

## 벼 작기중 발생한 El Niño와 국내 벼 작황과의 관계

이현석<sup>1</sup> · 양서영<sup>1</sup> · 백재경<sup>1</sup> · 송영서<sup>1</sup> · 김주희<sup>1</sup> · 조소혜<sup>1</sup> · 손지영<sup>1</sup> · 장재기<sup>1</sup> · 김준환<sup>2,†</sup>

### Relationship between Rice Yield in South Korea and El Niño Events that Occurred During the Rice Growing Season

Hyeon-Seok Lee<sup>1</sup>, Seo-Yeong Yang<sup>1</sup>, Jae-kyeong Baek<sup>1</sup>, Yeong-Seo Song<sup>1</sup>, Ju-Hee Kim<sup>1</sup>, So-Hye Cho<sup>1</sup>, Ji-Young Shon<sup>1</sup>, Jae-Ki Chnag<sup>1</sup>, and Junhwan Kim<sup>2,†</sup>

**ABSTRACT** After the strongest El Niño since 2015 occurred in 2023, there has been a growing interest in understanding its impacts on rice yield in South Korea. We investigated the impact of El Niño during the rice-growing season on rice yield by analyzing the correlation between detrended rice yield data and ONI (Oceanic Niño Index) values exceeding 0.5. The results show a positive correlation between ONI intensities and detrended rice yields. Furthermore, we found that variations in sunshine duration, precipitation, and typhoon activity affect detrended yield values positively and negatively. This pattern was similar to the classification of El Niño into Cold Tongue El Niño and non-Cold Tongue El Niño, which showed positive and negative detrended rice yield values, respectively. This observation suggests that predicting yield based on ONI intensity during Cold Tongue El Niño years may be feasible to some extent.

**Keywords** : El Niño, Oceanic Niño Index, precipitation, rice yield, sunshine hours

El Niño는 적도의 태평양 온도 변화를 나타내며 이에 따라 다양한 지역의 온도와 강수에 영향을 미친다(Trenberth, 1997; Naylor *et al.*, 2001; Barrios-perez *et al.*, 2021). 이로 인해 El Niño가 벼의 수량에 영향을 줄 것으로 예상되지만(Zubair, 2002; Deng *et al.*, 2010; Xie & Fang, 2020), Shim *et al.* (2016)의 연구에 따르면 El Niño 발생 시작 연도, 발생 종료 연도, 미 발생 연도로 분류하여 전국 또는 지역별 쌀 수량을 비교한 결과 통계적으로 유의미한 관계가 없다고 보고되었다. 그러나 2015-2016, 1997-1998, 1982-1983과 같이 역사적으로 강한 El Niño가 발생한 시기에는 쌀 수량이 상당히 높았다(<https://kosis.kr/>). 예를 들어, 2015년은 통계청 공식 기록이 시작된 1965년 이후 가장 높은 수량(542 kg/10a)을 기록했으며, 1997년은 1990년대 최고 수량

(518 kg/10a)을 기록했다. 1982년의 경우 수량(438 kg/10a)은 1980년대 최고 수량은 아니었지만 전년보다는 높았다(<https://kosis.kr/>). 또한 2023/24년 역시 강한 El Niño가 될 것으로 예측되고 있는데 2023년 수량(523 kg/10a) 역시 전년(518 kg/10a)보다 높아 수량이 낮은 해라고 볼 수는 없어 El Niño가 쌀수량에 영향을 미친 사례로 추가되었다. 즉 역사적으로 강한 El Niño가 발생한 년도에는 쌀수량이 증가하는 특성을 보였다. 이는 벼 생육기간의 El Niño와 쌀 생산량을 변화에 대해서 다시 한번 분석할 필요성을 보여주고 있다. 따라서, 발생 시작 연도의 El Niño, 특히 벼 생육기간 동안의 El Niño와 쌀 생산량 간의 관계를 다시 분석함으로써 El Niño 발생을 활용하여 쌀 수량을 예측하는 데 도움이 될 수 있음을 확인하고자 본 연구를 수행하였다.

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과 농업연구사 (Researcher, Crop Production & Physiology Division, NICS, RDA, Wanju 55365, Korea)

<sup>2</sup>국립한국농수산대학교 작물산림학부 교수 (Professor, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonsju 54874, Republic of Korea)

†Corresponding author: Junhwan Kim; (Phone) +82-63-238-9074; (E-mail) [sfumato@korea.kr](mailto:sfumato@korea.kr)

<Received 19 February, 2024; Revised 17 April, 2024; Accepted 18 April, 2024>

## 재료 및 방법

### 국내기상 및 El Niño

국내 기상자료는 기상청 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)에서 1965년부터 2023년까지의 기간 동안 관측된 13개 지역의 종관기상관측 자료를 활용하였다. 이 자료에는 평균 온도, 일조시간, 강수량 등이 포함되어 있다. 이 중에서 벼의 수량분석에 필수적인 일조시간이 지속적으로 기록된 지점 중, 1965년부터 벼의 생산 자료가 공개된 13개 지역이 선택되었다(Table 1).

El Niño 자료는 미 해양대기청(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)의 기후관측자료(www.nci.noaa.gov/access/monitoring/enso/sst) 중 ONI (Oceanic Niño Index)에 따른 정의를 활용하였다. ONI에서는 Niño 3,4 지역 태평양 해안의 표면 온도의 평년차 3개월 이동평균이 0.5 이상인 경우를 El Niño로 정의한다. ONI 자료는 기상 자료의 기간과 동일한 1965년 자료부터 사용하였으며, 벼의 작기 중 발생한 El Niño 현상이 이번 연구의 범위이므로 ONI 지수는 5·6·7월 이동평균값인 MJJ부터 8·9·10월 이동평균값인 ASO까지 모두 0.5 이상인 년도를 선정하였다. 해당 년도는 1965, 1972, 1982, 1987, 1991, 1997, 2002, 2015, 2023년이다. 이러한 분류는 Shim *et al.* (2016)의 El Niño 발생 년도에 따른 쌀 생산량을 분석한 결과를 참고하였다.

### 쌀수량 자료 및 추세 제거

쌀수량 자료는 통계청 국가통계포털(https://kosis.kr/)에서 획득하였으며, 통계청 공식 통계자료가 존재하는 1965년부터 2023년까지의 전국평균수량을 사용하였다. 시계열상의 쌀수량은 기상에 의한 변동 뿐만 아니라 품종 및 재배기술의 발전에 따른 수량증가 추세가 반영되어 있기 때문에 이를 기상과 수량과의 관계를 명확히 하기 위해서는 추세를

제거해야 한다(Kim *et al.*, 2019). 추세 제거를 위해 5년 이동평균을 이용하였으며, 추세가 제거된 수량은 5년 이동평균값 대비 증감율(%)로 나타내었다(Fig. 1). 이동평균 중 5년을 이용하는 이유는 현재 농촌진흥청 작황보고(Rural Development Administration, 2022)와 한국농촌경제연구원 농업관측 보고(Rural Development Administration Agricultural Observatory Center, 2023)에서 5개년 이동 평균을 활용하기 때문에 동일한 기준을 적용하였다. 다만 농촌진흥청 작황 보고는 5개년 평균을 한국농촌경제연구원 농업관측에서는 최대 최소값 제외한 평균을 활용하는데, 본 연구에서는 농촌진흥청의 5개년 평균값을 적용하였다. 1965년부터 1969년까지의 자료는 추세제거 과정에서 제외되었기 때문에 해당연도의 기상자료와 El Niño 자료 역시 차후 분석에서 제외하였다.

$$Detred\ yield_i(\%) = \frac{MA_{i-1} - Yield_i}{MA_{i-1}} \times 100$$

$i$  : 해당연도

$MA_{i-1}$  : i-5부터 i-1까지의 수량평균

$Yield_i$  :  $i$  년도의 수량

수량 자료 이외에도 쌀 생산의 감소를 설명하기 위해 재해연보 자료(Ministry of Construction, 1982; Ministry of Construction, 1987; Ministry of the Interior, 1991; Ministry of Public Administration and Security Central Disaster Response Headquarters, 1997; Ministry of Public Administration and Security Central Disaster Response Headquarters, 2002; Ministry of Public Safety and Security, 2015)를 사용하였으며 재해의 지표로는 농작물 피해 면적 중 답(畓)의 면적만을 이용하였다. 다만 1972년은 재해연보 발간이전으로 한국의 홍수 자료를 대신 사용하였다(Ministry of Construction, 1972). 이 자료는 피해면적이 아닌 피해량으로 통계가 기록되어

**Table 1.** Geographical details of weather stations included in the analysis.

Station name	Latitude	Longitude	Station name	Latitude	Longitude
Gangneung	37.75	128.88	Jeonju	35.83	127.12
Seoul	37.57	126.95	Ulsan	35.57	129.33
Incheon	37.47	126.62	Gwangju	35.17	126.88
Suwon	37.25	126.97	Busan	35.10	129.02
Chungcheong	36.22	127.98	Mokpo	34.82	126.37
Pohang	36.02	129.37	Yeosu	34.73	127.73
Daegu	35.87	128.65			

있어, 1972년 평균 단수를 이용하여 면적을 역산한 값을 사용하였다. 또한 1991년 이전 자료는 농작물 피해면적 단위가 ha가 아닌 정보였으나, 1 ha와 1정보는 같은 단위로 가정하여 처리하였다. 또한 2023년은 공식 자료가 나오지 않아 우선 제외하였다.

**통계처리**

ONI 지수와 추세 제거 수량 간의 관계를 규명하고, 이를 작황 예측의 활용을 위해 선형 회귀 분석을 수행하였다. 이 과정에서는 R.4.2.1 (Venables *et al.*, 2022)의 1 m 함수를 이용하였다.

**결과 및 고찰**

**쌀수량의 추세제거**

쌀수량의 전체적 수량 변화 추이는 Fig. 1a와 같이 통계가 작성된 1965년 이래 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 추세는 Kim *et al.* (2019)에 따르면 결국 품종과 재배기술의 발전에 기인한 것이기 때문에 5년 이동 평균을 이용하여 추세를 제거한 결과는 Fig. 1b와 같다.

우리나라의 쌀수량의 진폭은 1980년 이후로는 비교적 일정한 것으로 보이며 수량이 음의 극값을 보이는 연도는 1980, 1993, 2003, 2012, 2020년이었으며 반대로 양의 극값을 보이는 연도는 1984, 1996, 2008, 2015년이였다. 음의 극값은 약 13년의 주기에서 8년의 주기로 주기가 짧아지고 있으며, 양의 극값은 대략 12년 주기에서 7년 주기로 역시 짧아지고 있다. 음의 극값의 주기는 1980년과 1993년 그리고 2003년이 있는 것으로 볼 때 냉해와 관련 있는 것으로 보이며, 양의 극값을 나타내는 시점의 기상학적 원인은 일

조시간의 증가에 따른 것으로 보인다(Kim *et al.*, 2017). 2015년을 제외한 위의 극값이 발생한 연도들은, 벼 작기 중 ONI가 지속적으로 0.5이상이었던 1965, 1972, 1982, 1987, 1991, 1997, 2002, 2015, 2023년과는 일치하지 않아 본 연구에서는 활용하지 않았지만, 수량 변동의 주기와 기상학적 요소와 관련해서는 이 부분에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

**추세가 제거된 쌀 수량과 ONI와의 관계**

추세가 제거된 쌀 수량은 결국 기상에 의한 벼의 생육 반응이며, 그에 따른 쌀수량의 변동이라고 할 수 있다. 이 변동에 대한 El Niño와의 관계를 각 시기별 ONI와 추세가 제거된 수량 간의 관계로 나타내었다(Fig. 2). ONI가 커질수록 추세가 제거된 수량이 증가하는 경향은 있었다. 각 시기별 결정 계수는 MJJ (May, Jun and July) 에서 0.3639로 가장 낮고 ASO (August, September and October)에서 가장 높아 0.6838이며 ONI와 수량과의 일정한 관계가 있을 수 있음을 시사하였으나 작황을 예측하기에는 설명력이 부족하였다.

또한, 8개의 발생 연도 중 3번은 수량이 감소하였고, 5번은 증가하여 명확한 일관성이 발견되지 않았다. 이를 분석하기 위해 수량이 감소한 연도와 증가한 연도의 기상을 분리하여 1991-2020년 평년 기상차를 비교하였다(Fig. 3).

벼 재배기간동안의 온도를 먼저 살펴보면, 결과적으로 추세 제거된 수량이 증가한 연도에서는 전반적으로 온도가 높았고, 특히 7월 하순과 8월 상순의 온도가 평년대비 1°C 가량 높았다. 반면 추세 제거된 수량이 감소한 연도에서는 6월 중순 이후 지속적으로 온도가 낮아져 8월 상순에는 2.5°C 까지 낮아진 것으로 나타났으며(Fig. 3a), 이는 지속적인 강

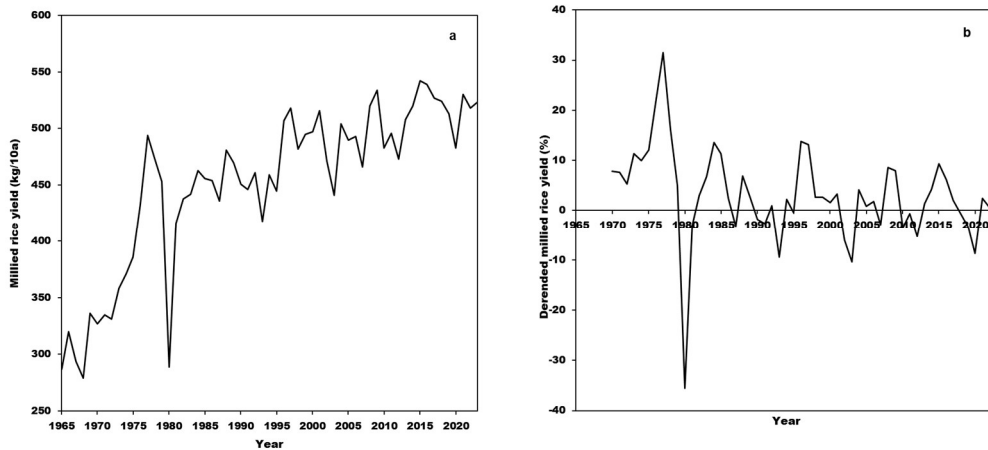
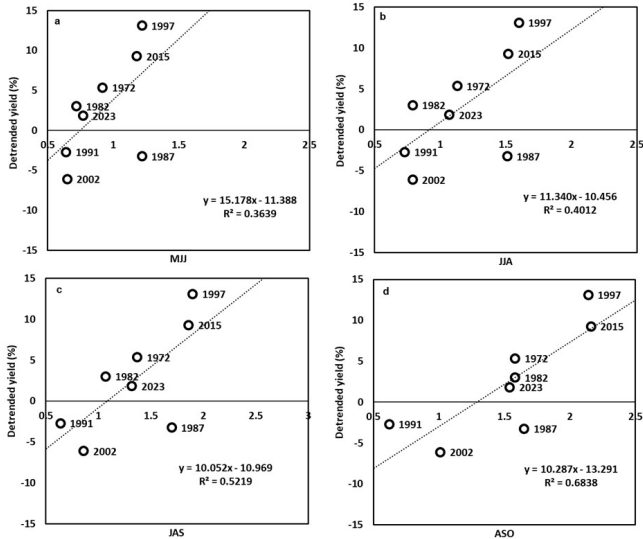


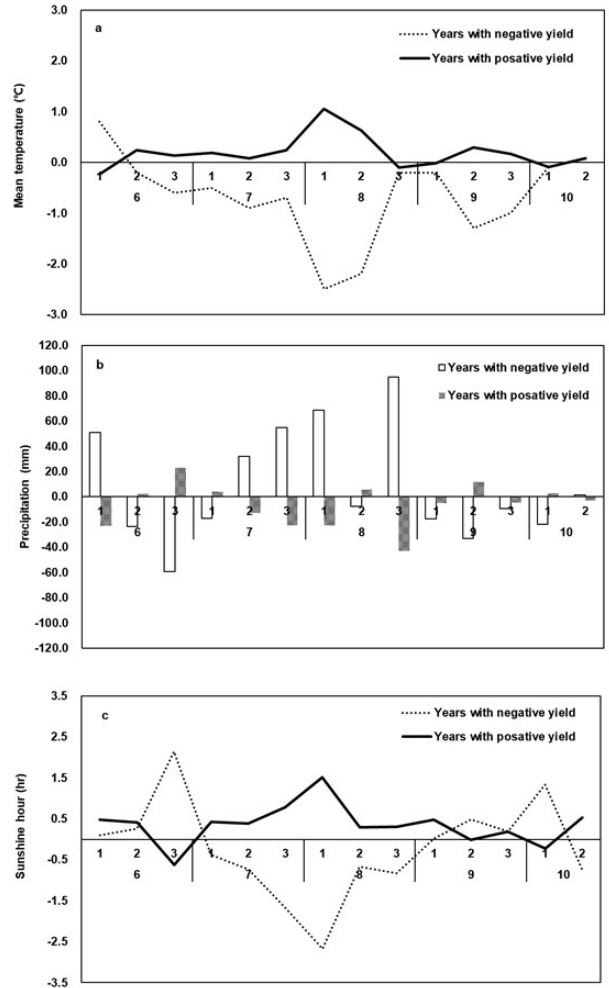
Fig. 1. National mean yield of milled rice (a) and detrended milled rice yield (b) in South Korea.



**Fig. 2.** Relationship between Oceanic Niño Index (ONI) and detrended rice yield. a: ONI of 3-month moving average for May, June and July. b: ONI of 3-month moving average for Jun, July and August, c: ONI of 3-month moving average for July, August and September, d: ONI of 3-month moving average for August, September and October.

우로 흐린 날씨가 지속되어 발생한 것으로 보인다. 그에 대한 근거로 추세 제거된 수량이 감소한 연도들의 평균 강수량은 7월 중순부터 8월까지 대체로 증가하는 반면, 증가하였던 연도는 강수량이 감소하였다(Fig. 3b). 일조시간의 경우에는 수량이 감소한 연도에서는 7월과 8월 일조시간이 감소하였고, 8월 초순에는 2.5시간 이상 감소하였다(Fig. 3c). 그러나 수량이 증가한 연도에서는 일조시간이 7월부터 9월까지 평년보다 높게 유지되었다(Fig. 3c). Kim *et al.* (2014)은 우리나라에서 벼가 풍년이 되기 위해서는 7월의 일조와 8월 하순부터 9월 중순까지의 일조시간이 동시에 높아야 한다고 하였다. 본 연구에서도 수량이 증가한 연도에서는 7월부터 9월까지의 일조가 높아 추세 제거 수량이 양의 값을 보였던 반면, 수량이 낮은 연도에서는 반대로 7월과 8월 일조가 낮은 경향을 보였다(Fig. 3c). 한편, 태풍 및 호우 발생에 의한 차이 역시 수량의 증감을 결정하는 것으로 보인다. 본 연구에서 선정된 8개 El Niño 발생 연도 중 추세 제거 수량이 음의 값을 보였던 3개년과 양의 값을 보였던 5개년에 대해서 각각 태풍 피해에 따른 농작물(답)의 피해 면적을 조사한 결과 음수였던 해의 피해가 더 큰 것을 알 수 있었다(Fig. 2; Fig. 4).

연도별로 보면 2002년이 1987년과 1991년에 비해 높았는데, 2002년은 태풍 RUSA, 1987년은 태풍 THELMA로



**Fig. 3.** The averaged meteorological factor for years with negative and positive detrended yields. Meteorological factors: mean temperature (a), precipitation (b) and sunshine hours (c).

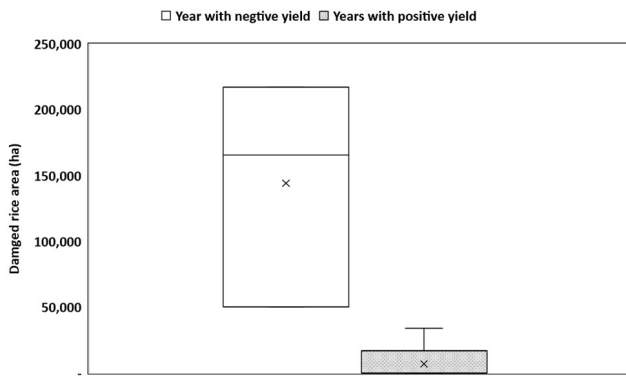
2014년 국민안전처(Ministry of Public Safety and Security, 2014)에서 정리한 우리나라 기상재해 피해액 순위에서 1위와 9위를 차지할 만큼 큰 기록적인 태풍이 발생한 해였다. 1991년 역시 태풍 GLADYS에 의한 피해가 발생하여 16위에 위치했다. 반면 추세 제거 수량이 양의 값을 보였던 해에는 태풍이 발생했으나 큰 피해가 없었다(Table 2).

이는 El Niño의 발생에 따라 태풍의 크기, 태풍이 오는 시기, 태풍의 이동 경로, 풍속 등이 변화되어 벼의 수량 감소 정도가 달라진 것으로 볼 수 있었다. 이에 대해서는 차후 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 종합하면 추세 제거 수량이 양의 값을 보이는 해에는 7월과 8월 여름 및 초가을을 9월의 강우량이 적고, 가을인 10월 강우가 많아 벼의 출수 및 등숙 초기에는 일조가 많은 특성을 보이며, 또한 태풍이 오더라도 벼에는 적은 피해를 입었다고 할 수 있

**Table 2.** Durations of typhoons and extent of damage to Korean rice-growing areas by year.

Category	Year	Typhoon name	Period (Month/Day)	Damaged rice area (ha)
Negative yield	1987	THELMA	7/15-7/16	217,037
	1991	GLADYS	8/22-8/26	50,007
	2002	RUSA	8/30- 9/1	165,544
Positive yield	1972	RITA	7/26	33
	1982	CECIL	8/13-8/14	34,216
	1997	TINA, OLIWA	8/7 - 8/9 9/15-9/17	1
		2015	GONI	8/23-8/27
	2023	KHANUN	8/10-8/11	Not available*

\*Official rice-growing area damaged during 2023 was not currently available.



**Fig. 4.** Box plot of damaged rice area in years with negative and positive yields.

다(Fig. 2; Fig. 3; Fig. 4; Table 2).

반면에 추세 제거 수량이 음의 값을 보이는 해는 7월과 8월 여름의 강수량이 높아, 벼의 출수 및 등숙 초기 일조가 적고, 반대로 9월과 10월 가을에는 강수량이 낮고 일조시간이 높았으며, 태풍의 영향이 크다고 할 수 있었다(Fig. 2; Fig. 3; Fig. 4; Table 2). 이와 관련하여 El Niño의 2가지 종류에 대해서 검토해 볼 필요가 있을 것으로 생각되었다.

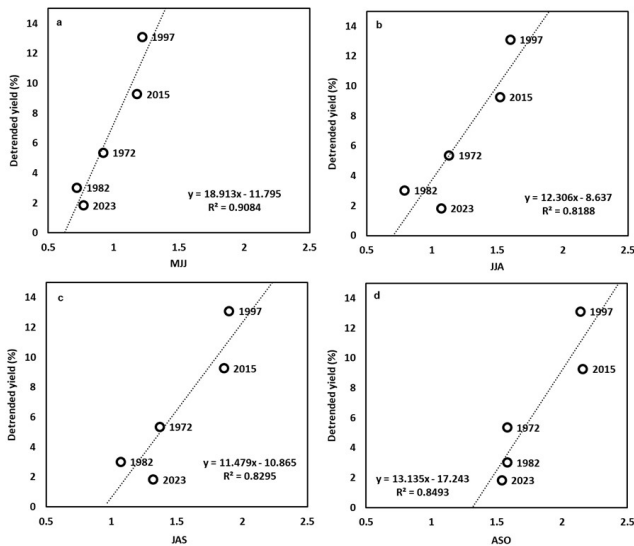
**El Niño 종류에 따른 쌀수량의 증감**

Kug *et al.* (2009)는 El Niño를 Warm pool El Niño와 Cold tongue El Niño로 분류하였다. 1972/73, 1976/77, 1982/83과 1997/98을 Cold tongue El Niño으로, 1977/78, 1990/91, 1994/95, 2002/03과 2004/05를 Warm pool El Niño로 분류하였으며, 1986/87, 1987/88,과 1991/92은 이 두 종류의 중간 정도로 분류하였다(Kug *et al.*, 2010). Kug *et al.* (2009)의 정의대로라면 2015년은 Cold tongue El Niño,

2023년 역시 Cold tongue El Niño로 분류할 수 있다.

Kug *et al.* (2009)의 정의는 간단히 설명하면, El Niño가 발생한 연도의 9월부터 그 다음 해 2월까지의 SST (Sea surface temperature)에 대한 과거 35년 평년값에 대해 평균을 사용하며, 그 결과 SST의 이동평균이 평년값 대비 약 0.5 이상의 고온을 보이는 현상의 중심이 Nino 3에 있으면 Cold tongue El Niño으로 분류한다고 한다. 그런데 이들 Cold tongue El Niño인 해에서는 대부분 추세 제거 수량이 양의 값을 보였다라는 점이 확인되었다(Fig. 2). 1972, 1982, 1997, 2015, 2023년이 본 연구의 양의 값을 보인 연도이자 Cold tongue인 연도였다(Fig. 2). 한편 SST의 이상고온 현상의 중심이 Nino 4에 있으면 Warm pool El Niño로 분류한다. Warm pool El Niño에서는 Cold tongue El Niño와 반대로 2002년이 음의 수량을 보이는 연도와 동일하였고, Kug *et al.* (2010)의 분류에서 중간적인 특성을 보인 연도인 1987년, 1991년이 음의 수량을 보이는 연도와 동일하였다. 즉, Cold tongue El Niño인 연도와 그렇지 않은 연도로 나눌 경우, 양의 수량을 보이는 연도와 음의 수량을 보이는 연도가 구분될 수 있다는 것이다.

두 종류의 El Niño 중 Warm pool El Niño인 경우에는 강우량과 관련해서 명확한 관련성이 없다고 하였다(Kug *et al.*, 2010). 일반적으로 El Niño는 발생 시기 이전 연도 6월부터를 발달기로 정의하고 이듬해 쇠퇴기를 7월로 정의하는데, 이를 적용하면 벼의 생육기는 발달기 6월부터로 볼 수 있다. Kug *et al.* (2010)의 결과에 따르면 Cold tongue El Niño시에는 강우량에 유의한 증가가 있다고 하였다. 11월의 강수량이 높고 9월의 강수량이 낮았는데 보통 강수량과 일조시간이 반대인 것을 생각하면 11월 일조가 낮고 9월 일조가 높을 가능성이 높다(Kug *et al.*, 2010). 이는 벼의



**Fig. 5.** The relationship between Oceanic Niño Index (ONI) and \*\*\* (DR), excluding the three years in which yields decreased due to typhoons. a: ONI of 3-month moving average for May, Jun and July. b: ONI of 3-month moving average for Jun, July and August, c: ONI of 3-month moving average for July, August and September, d: ONI of 3-month moving average for August, September and October.

중후기 등숙에 유리한 조건을 제공할 수 있다. 앞서 정리한 추세 제거한 수량이 양의 값을 보였던 연도의 특성과 일정 부분 일치한다(Fig. 2). 만일 El Niño 종류에 따른 분류를 Fig. 2에 적용하여, 음의 수량값을 보이는 연도를 Cold tongue El Niño가 아닌 것으로 분류하여 제거하면 Fig. 5와 같이 좀 더 높은 설명력을 보이는 관계식을 얻을 수 있다. El Niño가 자주 발생하는 현상이 아니며 벼의 작기중에 지속적으로 ONI 지수가 0.5를 넘는 경우는 많이 발생하지 않기 때문에 단정지를 수는 없으나, 벼의 작기중 발생한 El Niño 즉 6월 발달기의 El Niño가 Cold tongue El Niño로 판정된다면 작황 예측에도 활용이 가능할 것으로 보인다. 만일 작황예측에 활용된다면 El Niño의 종류에 대해 판별한 후 5, 6, 7월 이동평균 값이 나오는 8월 또는 6, 7, 8월 이동평균 값이 산출되는 9월에 예측이 가능할 수 있을 것이다.

그러나, 이를 위해서는 향후 작기 중 발생한 El Niño 종류에 대한 정의와 판별이 우선적으로 필요하다. 본 연구에서는 Kug *et al.* (2009)과 Kug *et al.* (2010)을 인용하였으나, 9월 이후의 자료를 활용하여 벼의 작기 중에 판별이 용이하지 않는 문제가 있다. 따라서 이를 판별하기 위한 다른 방법이 필요하다. 그런데 El Niño의 종류에 대한 정의 방법

이 연구자 마다 다르기 때문에(Kim *et al.*, 2014), 각각의 정의 방법별로 추세 제거 수량이 양이 나오는 연도와 음이 나오는 연도에 대해서 검토하고, 이때의 기상자료를 벼의 생육 단계에 따라 세부적으로 분석할 필요가 있다. 또한 향후 발생할 El Niño 자료를 지속적으로 수집해서 지속적으로 검증할 해야 할 것이다.

## 적 요

- 2015년 이후 가장 강한 El Niño가 2023년 발생하여 El Niño가 농업부분에 미치는 영향에 대해서 관심이 높아지고 있으며, 특히 우리나라의 쌀 수량에 미치는 영향을 다시 검토할 필요가 있다. 벼의 작기중에 발생한 El Niño가 쌀 수량의 증감에 영향을 주는지 규명하기 위해, 추세가 제거된 쌀 수량 자료와 벼 작기중 ONI 값이 0.5 이상으로 유지된 연도의 자료를 이용하여 이들의 관계를 조사하였다. 그 결과 ONI 강도가 높을수록 추세가 제거된 쌀 수량이 높게 나오는 경향을 확인하였다.
- 또한 추세 제거 쌀 수량 지수가 양의 값으로 나오는 연도와 음의 값으로 나오는 연도에는 여름 및 가을의 일조 시간 및 강수량이 다를 뿐만 아니라 태풍의 영향이 다르다는 것을 확인하였다. 이는 El Niño를 Cold tongue El Niño인 경우와 그렇지 않은 경우로 분류할 때와 유사하였다. Cold tongue El Niño인 경우에는 추세 제거 수량이 양의 값을 보였으며, Cold tongue El Niño이 아닌 경우에는 모두 음의 값을 보였다. 이를 활용하여 Cold tongue인 해에 ONI 강도에 따라 수량의 변화를 일정수준 예측이 가능할 것으로 보인다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 주요 식량작물(벼, 맥류)의 국내 생산량 예측을 위한 모델 개발, 과제번호: PJ016018012023)의 지원에 의해 이루어진 결과의 일부이며 연구사업 수행에 협조해 주신 모든 분들에게 감사드립니다.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Barrios-Perez, C., K. Okada, G. G. Varón, J. Ramirez-Villegas, M. C. Rebolledo, and S. D. Prager. 2021. How does El Niño Southern Oscillation affect rice-producing environments in central Colombia?. *Agricultural and Forest Meteorology* 306 : 108443.

- Deng, X., J. Huang, F. Qiao, R. L. Naylor, W. P. Falcon, M. Burke, S. Rozelle, and D. Battisti. 2010. Impacts of El Niño-Southern Oscillation events on China's rice production. *Journal of Geographical Sciences* 20 : 3-16.
- Kim, J. S., J. S., Kug, S.W., Yeh, H. J., Kim, and E. H., Park. 2014. Relation between climate variability in Korea and two types of El Niño, and their sensitivity to definition of two types of El Niño. *Atmosphere* 24(1) : 89-99.
- Kim, J., J. Lee, W. Sang, P. Shin, H. Cho, and M. Seo. 2019. Rice yield prediction in South Korea by using random forest. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 21(2) : 75-84.
- Kim, J., W. Sang, P. Shin, H. Cho, M. Seo. 2017. A Meteorological Analysis on High Rice Yield in 2015 in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 19(2) : 54-61.
- Kug, J.-S., M.-S. Ahn, M.-K. Sung, S.-W. Yeh, H.-S. Min, and Y.-H. Ki. 2010. Statistical Relationship between Two Types of El Niño Events and Climate Variation over the Korean Peninsula. *Asia-Pacific Journal of Atmosphere Science* 46(4) : 467-474.
- Kug, J.-S., F.-F. Jin, and S.-I. An. 2009. Two-types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño. *Journal of Climate* 22(6) : 1499-1515.
- Ministry of Construction. 1972. Floods in Korea, pp. 322-329.
- Ministry of Construction. 1982. Disaster Yearbook, 358p.
- Ministry of Construction. 1987. Disaster Yearbook, 650p.
- Ministry of the Interior. 1991. Central Disaster Response Headquarters, 398p.
- Ministry of Public Administration and Security Central Disaster Response Headquarters. 1997. Disaster Yearbook, 358p.
- Ministry of Public Administration and Security Central Disaster Response Headquarters. 2002. Disaster Yearbook, 199p.
- Ministry of Public Safety and Security, 2014: Disaster Yearbook, pp. 548-551.
- Ministry of Public Safety and Security. 2015. Disaster Yearbook, 129p.
- Naylor, R. L., W. P. Falcon, D. Rochberg, and N. Wada. 2001. Using El Niño/Southern Oscillation climate data to predict rice production in Indonesia. *Climatic Change* 50 : 255-265.
- Rural Development Administration, 2022: (Summer Crops) New Variety Development Joint Research Report New Variety Development, Crop Yield, New Variety Promotion. pp. 229-238.
- Rural Development Administration Agricultural Observatory Center. 2023. Agricultural Observation Information Rice December Issue, <https://www.krei.re.kr/krei/selectAgrObserveList.do?key=80>. Accessed 18 December 2023.
- Shim, G., M. Jung, Y. Kim, I. Choi, H. Kim, and K. Kang. 2016. Some Meteorological Anomalies and their Relationships with Rice Yield for El Niño Years in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 18(3) : 143-150.
- Trenberth, K. E. 1997. The definition of el nino. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78(12) : 2771-2778.
- Venables, W. N., D. M. Smith, the R Core Team. 2022. An Introduction to R Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics Version 4.2.1 (2022-06-23).
- Xie, R. and X. Fang. 2020. The unusual 2014-2016 El Niño events: Dynamics, prediction and enlightenments. *Science China Earth Sciences* 63(5) : 626-633.
- Zubair, L. 2002. El Niño-southern oscillation influences on rice production in Sri Lanka. *International Journal of Climatology* 22(2) : 249-260.