.7	383.4	224.6	19.0	9.5	3.2	256.3	639.7	0.054	59.9	40.1
Pyungan-buk	1,239.3	385.7	321.9	28.4	11.6	6.1	368.0	753.7	0.061	51.2	48.8
Jagang	1,676.5	23.6	114.2	5.5	7.2	4.3	131.2	154.8	0.009	15.2	84.8
Hwanghae-nam	819.7	564.3	320.2	31.4	16.1	6.3	374.0	938.3	0.114	60.1	39.9
Hwanghae-buk	815.4	220.0	256.6	13.6	12.7	6.1	289.0	509.0	0.062	43.2	56.8
Gangwon	1,108.7	99.0	105.2	6.3	3.8	1.9	117.2	216.2	0.020	45.8	54.2
Hamgyung-nam	1,860.3	197.4	156.2	29.5	7.0	7.2	199.9	397.3	0.021	49.7	50.3
Hamgyung-buk	1,673.8	74.4	127.4	23.6	9.5	3.2	163.7	238.1	0.014	31.2	68.8
Yanggang	1,388.8	4.0	11.1	70.8	3.9	18.8	104.6	108.6	0.008	3.7	96.3
Gaesung-si	130.9	10.2	5.0	0.5	0.0	0.0	5.5	15.7	0.012	65.0	35.0
Nampo-si	82.9	60.1	18.5	1.9	1.8	0.2	22.4	82.5	0.100	72.8	27.2
Total	12,245.7	2,111.0	1,702.5	232.9	85.1	58.1	2,078.6	4,189.6	0.034	50.4	49.6

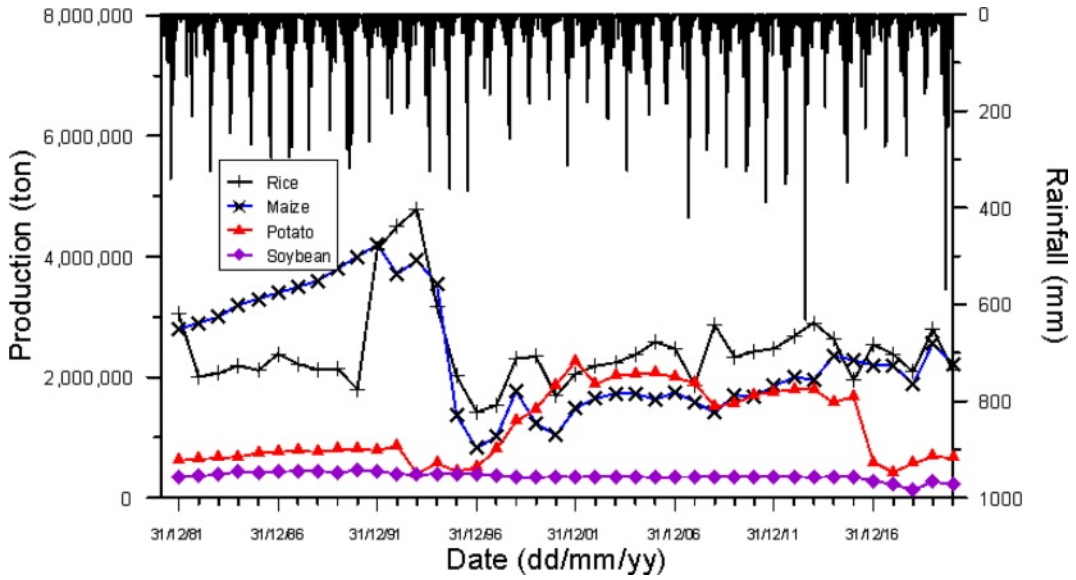

Fig. 5. Annual variation of productions for major crops in DPRK (1981~2020)

4. 토의 및 결론

기후위기 심화에 따른 북한의 가뭄이 농업에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 강수량의 시계열 자료를 이용한 표준가뭄지수인 SPI를 이용하여 최근 40년 기간 중의 가뭄 주기에 따른 농업 환경 변화를 분석하였다.

북한 전역에 극심한 가뭄이 발생한 1996~2003년(96개월) 기간 중 SPI 12의 장기 가뭄은 서부와 남부에서 21개월인 반면, 북부지방은 47개월 이상으로 약 2배 이상 발생 횟수가 큰 것으로 나타났다. 또한 북부지방과 북한 전역의 경우 SPI 6 이하인 단기 가뭄에 비해 장기 가뭄의 횟수가 약 1.5배 이상 증가했으며, 가뭄의 지속 기간도 북부지방으로 갈수록 길어지는 것으로 나타났다. 특히 북한 전역의 경우 SPI 12의 장기 가뭄 기간이 전체의 약 60%로 나타남에 따라, 1996년 이후 약 8년 간의 대가뭄 기간 동안 장기 가뭄에 의한 농업 생산성이 급격하게 악화된 것으로 추정된다.

또한 SPI 12로 분석된 전국 평균 가뭄 주기는 32.5개월이지만, 전기 20년이 40.9개월인 반면 최근 20년은 약 10개월이 단축된 30.3개월로 나타났다. 따라서 북한지역의 가뭄은 최근 들어 발생 주기가 짧아지는 것으로 나타났다.

이러한 기후 특성 변화에 따라 대가뭄이 발생하였으며, 이 시기를 경계로 밭 농업의 경우 옥수수 재배면적이 급격하게 감소한 반면 감자의 재배면적은 급격한 증가 이후 점차 안정화되는 것으로 나타났다. 특히 전체 농작물 재배 면적 대비 밭 작물 재배면적의 각각 95.4%와 86.7%를 차지하는 양강도와 자강도의 경우에는 장기 가뭄 증가가 밭 작물 생산량의 급감에 주요한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 반면 대가뭄 시기의 쌀 생산량의 급격한 감소의 영향은 벼 재배면적의 비중이 50% 이상(평양시, 개성시, 남포시, 평안남도 및 황해남도) 지역의 SPI 6 이하의 가뭄 기간이 이 지역을 제외한 타 지역과 유사함에 따라 북한 전역에 고르게 나타난 것으로 판단된다.

북한의 연도별 작물 생산량은 1990년대 중반까지 쌀과 옥수수 위주로 지속적인 증가세가 나타난 후, 1990년대 중반 이후의 대가뭄과 함께 급격하게 감소하였다. 대가뭄 기간 이후에는 가뭄에 비교적 적응력이 높은 감자 재배면적의 증가와 더불어 생산량이 지속적으로 증가하여 쌀과 옥수수 생산량 대비 중간 수준의 생산량을 보이는 것으로 나타났다.

결론적으로 향후 가뭄 주기의 변화에 따라 북한의 농업 생산 환경의 변화가 불가피할 것으로 판단된다. 최근 북한에서는 기후변화를 대비해 농업생산 구조를 기존의 벼와 옥수수에서 벼와 밀로 전환하는 정책을 추진하는 것으로 알려져 있다. 따라서 이 연구에서 분석된 가뭄 주기의 결과를 이용하는 경우, 미래 북한의 농업생산 환경 변화 분석이 가능할 것으로 판단된다.

References

FAOSTAT, 2022, http://faostat3.fao.org/home/E

FAO, 2002, Special report: FAO/WFP crop and food supply

assessment mission to the DPRK.

FAO, 2004, Special report: FAO/WFP crop and food supply assessment mission to the DPRK.

FAO, 2008, Special report: FAO/WFP crop and food security assessment mission to the DPRK.

FAO, 2010, Special report: FAO/WFP crop and food security assessment mission to the DPRK.

FAO, 2012, Special report: FAO/WFP crop and food security assessment mission to the DPRK.

KMA (Korea Meteorological Administration), 2022, Open MET Data Portal [https://data.kma.go.kr/resources/html/en/aowdp.html

Kwon, H.H. and Moon, Y.I., 2005, Analysis of hydrologic time series using wavelet transform, *J. Korean Water Res. Asso*., **38**(6), 439-448.

Lee, J.H., Seo, J.W., and Kim, C.J., 2012, Analysis on trends, periodicities and frequencies of Korean drought using drought indices, *J. Korean Water Res. Asso.*, **45**(1), 75-89.

Lyon, B., Bell, M.A., Tippett, M.K., Kumar, A., Hoerling, M.P., Quan, X.W., and Wang, H., 2012, Baseline probabilities for the seasonal prediction of meteorological drought, *J. App. Meteo. Clima*., **51**(6), 1222-1237.

McKee, T.B., Doesken, N.J., and Leist, J., 1993, The relationship of drought frequency and duration time scales, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California, USA, p.179-184.

Meadows, J.P., 2015, Agricultural production trends in the DPRK from 1995 to 2015: A study of the FAO/WFP crop and food securit assessment missions, Thesis of M.S. Degree, Korea University. 138 p.

RRI (Rural Research Institute, KRC), 2015, Establishment of plans for optimal development and use if groundwater in DPRK. 217 p.

RRI (Rural Research Institute, KRC), 2017, Development of Assessment Technology for Agricultural Drought using the Analysis of Real-time Groundwater Data, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 263 p.

Song, S.H., 2018, Assessment of drought effects on groundwater system in rural area using standardized groundwater level index (SGI), *J. Soil Groundwater Environ*., **23**(3), 1-9.

Song, S.H., Yoo, S.H., and Bae, S.J., 2013, Regional drought assessment considering climate change and relationship with agricultural water in Jeju Island, *J. Environ. Sci. Int.*, **22**(5), 625-638.

Yoo, S.H., 2009, Analyzing agricultural drought affected by climate change. Ph.D. thesis, Seoul National University, Korea.