

## 엘니뇨-남방진동(ENSO), 전 세계 농작물 수확량 좌우

2021.07.22.자 NOAA의 ENSO 블로그 게재글

APCC 전문위원 김세원 번역

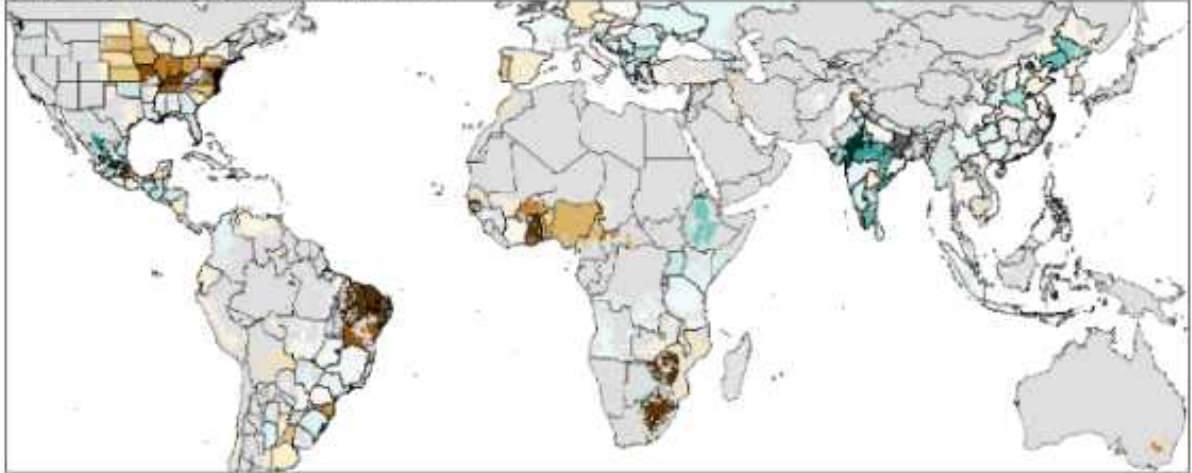
*※ 다음은 NOAA의 ENSO 블로그에 실린 글로서, 메릴랜드 대학교 내 지구시스템 과학 학제간 센터와 NASA 고다드우주비행센터에서 기근조기경보시스템(Famine Early Warning System) 팀원으로 일하고 있는 연구원 Weston Anderson이 게스트 자격으로 작성하여 올린 글이다. 블로그 특성상 표현이 다소 구어체적이다.*

몇 주 전, NOAA는 이번 가을에 라니냐가 다시 발달하여 북반구 21/22년 겨울까지 이어질 가능성이 있다는 내용의 라니냐 주의보(La Nina Watch)를 발표했다. 이럴 때 우리 같은 기후 과학자들은 ENSO가 강수와 기온에 미치는 영향이 어떤 건지에 대한 토론에 엄청나게 많은 시간을 보내겠지만, 그러한 변화가 식생과 작황에 있어서 어떠한 의미를 갖는지에 대한 토론은 무시하고 넘어가는 일이 흔하다. 그런데 이건 실수다.

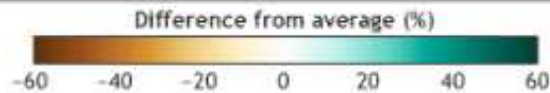
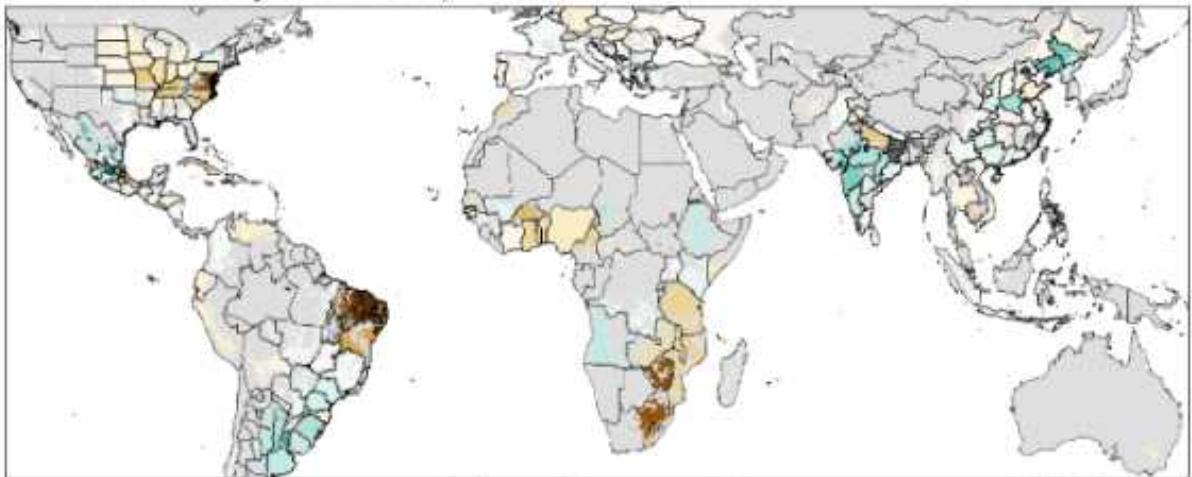
과학 공동체로서 우리는 작물 수확량의 흑자 및 적자에 대한 전지구적 패턴을 모니터링하고 예측함에 있어서 ENSO(엘니뇨/남방진동, 전체 엘니뇨-라니냐 시스템)에 대해 이미 알고 있는 지식을 이용하는 수준이다 보니, 그 결과는 영 신통치 않다. 우리 스스로에게 학점을 매겨야 한다면 C+를 주고 싶다. 통렬하게 들릴지 모르지만, 우리는 1980년대에 이미 ENSO가 지구대기 순환에 영향을 미치는 많은 방식에 대해 파악하지 않았던가. 1990년대 들어서서는 ENSO가 세계 많은 지역의 작황을 좌우한다는 점도 밝혀내지 않았던가.

그런데 그 이후 20여 년 동안 ENSO가 전지구 강수량 변화에 어떻게 영향을 미치는지에 대해 세심한 연구가 진행되긴 했었지만, 정작 많은 과학자들은 ENSO가 전 지구적 규모의 작물 수확량에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 연구는 소홀히 했고, 했다 해도 지역 규모에 대해서만 초점을 맞춰 수행하는 수준이었다. 전 지구를 대상으로 연구한 경우는 강한 엘니뇨로 말미암아 수년에 걸쳐 거의 모든 대륙의 작황에 대한 공간적 패턴이 결정되었던 때에 불과했다. 그러나 2010년 이후에야 우리 기후과학자들은 이 문제를 진지하게 연구하기 시작했다(예: Iizumi et al., 2014). 그동안 우리는 나무만 봤지 숲을 보지 못했던 것이다.

Observed maize yield anomalies, 1983



ENSO-related maize yield anomalies, 1983



NOAA Climate.gov  
Data: W. Anderson

(상단 패널) 옥수수 작황의 장기 추이 대비 관측 기반의 1983년도 작황 편차(백분율). 매우 강력한 엘니뇨가 1982년 3월에서 5월 사이에 발생하기 시작하여 1982년에서 1983년 10월에서 2월 사이에 정점을 찍고 약한 상태로 전환. 이후 1983년 8월-10월 라니냐 발생. (하단 패널) 1983년 ENSO가 옥수수 작황 편차에 영향을 미친 정도의 추정치. (그림 출처: Anderson et al. 논문 / NOAA 수정)

## 우리의 식량 체계는 전 지구적

ENSO가 나타난 해의 전지구적 작물 수확량 편차에 일정 유형의 패턴이 나타난다면, 이것이 왜 중요할까? 이점을 이해하기 위해서 우리는 일단 옆으로 빠져 전 지구 식량 체계에 대해 알아볼 필요가 있다.

“전 지구 식량 체계”라 함은 오늘날 인간이 소비하는 모든 칼로리의 약 4분의 1에 해당하는 양이 국제적으로 거래된다는 의미를 갖고 있다. 또 한 가지 의미는 식량 거래가 광범위한 농업 무역 자유화 이전인 30-40년 전과 비교하여 전지구적

으로 팔목할 만한 성장이 이뤄졌다는 것이다. 과거에 비해 오늘날 더 많은 사람들이 적정량의 칼로리에 접근할 수 있는데, 그 접근<sup>1)</sup>을 위하여 사람들은 점점 더 세계무역에 의존하고 있다.

국제적으로 거래되는 식량에 의존하는 것이 반드시 나쁜 것은 아니다. 이는 그저 당신이 속해 있는 지역에서 생산되는 식량에만 의존하는 체계와는 다른 형태의 식량체계이다. 전 지구 식량 체계의 한 가지 이점은 작물이 지리적으로 골고루 분포되어 있는 덕에, 한 지역이 가뭄이 들어도 그 곳의 작물 확보 길이 막히지 않는다는 것이다. 예를 들어, 한 국가는 경우에 따라 호주 같은 다른 국가로부터 충분한 밀을 확보할 수도 있는데, 호주가 수확량이 적어 충분한 밀을 생산하지 못한다면 그 대신 아르헨티나와 같은 국가로부터 밀을 얻을 수 있다. 그러나 이러한 안정성도 호주와 아르헨티나와 같은 주요 밀 생산 국가에서 밀 수확량이 동시에 나빠면 보장되지 않는다.

이제 다시 숲에 집중해보자.

## ENSO는 농작물 수확량을 컨트롤하는 괴물

지역별 곡창지대의 작물 수확량이 다른 먼 지역의 식량 부족을 보충할 수 있지만, 이러한 상호 의존성은 ENSO 이벤트 동안에는 무너질 수 있다. 앞서 언급했듯이 ENSO가 여러 계절에 걸쳐 전 지구의 강수량, 온도 및 운량을 좌우한다고 봤을 때, 그것이 결국 작물 수확량에도 영향을 미친다고 생각하는 것이 논리적이다<sup>2)</sup>.

---

1) 수천마일 떨어진 지역의 흉작으로 말미암아 전 세계 거래 작물의 가격이 급등하여 세계 여러 지역이 식량 부족을 겪게 될 수 있다. 이런 일이 실제로 2008년 세계 식량 가격 위기 때 발생했고 2011년에도 반복되었다.

2) 물론, 기후와 작물 수확량 사이의 관계가 항상 직접적인 것은 아니다. 그러나 ENSO가 작물 수확량에 영향을 미치는 방식이 이를테면 강수에 영향을 미치는 방식과 별반 다르지 않다. 예를 들어, 호주의 밀 수확량은 남미 남동부 지역의 그것과 연결되어 있는데, 이는 두 지역의 밀 성장기인 남반구의 봄 동안 ENSO에 의해 적도상에 대류가 있었고 이에 대한 반응으로 발생한 남태평양 전체의 대기순환 때문이라 할 수 있다. 호주는 이 때 발생한 대기 순환의 서쪽 가장자리에 있는 반면 남미 남동부는 태평양-남미 패턴(북반구에는 태평양-북미 패턴이 있음. 종전에 Michelle이 이에 관해 이전에 다룬 바 있음. Anderson et al. 2018 논문도 참조)으로 알려진 로스비 파 반응의 영향을 받는 동쪽 가장자리에 위치하고 있다. 마찬가지로, 남미 남동부와 북미의 작물 수확량이 서로 연관되어 있다. 왜냐하면 ENSO가 열대 태평양의 대류에 영향을 줄 때 로스비 파가 두 반구의 중위도로 전파되어 주요 밀과 옥수수 재배 지역의 강수량에 영향을 미치기 때문이다. 북미와 남미의 곡물 성장기가 상반되지만 ENSO 때문에 발생하는 대기 반응으로 말미암아 남미는 ENSO 이벤트 절정기 때 영향을 받고, 북미는 ENSO 이벤트 발달기나 쇠퇴기에 영향을 받는다. (Anderson et al. al., 2017; Anderson et al., 2018)

그리고 ENSO가 작물 성장기 기후에 영향을 끼치는 경우, 한해 농사의 승자가 나오게도 하고 패자가 나오게도 한다.

그렇다면 ENSO가 끼치는 영향력은 얼마나 광범위 한가? 전 지구적으로 봤을 때 대부분의 작물은 북반구 여름에 성장하는데, 이때 ENSO는 변동 폭이 상대적으로 약하고 지구 기후에 미치는 영향도 약해지는 경향이 있다. 좋은 나쁜 것 간에 ENSO는 전 세계 농경지의 4분의 1 이상에서 생산되는 작물의 수확량에 영향을 미치는 것으로 추정된다. 그리고 해마다 작물 수확량에 영향을 미치지 않지만, ENSO가 다른 날씨 및 기후 패턴에 비해 특히 두드러지는 해에는 매우 큰 영향을 미칠 수 있다<sup>3)</sup>. 예를 들어, 매우 강력했던 1982~83년 엘니뇨는 이후 라니냐로 전환되었지만, 당시 전 세계 옥수수 수확량에 엄청난 영향을 미쳤다. 그 해에 거의 모든 대륙의 옥수수 수확량에서 영향이 있었다.

소제목에서 ENSO가 ‘농작물 수확량을 컨트롤하는 괴물’이라고 한 것은, 그것이 전 세계 작물 수확량의 공간적 패턴을 좌지우지 한다는 의미만 있는 것이 아니라, ENSO 영향으로 인해 시간적으로도 작황이 좋은 해 또는 나쁜 해가 나타날 수 있다는 것을 의미한다.

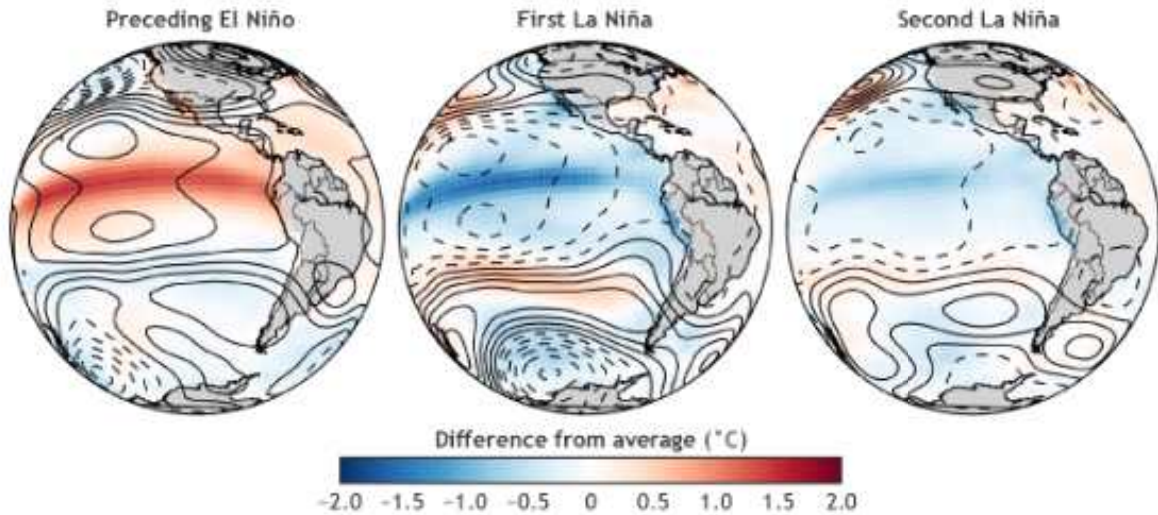
## 라니냐는 항상 짝을 데리고 다녀

ENSO의 한가지 특징으로 라니냐(La Niña)가 종종 쌍으로 연속해서 발생한다는 점이다. 마치 영화 샤이닝('The Shining')에 등장하는 그 무시무시한 쌍둥이 소녀들 처럼 말이다. 이 특징은 농업에 있어서 중요하다. ENSO 블로그의 열성 구독자들은 이미 눈치 챌겠지만, 작년이 라니냐 해였으니 앞서 언급한 라니냐 주의보대로 올해 또다시 라니냐가 다가오고 있다. 불행히도 그 악몽 같은 쌍둥이 소녀 식시귀 중 하나가 덮쳐오고 있는 것이다. 라니냐 때 가뭄이 드는 경향이 있는 지역에서는 더욱 큰 타격을 받는다. 미국 남부, 아프리카의 뿔 지역, 남아메리카 남동부 같은 지역에서 라니냐 이벤트가 연이어 발생한다는 것은 두 해 연속으로 흉년이 든다는 것을 의미한다<sup>4)</sup>. 이들 지역에서는 여러 해 가뭄이 들어 농업용 저수지의 물이

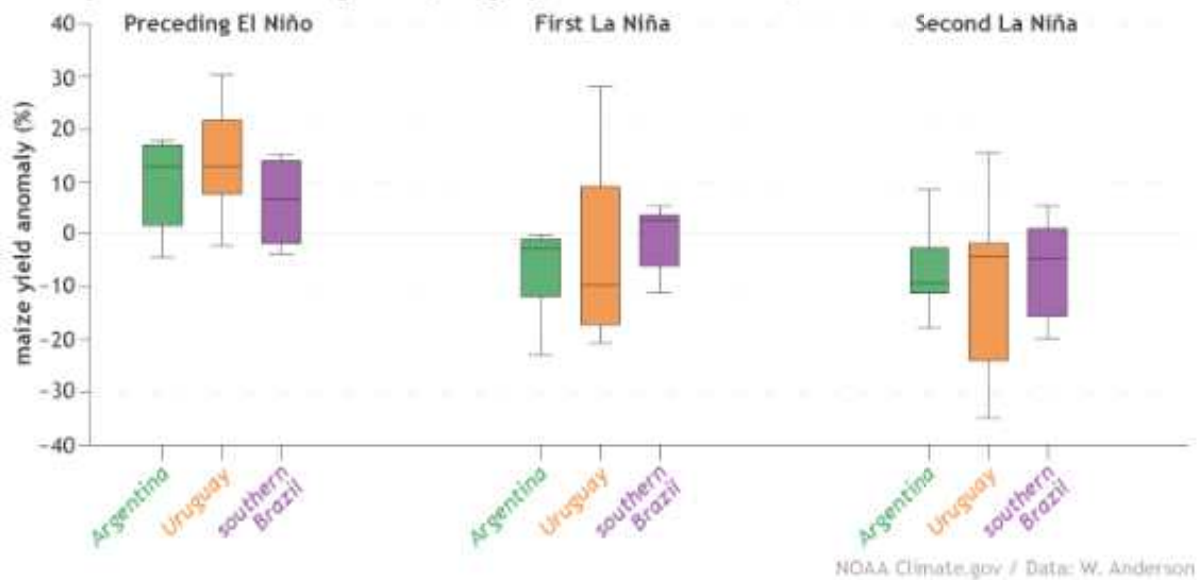
3) ENSO는 전 세계 농경지의 28%에 해당하는 면적에서 생산되는 작물 수확량에 영향을 미치는 것으로 추정된다(Heino et al. 2018). 이것은 ENSO가 가장 강력한 시기가 북반구 겨울 동안임에도 불구하고 그렇다는 것은 ENSO가 지구상에 내려뒀는 공간 발자국이 얼마나 광범위한지 알 수 있다. ENSO가 전 세계 작물 생산량의 연도별 변동성에 미치는 영향을 측정할 때, 주로 내세우는 것이 옥수수, 밀, 대두인데, ENSO는 이들의 전 세계 연간 생산량의 각각 18%, 7% 및 6% 정도만 변동시킨다(Anderson et al., 2019). 그러나 ENSO가 개별 지역 작물 수확량의 연도별 변동성에 미치는 영향은 훨씬 더 크다. 예를 들어, 아프리카 남동부에서 ENSO는 옥수수 수확량의 전체 연간 변동성의 4분의 1 넘게 좌우한다(Anderson et al., 2019).

고갈될 수 있으며 2년 연속으로 곡물 저장량이 감소될 수 있다. 이에 대한 좋은 증거로서 예를 들어, 예전에 남아메리카 남동부의 경우 두 번 연속 이어진 라니냐로 예상보다 수확량이 두 해 연속 낮았었다(Anderson et al., 2017). 따라서 이러한 지역은 현재 라니냐 주의보가 발표되었으니 두 해째 이어지는 흉년 가능성에 대비하길 원하는 것은 어찌면 당연한 일이다.

Sea surface temperature and geopotential height anomalies during La Niñas, Nov-Jan 1950-2010



Maize yield anomalies in Argentina, Uruguay, and southern Brazil, Nov-Jan 1950-2010



(상단패널) 1950-2010년 기간 중 11월-1월 라니냐 발생 시의 평균 해수면 온도 관측치와 지위고도 편차. 이에 앞서 엘니뇨가 있었고 뒤이어 약한 라니냐가 이어지는 경향이 있다.

(하단 패널) 아르헨티나, 우루과이, 남부 브라질(파라나, 산타 카타리나, 리오 그란데 두 술)의 옥수수 수확량 편차(장기 추세와의 편차를 백분율로 표시). 이 그림은 Weston Anderson이 제공하고 Climate.gov에서 수정.

4) 앞서 언급한 각 지역에서 남반구 여름 동안 재배된 작물은 작년 라니냐(2020-21) 절정기 동안 열악한 생장 조건 하에 놓였고, 이 때문에 작물 수확량이 감소하였다.

## 우려만 할 게 아니다. 그럼 어떻게 해야 하나?

앞으로 기후과학계는 식량체계 및 식량안보 공동체와의 공조 관계를 강화해 나갈 것이다. 농경제학자들만 대상으로 하자는 게 아니다. 목축업, 양식업, 세계 무역업 등을 연구하는 사람들과도 협력할 필요가 있다. 그렇게 함으로써, 우리는 ENSO가 지구 기후를 좌우하는 방식 그리고 지구 식량체계에 구조적 위기를 불러일으키는 방식을 파악·분석·예측함에 있어서 기후과학계가 그간 축적한 진정으로 놀라운 지식을 잘 활용할 수 있다.

### References:

Handler, P. and Handler, E., 1983. Climatic anomalies in the tropical Pacific Ocean and corn yields in the United States. *Science*, 220(4602), pp.1155-1156.

Cane, M.A., Eshel, G. and Buckland, R.W., 1994. Forecasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature. *Nature*, 370(6486), pp.204-205.

Mauget, S.A. and Upchurch, D.R., 1999. El Niño and La Niña related climate and agricultural impacts over the Great Plains and Midwest. *Journal of production agriculture*, 12(2), pp.203-215.

Podestá, G.P., Messina, C.D., Grondona, M.O. and Magrin, G.O., 1999. Associations between grain crop yields in central-eastern Argentina and El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 38(10), pp.1488-1498.

D'Odorico, P., Carr, J.A., Laio, F., Ridolfi, L. and Vandoni, S., 2014. Feeding humanity through global food trade. *Earth's Future*, 2(9), pp.458-469.

Porkka, M., Kummu, M., Siebert, S. and Varis, O., 2013. From food insufficiency towards trade dependency: a historical analysis of global food availability. *PloS one*, 8(12), p.e82714.

Heino, M., Puma, M.J., Ward, P.J., Gerten, D., Heck, V., Siebert, S. and Kummu, M., 2018. Two-thirds of global cropland area impacted by climate oscillations. *Nature communications*, 9(1), pp.1-10.

Iizumi, T., Luo, J.J., Challinor, A.J., Sakurai, G., Yokozawa, M., Sakuma, H., Brown, M.E. and Yamagata, T., 2014. Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature communications*, 5(1), pp.1-7.

Anderson, W.B., Seager, R., Baethgen, W., Cane, M. and You, L., 2019. Synchronous crop failures and climate-forced production variability. *Science advances*, 5(7), p.eaaw1976.

Anderson, W., Seager, R., Baethgen, W. and Cane, M., 2017. Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 239, pp.151-165.

Anderson, W., Seager, R., Baethgen, W. and Cane, M., 2018. Trans-Pacific ENSO teleconnections pose a correlated risk to agriculture. *Agricultural and forest meteorology*, 262, pp.298-309.