

# 연결을 넘어 기후 회복탄력성으로: 아프리카 농업에서 디지털 인프라의 기후 충격 조절 효과에 대한 패널 분석(2005-2023)

백용준<sup>†</sup> · 이경은

한림대학교 글로벌사회공헌연구소 HK연구교수

## Beyond connectivity to climate resilience: A panel analysis of digital infrastructure's moderating effect on climate shocks in African agriculture (2005-2023)

Baek, Yong Jun<sup>†</sup> and Lee, Kyung Eun

HK Research Professor, Institute for Global Social Responsibility, Hallym University, Gangwon, Korea

### ABSTRACT

Climate change poses a structural threat to agricultural productivity across Africa, while adaptation strategies centered on physical infrastructure face increasing limitations under rising climate volatility. In this context, access to timely and actionable information has become a critical component of climate adaptation. This study conceptualizes digital infrastructure not merely as a productive input, but as a structural condition that shapes how climate conditions and shocks are transmitted into agricultural productivity outcomes. Using a panel dataset covering 48 African countries from 2005 to 2023, this study estimates two-way fixed effects models with Driscoll-Kraay standard errors. The analysis distinguishes between continuous climate conditions and drought-related disaster events to examine whether digital infrastructure moderates different types of climate risks. The results reveal a dual moderating role of internet-based digital infrastructure. Under favorable climatic conditions, high internet penetration amplifies the positive marginal effects of climate on agricultural productivity. During drought episodes, digital infrastructure attenuates productivity losses by weakening the negative transmission of climate shocks. Johnson-Neyman analysis indicates that drought effects are statistically significant only at very low levels of internet penetration and become statistically indistinguishable from zero beyond a threshold of approximately 6.3 percent. Furthermore, comparing internet and mobile penetration reveals that this moderating effect is driven by information processing capacity rather than basic connectivity. These findings highlight the importance of digital information ecosystems as a structural component of climate adaptation policy, complementing physical investments to enhance the responsiveness and resilience of agricultural systems.

*Key words* : Climate Change Adaptation, Digital Transformation, Agricultural Resilience, Climate Information Systems, Drought Shock, Africa

### 1. 서론

기후위기 시대의 농업 성과는 단순한 자원 투입만으로 설명되기보다, 기상·시장 정보에 대한 접근성과 이를 의사

결정에 반영하는 능력에 따라 달라질 수 있다. 특히 기후 충격에 취약한 지역에서는 이러한 정보 기반 대응이 생산 성과 기후 충격에 대한 탄력성(충격의 흡수 및 회복)의 차이를 형성하는 조건으로 작동할 가능성이 크다. 아프리카

<sup>†</sup>Corresponding author : [yjbaek@hallym.ac.kr](mailto:yjbaek@hallym.ac.kr) (Institute for Global Social Responsibility, 1, Hallymdaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 24252, Korea. Tel. +82-33-248-3376)

ORCID 백용준 0000-0003-3182-1760

이경은 0009-0001-2667-1182

는 온실가스 배출에 대한 기여도가 낮음에도 불구하고, 기후변화로 인한 사회적·경제적 피해에 상대적으로 크게 노출된 지역으로 지적되어 왔다(UNEP, 2023). 또한, 기후 충격은 농업 생산성과 농가 소득을 매개로 경제 전반에 파급되며, 농업이 생계와 고용에서 차지하는 비중이 큰 아프리카 국가들에서는 그 영향이 식량 안보와 거시적 안정성과도 밀접하게 연결된다(World Bank, 2024a).

이러한 취약성이 누적되는 상황에서 기후 적응 전략은 관개시설 확충이나 수자원 인프라 구축과 같은 물리적 투자에 상대적으로 집중되어 왔다. 그러나 이러한 접근은 높은 초기 투자와 장기간의 구축 기간을 전제로 하며, 기후 충격의 빈도와 강도가 빠르게 변화하는 환경에서 충분한 유연성을 갖기 어렵다는 한계가 제기된다(IPCC, 2022). 따라서 물리적 투자에 더해 정보 접근성과 의사결정 체계를 강화하는 제도·정보 기반의 적응 방식을 병행할 필요가 제기된다(Hallegatte, 2009).

정보에 기반한 유연한 대응이 요구되는 까닭은 동일한 기후 충격이라도 농업 부문에 미치는 피해 양상이 일률적이지 않기 때문이다. 실제로 극단적 기후 현상이 수확량에 미치는 파급력은 생산 환경과 대응 역량에 따라 매우 차별적으로 발현된다(Schlenker and Lobell, 2010). 이는 기후 적응의 핵심이 충격의 발생 자체보다, 충격이 경제적 성과로 전이되는 과정에서 의사결정의 조정을 가로막는 정보적·구조적 제약을 어떻게 완화할 것인가에 있음을 시사한다.

앞서 논의한 정보적 제약을 완화하고 농업 부문의 구조적 적응 역량을 형성하는 핵심 수단으로 디지털 기술이 주목받고 있다. 선행연구는 디지털 기술이 기상 및 시장 정보에 대한 접근성을 개선해 농가의 의사결정을 지원하고, 농업 생산성의 평균 수준을 높인다는 점을 보여줬다(Fabregas et al., 2019). 최근 문헌은 여기서 더 나아가, 디지털 기술이 단순한 정보 제공을 넘어 기후 불확실성 하에서 적응과 조기 대응을 가능하게 하는 기반으로 작동할 수 있음에 주목한다. 예컨대 모바일 인터넷 사용은 기상 예측과 시장 가격 정보에 대한 접근을 확대함으로써 수자원 관리와 작물 관리 등 구체적인 기후 적응 조치의 채택을 촉진하는 것으로 나타났다(Kahsay et al., 2023). 또한, 원격탐사, 빅데이터, 인공지능과 같은 디지털 기술은 기후 변동성에 대한 모니터링과 예측, 자원 사용의 조정을 통해 농업 시스템의 대응 역량과 복원력에 기여할 수 있는 수단으로 논의돼 왔다(Parra-Lopez et al., 2024). 그러나 기존 연구는 대체로 디지털 기술을 생산성의 독립적 결정

요인으로, 기후 조건은 외생적 환경 변수로 다루는 경향이 강했고, 그 결과 디지털 기술이 기후 조건에서 생산성 전이 과정을 어떻게 조정하는지에 대한 분석은 상대적으로 제한되어 왔다. 따라서 디지털 인프라가 단순한 투입 요소를 넘어 기후 조건에 대한 생산성의 반응 구조 자체를 어떻게 조절하는지에 대한 실증적 검증은 여전히 충분하지 않다.

이와 함께 디지털 기술을 단일한 통신망 지표로 취급하거나 서로 혼용하는 접근 역시 중요한 분석적 한계를 안고 있다. 모바일과 인터넷은 정보의 전달과 처리 방식에서 질적으로 다른 기제를 통해 작동하기 때문이다. 모바일 기술은 주로 정보 검색 비용과 거래 비용을 낮춰 시장 참여를 확대하는 포용 경로로 기능하며, 이는 단기적 완충 장치로 이어질 가능성이 크다(Aker and Mbiti, 2010). 반면 인터넷은 방대한 데이터의 수집과 다방향적 분석을 가능하게 해 혁신과 생산구조의 질적 변화를 뒷받침하는 정보 처리 역량의 기반으로 작동한다(Deichmann et al., 2016). 실제로 최근 거시 연구도 정보통신기술을 단일 지표로 묶어 분석해 온 기존 접근의 한계를 비판하며, 모바일과 초고속 인터넷 등 개별 지표의 이질적 성격을 분해해 접근할 필요가 있음을 지적했다(Kouladoum, 2023). 그럼에도 상당수의 거시 실증 분석은 이러한 기술 간 질적 차이를 충분히 분해하지 않은 채 기후 적응 효과를 추정해 왔다.

기후 리스크처럼 불확실성이 큰 환경에서는 단순한 정보 획득을 넘어, 기상 예측과 위험 분산을 가능하게 하는 고도화된 정보 처리 역량이 요구된다. 따라서 기후 충격에 대한 적응 기제가 통신망의 단순 연결성에서 비롯되는지, 아니면 복합적 정보 처리 역량을 통해 작동하는지 실증적으로 구분할 필요가 있다. 이와 같은 기술의 질적 구분이 전제될 때, 디지털 전환이 어떤 조건부 경로를 통해 생산성을 방어하는지에 대한 구조적 메커니즘을 보다 명료하게 해석할 수 있다.

이러한 문제의식을 바탕으로, 본 연구는 디지털 인프라를 농업 생산성의 단순 결정 요인이 아닌 기후 조건에 따른 생산성의 반응을 조정하는 구조적 요인으로 개념화하여 실증 분석을 수행한다. 이를 위해 아프리카 48개국의 장기 패널 자료를 활용하여, 연속적인 기후 조건의 변동성과 가뭄 등 극단적 재난 충격이 농업 생산성으로 전이되는 경로를 추정한다. 특히 패널 고정효과와 설명변수의 시차를 적용한 식별 전략을 통해 인프라 확충에 따른 내생성을 통제하고, 기후와 기술 간의 구조적 상호작용을

엄밀하게 추정한다. 이 과정에서 정보 인프라가 평시에는 유리한 기후 조건의 생산성 효과를 증폭시키고, 위기 국면에서는 생산성 하락을 방어하는 이중적 조절 메커니즘으로 기능하는지 검증한다.

이에 더하여, 이러한 조절 효과가 단순한 통신망의 양적 확대에 해당하는 모바일에 기인하는지, 혹은 기상 정보의 탐색과 복합적 해석을 포괄하는 인터넷의 정보 처리 역량에 기인하는지를 실증적으로 분리하여 비교한다. 이를 통해 아프리카 농업의 기후 탄력성 형성 과정에서 디지털 전환이 작동하는 다층적 메커니즘을 거시적으로 구체화함으로써, 기술의 질적 차이와 정보 활용 역량이 지니는 구조적 의미를 밝히고 관련 논의를 한 단계 확장하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 자료 및 변수 구성

기후 충격이 아프리카 농업 생산성으로 전이되는 과정과 적응 여건을 실증적으로 분석하기 위해, 2005년부터 2023년까지 아프리카 54개국을 대상으로 국가 단위 패널 데이터셋을 구축했다. 다만 핵심 변수의 결측치와 시차 변수 생성으로 인해, 실제 추정에 사용된 표본은 자료 가용성에 따라 최종적으로 48개국으로 구성된 비균형 패널로 제한됐다.

종속변수와 주요 거시경제 통제변수는 세계은행의 세계

개발지표(World Development Indicators, WDI)와 세계거버넌스지표(World Governance Indicators, WGI)에서 수집했다(World Bank, 2024b, 2024c). 기후 조건을 나타내는 지표는 스페인 국립연구위원회가 제공하는 Global SPEI Database를 활용했으며(Beguería and Vicente-Serrano, 2023), 가뭄 재난의 발생 여부에 관한 정보는 국제재난데이터베이스(EM-DAT)에서 확보했다(CRED, 2024). 또한, 교육 수준을 대리하는 변수는 유네스코 통계연구소(UNESCO Institute for Statistics, 2024)의 자료를 활용했다. 주요 변수의 기초통계량은 Table 1에 제시했다.

종속변수는 단위 면적당 곡물 생산량(Cereal Yield)으로 정의했다. 이는 기후변화가 농업 생산에 미치는 영향을 분석한 국제 거시 연구에서 표준적으로 활용되는 물리적 지표이며(Lobell et al., 2011), 특히 사하라 이남 아프리카에서 생계와 직결된 핵심 작물의 생산 기반을 직접적으로 반영한다는 점에서 기후 충격의 실물 효과를 식별하기에 적합하다.

핵심 독립변수인 기후 조건은 표준강수증발산지수(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI)를 사용했다. SPEI는 강수량과 잠재 증발산량을 동시에 고려해 수분 수지의 변화를 측정하는 지표로, 단순 강수량 지표가 기온 상승에 따른 증발산 효과를 반영하지 못하는 한계를 보완한다. 이를 통해 수분 가용성의 변화를 종합적으로 반영하고, 기후 스트레스의 실질적 강도를 정교하게 측정하고자 했다.

Table 1. Descriptive statistics of key variables

Statistic	Observation	Mean	St. Dev.	Min	Max
Cereal Yield (kg/ha)	847	1,550.67	1,122.95	217.60	7,536.90
SPEI (Standardized Index)	847	-0.32	0.61	-2.17	2.10
Internet Usage (% of population)	834	18.57	19.69	0.22	91.00
Mobile Subscriptions (per 100 people)	834	66.48	39.34	0.52	179.03
Drought Event (dummy)	847	0.13	0.34	0	1
Fertilizer Consumption (kg/ha)	847	30.74	78.80	0.00	600.08
GDP per capita (USD)	847	1,741.56	1,614.65	253.45	7,269.05
Rural Population (%)	847	57.32	17.76	8.97	90.62
Governance Index (WGI)	847	-0.70	0.51	-2.41	0.71
Secondary Education (%)	847	38.53	21.57	6.10	95.60

Notes: SPEI denotes the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Secondary Education denotes the lower secondary education completion rate. Descriptive statistics are computed using the baseline estimation sample reported in Table 2.

디지털 인프라의 핵심 조절변수로는 인터넷 사용자 비율(Internet Usage)을 설정했다. 본 연구는 디지털 인프라를 단순한 통신 접근성이 아니라 기후 정보의 탐색과 해석을 포괄하는 정보 처리 환경으로 개념화하며, 이러한 특성을 포착하는 지표로 인터넷 사용자 비율을 활용한다. 아울러 정보 인프라가 구축되어 농가의 실제 적응적 의사 결정으로 전환되는 데 소요되는 구조적 시차를 반영하고 잠재적 내생성을 제어하기 위해 해당 변수에는 1년 시차( $t-1$ )를 적용하여 추정한다.

또한, 기술 유형에 따른 기능적 차이를 식별하기 위해 모바일 가입자 수(Mobile Subscriptions)를 대비 지표로 설정한다. 두 지표는 모두 디지털 인프라의 확산 정도를 나타내지만, 단순 통신망의 외연적 확대와 복합적인 정보 활용 역량이라는 질적 차이를 내포한다. 따라서 단순 연결성 효과와 정보 처리 역량의 조절 효과를 엄밀히 분해하기 위해, 두 변수를 혼합하지 않고 각각 독립적인 분석 모형을 구성하여 기후 충격과의 상호작용 이질성을 검증한다.

위기 국면에서의 안전망 효과를 식별하기 위해 EM-DAT에 기반한 가뭄 발생 더미 변수(Drought Event)를 추가로 구성했다. 이 변수는 단순한 기상학적 변동이 아니라, 일정 수준 이상의 사회·경제적 피해가 공식적으로 보고된 재난 사건을 포착한다는 점에서 연속적인 기후 지표인 SPEI와 구별된다. 실증 분석에서는 SPEI로 포착되는 연속적 기후 변동을 통제할 상태에서, 가뭄 재난 이벤트의 추가적 효과와 그 효과가 디지털 인프라 수준에 따라 어떻게 달라지는지를 상호작용항을 통해 추정했다.

아울러 비료 소비량(Fertilizer Consumption), 1인당 GDP(GDP per capita), 농촌 인구 비중(Rural Population), 거버넌스 지수(Governance Index) 등 주요 통제변수를 포함해 분석의 신뢰성을 확보했다. 교육 수준(Secondary Education)은 국제표준교육분류(International Standard Classification of Education, ISCED) 레벨 2에 해당하는 하부 중등교육 이수율(Lower Secondary Education Completion Rate)로 측정하여 모형에 포함했다. 해당 변수는 농업 생산성의 직접적인 인적 투입 요소를 통제하는 목적을 넘어, 교육 기회 확대에 따른 우수 노동력의 비농업 부문 이탈과 같은 경제의 구조적 전환이 농업 생산성에 미칠 수 있는 교란 효과를 제어하기 위해 설정됐다. 이를 통해 인적 자본의 부문 간 이동에서 비롯될 수 있는 잠재적 내생성을 완화하고, 기후 변수와 디지털 인프라 간의 순수한 상호작용 효과를 엄밀하게 식별하고자 한다.

## 2.2. 분석모형

기후 충격의 생산성 효과를 추정하기 위해 거시 기후-농업 패널 분석 프레임워크(Blanc and Schlenker, 2017)를 바탕으로 축약형 이원 고정효과(two-way fixed effects) 모형을 기본 사양으로 설정했다. 분석의 초점은 기후의 평균적 영향에 머무르지 않고, 디지털 인프라 수준에 따라 기후 충격의 파급력이 어떻게 달라지는지, 즉 생산성 반응 구조의 조건부 변화를 식별하는 데 있다. 이를 위해 국가 및 연도 고정효과를 포함하고, 기후 충격과 디지털 인프라의 상호작용항을 통해 조건부 효과를 추정했다.

기후 시스템의 광역적 동조화나 인접국 간 교역·생산 연계로 인해 국가별 관측치가 서로 독립적으로 움직이지 않을 수 있으며, 거시 패널에서는 시간적 자기상관도 함께 나타나기 쉽다. 이런 교차단면 의존성과 자기상관을 충분히 반영하지 않으면 표준오차가 과소추정되어 통계적 유의성이 과대평가될 수 있다는 점이 지적되어 왔다(Beck and Katz, 1995). 이에 따라 본 분석에서는 시간적 자기상관과 교차단면 의존성에 강건한 Driscoll-Kraay 표준오차를 적용해 추론을 수행했다(Driscoll and Kraay, 1998).

이러한 설계를 바탕으로, 기후의 평균적 변동이 농업 생산성에 미치는 기초적 영향을 먼저 확인하기 위한 기준 모형은 식 (1)과 같다.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 SPEI_{it} + \beta_2 Digital_{i,t-1} + \beta_3 (SPEI_{it} \times Digital_{i,t-1}) + X_{it}\gamma + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

여기서  $Y_{it}$ 는 국가  $i$ 의 연도  $t$ 에서의 곡물 생산량(Cereal Yield)을 나타내며,  $SPEI_{it}$ 는 연속적인 기후 조건(SPEI)을 의미한다.  $Digital_{i,t-1}$ 은 내생성 가능성을 완화하기 위해 1년 시차를 둔 디지털 인프라 수준(Internet Usage)이다.  $X_{it}$ 는 앞서 정의한 통제변수 벡터이며,  $\mu_i$ 는 관찰되지 않는 국가별 고유 특성을 통제하는 국가 고정효과,  $\lambda_t$ 는 모든 국가에 공통적으로 영향을 미치는 연도 고정효과, 그리고  $\epsilon_{it}$ 는 오차항을 각각 나타낸다.

본 연구의 핵심 관심 파라미터는 상호작용항의 계수  $\beta_3$ 이다. 이는 디지털 인프라 수준에 따라 기후 조건이 농업 생산성에 미치는 효과가 어떻게 변화하는지를 나타낸

다. 이를 보다 직관적으로 해석하기 위해, 식 (1)을 기후 변수에 대해 편미분하여 식 (2)와 같은 조건부 한계효과 함수를 도출했다.

$$\frac{\partial Y_{it}}{\partial SPEI_{it}} = \beta_1 + \beta_3 Digital_{i,t-1} \quad (2)$$

식 (2)는 기후 충격의 생산성 효과가 디지털 인프라 수준에 따라 달라질 수 있도록 모형화되어 있으며, 상호작용항을 통해 기후-생산성 관계에서 디지털 인프라의 조절 효과를 통계적으로 검증한다.

연속적인 기상 변동과 구분되는 재난 수준의 기후 충격을 분석하기 위해, EM-DAT에 기반한 가뭄 발생 더미 변수를 도입하여 식 (3)의 확장 모형을 추가로 추정했다.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 SPEI_{it} + \beta_2 Drought_{it} + \beta_3 Digital_{i,t-1} + \beta_4 (Drought_{it} \times Digital_{i,t-1}) + X_{it}\gamma + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

여기서  $Drought_{it}$ 는 공식적으로 보고된 가뭄 재난 발생 여부를 나타내는 더미 변수이다. 이 모형에서 핵심 관심 파라미터는 가뭄 발생 더미와 디지털 인프라 간 상호작용항의 계수인  $\beta_4$ 이다. 이는 가뭄이라는 극단적 기후 충격이 농업 생산성에 미치는 부정적 파급력이 디지털 환경에 따라 조건부로 어떻게 조절되는지 그 완충 효과의 크기를 직접적으로 측정한다.

결과적으로 식 (3)은  $SPEI_{it}$ 로 포착되는 연속적 기후 변동을 통제된 상태에서, 재난으로 분류될 정도의 극단적 충격이 농업 생산성에 미치는 추가적 효과와 그 효과가 디지털 인프라 수준에 따라 어떻게 달라지는지를 식별한다. 이를 통해 디지털 인프라의 조절 효과가 일상적 기상 변동과 재난 이벤트에서 동일하게 작동하는지, 또는 충격 유형에 따라 이질적으로 나타나는지를 검증한다.

최종적으로 앞선 분석에서 확인된 상호작용 효과가 특정 디지털 기술 지표나 시차 설정에 의해 좌우되는지 확인하기 위해 추가적인 강건성 검정을 수행했다. 먼저 인터넷 사용자 비율 대신 모바일 가입자 수를 조절변수로 사용한 동일한 사양을 추정해, 조절 효과가 특정 기술 유

형에만 국한되는지 살펴봤다. 다음으로 디지털 인프라 변수에 1년 시차(t-1)뿐 아니라 2년 시차(t-2)를 적용한 모형을 추가로 추정해, 정보 인프라의 영향이 단기적 반응에 머무르는지 아닌지를 점검했다. 이 강건성 분석은 변수 정의와 시차 구조를 달리하더라도 결과가 유지되는지, 즉 추정 결과의 안정성을 확인하는 데 목적이 있다.

### 3. 분석 결과

#### 3.1. 평시 기후 조건과 디지털 인프라의 상호작용 효과

기후 조건과 농업 생산성 간의 관계에서 디지털 인프라가 수행하는 조절 효과를 식별하기 위해 이원 고정효과 모형을 단계적으로 추정했으며, 그 결과를 Table 2에 제시했다. 국가별로 지속되는 구조적 차이와 연도별 공통 충격을 통제된 상태에서도, 주요 통제변수들의 추정치는 모형 사양이 달라져도 전반적으로 일관된 방향을 유지했다.

우선 통제변수만 포함한 Model (1)과 이후 사양을 비교하면, 농촌 인구 비중(Rural Population)은 모든 모형에서 통계적으로 유의한 음(-)의 계수로 추정됐다. 이는 농촌 인구 비중이 높은 국가에서 단위 면적당 생산성이 낮게 관측되는 경향이 있음을 시사하며, 투입재-인프라-시장 접근 등 생산 여건의 제약과 함께 나타나는 패턴으로 해석될 수 있다.

중등교육 이수율(Secondary Education) 역시 전 모형에서 유의한 음(-)의 계수로 나타났다. 이는 교육 수준과 농업 생산성 간에 음의 관계가 관측된다는 점을 보여주며, 그 해석은 교육이 농업 부문에 작동하는 경로와 구조를 함께 고려해 고찰에서 논의한다.

한편, 모형에서 보고되는 결정계수( $R^2$ )가 상대적으로 낮게 나타나는 것은 이원 고정효과 패널 분석의 특성과 부합한다. 본 연구의 분석은 생산성 수준을 최대한 설명·예측하는 데 목적이 있는 것이 아니라, 국가와 연도 고정 효과로 국가 간 구조적 차이와 공통 시간 충격을 제거한 뒤 남은 국가 내 변동을 활용해 기후 충격과 디지털 인프라의 조건부 효과를 식별하는 데 초점을 둔다. 이런 설정에서는 설명되는 변동의 범위가 제한되기 때문에  $R^2$ 가 낮게 보고될 수 있다.

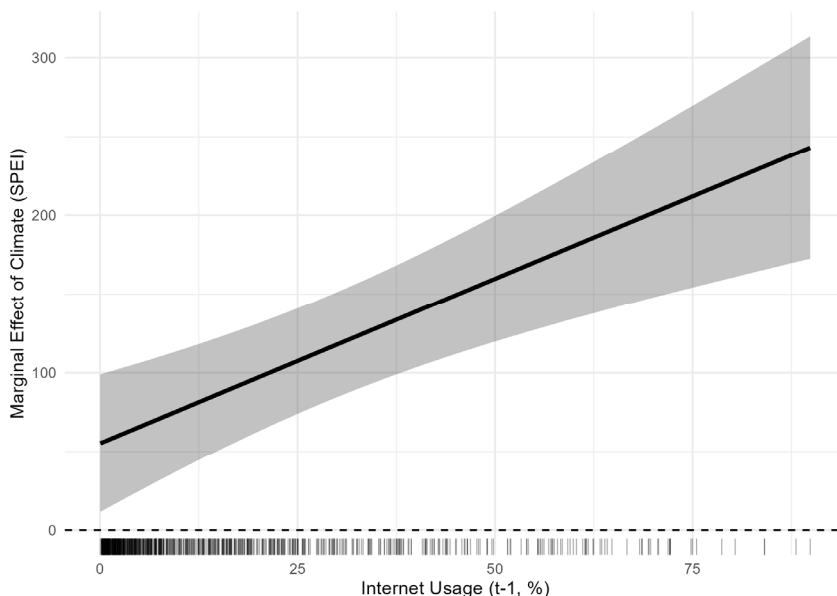
Model (2)는 기후 조건과 디지털 인프라의 독립적인 주 효과를 추정한 결과이다. 먼저 기후 변수(SPEI)의 계수는 92.141로 1% 수준에서 유의하게 추정되어, 유리한 기후 여건이 농업 생산성 제고에 직결됨을 확인했다. 이와 동

Table 2. Moderating effect of Internet usage on the climate–productivity relationship

	Dependent variable: Cereal Yield (kg/ha)		
	Baseline Controls (1)	Main Effects (2)	Interaction Term (3)
SPEI		92.141*** (15.428)	89.497*** (18.020)
Internet Usage (t-1)		5.581*** (1.005)	6.970*** (1.030)
SPEI × Internet (t-1)			2.089*** (0.513)
Fertilizer Consumption	4.841*** (1.270)	4.220*** (1.284)	4.061*** (1.323)
Log GDP per Capita	525.088*** (104.403)	515.415*** (102.312)	511.786*** (102.388)
Rural Population	-15.935*** (5.757)	-13.771** (5.689)	-11.432** (5.540)
Governance Index	-50.086 (50.975)	-66.958 (59.754)	-77.685 (58.992)
Secondary Education	-7.787*** (2.995)	-7.980** (3.193)	-8.391*** (3.111)
Observations	847	847	847
R <sup>2</sup>	0.075	0.121	0.129

Notes: SPEI denotes the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Driscoll–Kraay standard errors are reported in parentheses. All specifications include country and year fixed effects. Internet usage is lagged by one year (t-1) and mean-centered to facilitate interpretation and reduce non-essential collinearity in interaction terms.

\*\*\*p < 0.01, \*\*p < 0.05, \*p < 0.1.



Notes: SPEI denotes the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. The solid line shows estimated marginal effects. Shaded areas represent 95% confidence intervals. The rug along the x-axis indicates the distribution of internet usage.

Fig. 1. Marginal effects of climate (SPEI) by Internet usage

시에, 1년 시차를 적용한 인터넷 보급률(Internet Usage (t-1)) 역시 1% 유의수준에서 5.581로 유의한 결과를 나타냈다. 즉, 디지털 전환이 단순히 다른 변수들의 보조적 요인에 머물지 않고, 그 자체로 농업 생산성을 유의미하게 견인하는 주요 결정 요인임이 실증적으로 입증됐다.

Model (3)은 기후 변수와 디지털 인프라 간 상호작용항(SPEI × Internet)을 포함해 디지털 인프라의 조절 효과를 검증한 사양이다. 상호작용항의 계수는 2.089로 추정됐고, 1% 유의수준에서 통계적으로 유의했다. 이는 SPEI의 생산성 효과가 인터넷 보급 수준에 따라 달라질 수 있음을 시사한다. 이러한 조건부 패턴을 확인하기 위해 인터넷 보급률 수준별로 SPEI의 한계효과를 추정해 Fig. 1에 제시했다.

인터넷 보급률이 낮은 구간에서는 기후 조건(SPEI)의 한계효과가 상대적으로 작게 나타나며, 보급률이 높아질수록 한계효과가 점진적으로 확대되는 경향이 확인된다. 또한, 관측 범위 전반에서 95% 신뢰구간의 하한이 0을 상

회해, 추정된 한계효과가 전 구간에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이는 인터넷 보급 수준에 따라 기후 조건이 농업 생산성에 미치는 효과가 조건부로 달라질 수 있음을 시각적으로 보여준다.

### 3.2. 재난 발생과 디지털 인프라의 조건부 효과

기후위기 국면에서 디지털 인프라의 역할을 검증하기 위해 EM-DAT에 기반한 가뭄 재난 발생 여부(Drought Event)를 터미 변수로 구성하고, 이를 인터넷 보급률과 상호작용한 이원 고정효과 모형을 추정했다. 아울러 연속적인 기후 조건을 나타내는 SPEI를 함께 포함해, 일상적 기상 변동의 영향과 공식적으로 보고된 재난 충격의 추가 효과를 구분해 식별했다. 추정 결과는 Table 3에 제시했다.

연속적인 기후 조건을 나타내는 SPEI의 계수는 91.348로 추정됐으며, 1% 유의수준에서 통계적으로 유의했다. 이는 SPEI가 높아질수록, 즉 상대적으로 습윤한 기후 조

Table 3. Moderating effect of internet usage on drought shocks

	Dependent variable: Cereal Yield (kg/ha)
	Drought Shock Model (4)
SPEI	91.348*** (15.558)
Drought Event	-22.070 (36.866)
Internet Usage (t-1)	5.395*** (0.982)
Drought × Internet (t-1)	3.617* (2.159)
Fertilizer Consumption	4.127*** (1.237)
Log GDP per Capita	502.677*** (98.254)
Rural Population	-14.261** (5.674)
Governance Index	-46.728 (58.652)
Secondary Education	-7.587** (3.126)
Observations	847
R <sup>2</sup>	0.128

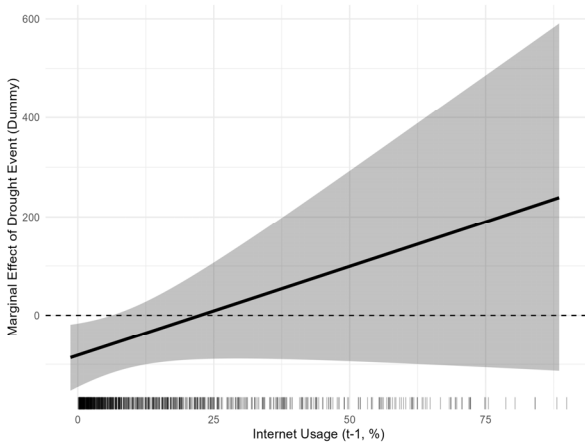
Notes: SPEI denotes the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Driscoll-Kraay standard errors are reported in parentheses. All specifications include country and year fixed effects. Internet usage is lagged by one year (t-1) and mean-centered to facilitate interpretation and reduce non-essential collinearity in interaction terms.

\*\*\*p < 0.01, \*\*p < 0.05, \*p < 0.1.

건일수록 농업 생산성이 더 높은 수준에서 관측되는 경향이 있음을 보여준다.

반면 가뭄 재난의 발생 여부를 나타내는 Drought Event의 추정 계수는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 재난 발생 자체의 평균적 효과가 본 표본에서 명확하게 식별되지 않았음을 의미한다.

가뭄 발생 여부와 인터넷 보급률의 상호작용항(Drought × Internet)은 3.617로 추정됐으며, 10% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이는 인터넷 보급률이 높을수록 가뭄 재난이 농업 생산성에 미치는 평균적 영향이 덜 부정적으로 나타나는 방향과 일치한다. 즉, 재난 충격의 파급 정도가 디지털 인프라 수준에 따라 조건부로 달라질 수 있음을 시사한다. 이러한 조건부 효과를 보다 직관적으로 확인하기 위해 인터넷 보급률 수준별로 가뭄 발생의 한계효과를 추정해 Fig. 2에 제시했다.



Notes: The solid line shows estimated marginal effects. Shaded areas represent 95% confidence intervals. The rug along the x-axis indicates the distribution of internet usage.

Fig. 2. Conditional effects of drought events across levels of Internet usage

인터넷 보급률이 매우 낮은 구간에서는 가뭄 발생의 한계효과가 음(-)의 값으로 추정되며, 95% 신뢰구간이 0을 포함하지 않아 농업 생산성에 통계적으로 유의한 하락 압력이 나타났다. 반대로 인터넷 보급률이 높아질수록 한계 효과는 덜 부정적인 방향으로 이동하며, Johnson-Neyman 기준으로 인터넷 보급률이 약 6.3%를 초과하는 구간부터는 신뢰구간이 0을 포함해 통계적으로 유의하지 않은 범위로 전환된다. 이는 가뭄이라는 기후 충격이 농업 생산성

에 미치는 실질적인 파급력이 단일하지 않으며, 해당 지역이 보유한 디지털 인프라의 정보 처리 역량에 따라 그 피해 규모가 결정되는 조건부 관계에 있음을 시사한다.

### 3.3. 강건성 검증: 디지털 기술 유형에 따른 이질성

앞선 분석에서 확인된 상호작용 효과가 특정 디지털 기술 지표에만 나타나는지 점검하기 위해, 인터넷 보급률 대신 모바일 보급률을 조절변수로 사용한 동일한 모형을 추가로 추정했다. 아울러 디지털 인프라 변수에 1년 시차(t-1)뿐 아니라 2년 시차(t-2)를 적용한 사양도 함께 추정해, 시차 설정에 따라 결과가 달라지는지 확인했다. 해당 결과는 Table 4에 제시했다.

인터넷 보급률을 조절변수로 활용한 사양에서 기후 조건(SPEI)과의 상호작용항 계수는 2.089로 추정됐으며, 1% 유의수준에서 통계적으로 유의했다. 나아가 2년 시차(t-2)를 적용한 모형에서도 상호작용항 계수가 2.508로 추정되며 동일하게 1% 수준의 통계적 유의성을 유지했다. 이는 관측된 조절 효과가 특정 연도의 단기적 변동에만 의존하기보다, 시차 설정을 달리해도 유지되는 구조적 패턴이라는 점을 뒷받침한다. 반면 모바일 보급률을 사용한 사양에서는 기후 조건과의 상호작용항이 1년 및 2년 시차 모형 모두에서 통계적으로 유의하지 않았고, 계수의 크기도 인터넷 사양에 비해 작게 나타났다.

정리하면, 기후 조건과 농업 생산성 간 관계의 조건부 변화는 인터넷 보급률 사양에서 일관되게 확인됐지만, 모바일 보급률 사양에서는 동일한 패턴이 뚜렷하지 않았다. 이는 디지털 지표의 유형에 따라 기후 조건이 생산성으로 전이되는 양상이 다르게 관측될 수 있음을 시사한다.

## 4. 고찰

본 연구의 실증 결과는 기후 충격과 농업 생산성 간 관계를 주로 단선적으로 다뤄 온 문헌적 흐름을 구조적으로 확장한다. 기존 문헌은 기후 변동성의 부정적 파급 효과(Schlenker and Lobell, 2010)와 디지털 기술 확산의 평균적 생산성 증대 효과(Fabregas et al., 2019)를 대체로 분리하여 접근해 왔다. 이에 비해 추정 결과는 디지털 인프라가 단순한 생산 투입 요소를 넘어, 기후 충격이 농업 성과로 전이되는 정도가 디지털 환경에 따라 달라질 수 있음을 보여준다. 이는 기후-생산성 간 연결을 하나의 고정된 구조로 보기보다, 정보 환경이 달라질 때 관계의 강도와

양상이 함께 변할 수 있음을 고려해야 함을 시사한다.

이러한 조건부 관계는 정보 접근성과 탐색 비용이 경제 주체의 의사결정 범위와 효율성을 제약할 수 있다는 정보 경제학의 관점과도 맞닿아 있다. Stigler (1961)는 정보 획득에 수반되는 탐색 비용이 낮아질수록 의사결정의 선택 지가 확장되고 조정이 가능해질 수 있음을 강조한다. 이를 농업에 적용하면, 정보 접근성이 제한된 환경에서는 기후 변동에 대한 예측과 대응이 지연되거나 투입·생산

계획의 조정이 비효율적으로 이루어질 가능성이 커지지만, 정보 접근성이 개선될 경우 농가는 기상·시장 신호를 보다 신속하게 반영해 생산 시기와 투입 구조, 위험 대응 전략을 조정할 여지가 확대될 수 있다.

기후 조건과 인터넷 보급률 간 상호작용이 유의하게 나타난 결과는 이러한 논의와 연결되며, 디지털 인프라가 기후 조건이 생산성으로 전이되는 정도를 달리할 수 있음을 시사한다. 재난 수준의 극단적 가뭄 충격을 활용한 모형에

Table 4. Robustness checks: Lag structure and technology type

	Dependent variable: Cereal Yield (kg/ha)			
	Internet (t-1) (5)	Internet (t-2) (6)	Mobile (t-1) (7)	Mobile (t-2) (8)
SPEI	89.497*** (18.020)	91.017*** (20.323)	70.456*** (14.289)	76.569*** (15.589)
Internet Usage (t-1)	6.970*** (1.030)			
Internet Usage (t-2)		7.384*** (1.144)		
Mobile Subscriptions (t-1)			0.619 (0.851)	
Mobile Subscriptions (t-2)				1.955** (0.778)
SPEI × Internet (t-1)	2.089*** (0.513)			
SPEI × Internet (t-2)		2.508*** (0.652)		
SPEI × Mobile (t-1)			0.080 (0.404)	
SPEI × Mobile (t-2)				0.161 (0.438)
Fertilizer Consumption	4.061*** (1.323)	3.519*** (1.353)	4.958*** (1.163)	4.433*** (1.127)
Log GDP per Capita	511.786*** (102.388)	459.324*** (90.895)	462.132*** (86.056)	348.181*** (90.329)
Rural Population	-11.432** (5.540)	-16.413*** (5.170)	-13.919** (5.993)	-15.671*** (5.684)
Governance Index	-77.685 (58.992)	-44.182 (62.184)	-71.716 (64.545)	-36.499 (70.719)
Secondary Education	-8.391*** (3.111)	-7.932*** (2.916)	-5.964* (3.325)	-4.935* (2.921)
Observations	847	793	870	822
R <sup>2</sup>	0.129	0.126	0.090	0.082

Notes: SPEI denotes the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Driscoll–Kraay standard errors are reported in parentheses. All specifications include country and year fixed effects. Internet usage and mobile subscriptions are lagged by one or two years (t-1, t-2), as indicated, and mean-centered to facilitate interpretation and reduce non-essential collinearity in interaction terms.

\*\*\*p < 0.01, \*\*p < 0.05, \*p < 0.1.

서도 완충적 패턴이 관측됐다는 점은, 디지털 기술이 기후 충격의 물리적 발생 자체를 바꾸기보다 충격이 경제적 손실로 전이되는 과정에서 손실의 크기와 지속성을 완화할 가능성을 보여준다. 물론 국가 단위 거시 패널 자료의 한계로 인해 개별 농가의 적응 행위를 직접 관측하기는 어렵지만, 정보 제약의 완화가 거시적 회복력과 결합되는 조건부 패턴을 제시했다는 점에서 학술적 의미가 있다.

특히 기술 유형 간 비교 결과는 디지털 기술을 단일한 연결성을 대신하는 지표로 취급해 온 접근의 한계를 드러낸다. 모바일 보급률에서는 상호작용 효과가 뚜렷하게 확인되지 않지만, 인터넷 보급률에서는 완충적 상호작용이 일관되게 관측됐다. 이는 단순 통신 접근성의 확대와 정보의 탐색·가공·활용을 가능케 하는 환경의 구축이 서로 다른 함의를 가질 수 있음을 시사하며(Musungwini, 2018; Onyeneke et al., 2023), 디지털 전환을 논의할 때 기술의 양적 확산과 기능적 속성을 구분해 해석할 필요성을 제기한다.

아울러 중등교육 이수율이 음(-)의 계수로 추정된 결과는 경제발전론의 구조적 전환 관점에서 해석할 수 있다. 인적 자본의 축적은 저생산성 농업 부문에서 상대적으로 부가가치가 높은 비농업 부문으로의 노동 이동을 촉진하며(Danquah and Amankwah-Amoah, 2017; McMillan et al., 2014), 자본 집약도가 낮은 아프리카 농업 환경에서는 이러한 이동이 단기적으로 농촌 내 숙련 노동력의 감소로 이어져 농업 노동 생산성 지표에 하락 압력으로 반영될 수 있다(Binswanger-Mkhize et al., 2010).

다만 인력 구성이 약화된다는 사실이 곧바로 농업 생산성의 영구적 하락을 의미하는 것은 아니다. 인터넷 기반 정보 인프라는 비대면 농업 지도 등을 통해 전문 인력 부족이라는 제약을 완화하고(Deichmann et al., 2016; Fabregas et al., 2019), 잔류 노동력이 기술을 채택하거나 생산 방식을 조정하는 과정에서 필요한 정보 탐색과 거래 비용을 낮춰 의사결정의 효율성을 높일 수 있다(Danquah and Amankwah-Amoah, 2017).

이처럼 구조적 전환이 농업 부문의 평균 인력 구성을 변화시키는 경로와 별개로, 디지털 인프라는 인적 자본의 공백을 보완하는 기제로 작동할 수 있다. 이러한 보완 효과는 단기적 생산성 하락 압력을 완충할 뿐 아니라, 조건에 따라 생산성의 순효과를 긍정적인 방향으로 전환할 가능성도 내포한다(Deichmann et al., 2016).

지금까지의 분석을 통해, 본 연구는 극단적 기후 충격과 디지털 전환이 교차하는 국면에서 아프리카 농업 부문

의 생산성 반응이 정보 인프라의 질적 수준과 유형에 따라 조건부로 달라질 수 있음을 실증적으로 규명했다. 이는 기후 리스크를 ‘충격의 규모’만으로 파악하기보다, 충격이 경제적 손실로 전이되는 과정과 그 민감도가 정보 환경에 따라 달라질 수 있음을 함께 고려해야 한다는 점을 역설한다. 따라서 디지털 전환은 단순한 기술 보급을 넘어, 기후 충격의 파급 양상을 형성하는 제도적·정보적 기반으로 이해될 필요가 있다.

## 5. 결론

본 연구는 2005년부터 2023년까지 아프리카 48개국 패널 자료를 활용하여, 디지털 인프라가 농업 생산성의 평균 수준과 연관될 뿐 아니라 기후 충격이 생산성으로 전이되는 정도가 디지털 환경에 따라 조건부로 달라질 수 있음을 실증적으로 제시했다. 연속적인 기후 조건과 재난 수준의 가뭄 충격을 구분해 추정된 결과, 인터넷 기반 정보 인프라는 평시에는 기후 여건 개선이 생산성으로 연결되는 효과가 강화되는 방향의 패턴을 보였고, 가뭄과 같은 위기 국면에서는 생산성 하락의 파급이 완화되는 조건부 패턴이 관측됐다.

기술 유형과 시차 설정을 달리한 비교 분석에서도 이러한 조절 효과는 인터넷 지표에서 상대적으로 일관되게 확인됐지만, 단순 모바일 보급률 지표에서는 뚜렷하지 않았다. 이는 기후 적응을 물리적 투자나 사후 대응에 한정해 설명하기보다, 정보 접근과 활용 여건이 충격의 경제적 파급을 좌우하는 조건으로 작동할 수 있음을 함께 고려해야 함을 시사하며, 디지털 전환 역시 단일한 연결성 지표로 환원하기보다 그 질적 속성을 구분해 해석할 필요가 있음을 보여준다.

정책 설계에서도 물리적 투자 중심 접근에 더해, 정보 환경을 적응 조건으로 함께 다루는 관점이 필요하다. 기상·시장 정보와 조기경보 체계는 충격의 물리적 발생 자체를 바꾸기보다, 파급 단계에서 손실이 확대되는 정도를 낮추는 방향으로 기능할 수 있으며, 이를 위해 정보는 영농 의사결정 시점에 맞춰 이해 가능한 형태로 전달되어야 한다. 더불어 정보 활용이 실제 행동으로 이어지도록 교육·역량 강화와 현장 기반 의사결정 지원이 결합되어야 하고, 성과 평가는 평균 수준 변화뿐 아니라 극단적 기후 국면에서 하락의 폭과 지속성이 어떻게 달라지는지도 함께 점검할 필요가 있다. 이를 통해 정보 인프라, 해석·활용 역량, 의사결정 지원 체계의 구축 및 연계 방식이 정보

기반 적응 정책의 실효 범위와 지속성을 규정하는 핵심 조건으로 작동할 수 있다.

다만 본 연구는 국가 단위 거시 패널 자료에 기반하고 있어, 디지털 정보 접근이 농가의 인지·해석을 거쳐 어떤 적응 행동으로 이어지는지, 그리고 그 변화가 거시적 생산성 지표에 어떻게 반영되는지를 직접 관측하기 어렵다는 한계를 지닌다. 향후 연구에서는 농가 단위 패널이나 반복 조사 자료를 활용해, 기상·시장 정보의 수용 및 활용이 파종 시기 조정, 품종 전환, 투입재 선택, 재배 면적 조정 등 구체적 의사결정으로 전이되는 경로를 단계적으로 검증할 필요가 있다. 또한, 정보 제공 시점과 농업 의사결정 주기의 정합성을 고려해, 디지털 정보가 사전적 조정과 사후적 대응 중 어느 채널에서 작동하는지 확인하는 작업이 요구된다.

아울러 통신망 구축이나 디지털 농업 서비스의 도입 시 차는 자연실험에 가까운 변이를 제공할 수 있다. 디지털 기술 도입의 지역별 편차를 활용해 이중차분법 등 준실험적 설계를 적용한다면, 디지털 환경 변화가 기후 피해를 완화했는지에 대한 인과적 효과를 보다 엄밀하게 식별할 수 있을 것이다. 나아가 지역별 기후 특성, 관개 인프라 구비 수준, 주요 시장 접근성 등 조건에 따라 효과가 어떻게 달라지는지 이질성을 체계적으로 점검할 필요가 있다. 이러한 후속 연구는 디지털 전환을 기후 적응의 보편적 해법으로 단정하기보다, 어떤 환경에서 기후 충격의 피해가 완화되는지 그 작동 범위와 한계를 구체화하는 데 기여할 것이다.

## 사사

이 논문은 2025년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2025S1A6B5A01003729)입니다.

## Reference

- Aker JC, Mbiti IM. 2010. Mobile phones and economic development in Africa. *J Econ Perspect* 24(3): 207-232. doi: 10.1257/jep.24.3.207
- Beck N, Katz JN. 1995. What to do (and not to do) with time-series cross-section data. *Am Polit Sci Rev* 89(3): 634-647. doi: 10.2307/2082979
- Beguéría S, Vicente-Serrano SM. 2023. SPEIbase v2.9 [Dataset]. Zaragoza, Spain: DIGITAL.CSIC; [accessed 2025 Oct 27]. doi: 10.20350/digitalCSIC/15470
- Binswanger-Mkhize HP, McCalla AF, Patel P. 2010. Structural transformation and African agriculture. *Glob J Emerg Mark Econ* 2(2): 113-152. doi: 10.1177/097491011000200203
- Blanc É, Schlenker W. 2017. The use of panel models in assessments of climate impacts on agriculture. *Rev Environ Econ Policy* 11(2): 258-279. doi: 10.1093/reep/rex016
- CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters). 2024. EM-DAT: The international disaster database [Dataset]. Brussels, Belgium: Université catholique de Louvain; [accessed 2025 Oct 27]. <https://www.emdat.be>
- Danquah M, Amankwah-Amoah J. 2017. Assessing the relationships between human capital, innovation and technology adoption: evidence from sub-Saharan Africa. *Technol Forecast Soc Change* 122: 24-33. doi: 10.1016/j.techfore.2017.04.021
- Deichmann U, Goyal A, Mishra D. 2016. Will digital technologies transform agriculture in developing countries? *Agric Econ* 47(S1): 21-33. doi: 10.1111/agec.12300
- Driscoll JC, Kraay AC. 1998. Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *Rev Econ Stat* 80(4): 549-560. doi: 10.1162/003465398557825
- Fabregas R, Kremer M, Schilbach F. 2019. Realizing the potential of digital development: The case of agricultural advice. *Science* 366(6471): eaay3038. doi: 10.1126/science.aay3038
- Hallegatte S. 2009. Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environ Change* 19: 240-247. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.12.003
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel

- on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009325844
- Kahsay GA, Garcia NT, Bosselmann AS. 2023. Mobile Internet use and climate adaptation: Empirical evidence from Vietnamese coffee farmers. *J Agric Resour Econ* 48(3): 429-447. doi: 10.22004/ag.econ.322849
- Kouladoum JC. 2023. Digital infrastructural development and inclusive growth in Sub-Saharan Africa. *J Soc Econ Dev* 25: 403-427. doi: 10.1007/s40847-023-00240-5
- Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333(6042): 616-620. doi: 10.1126/science.1204531
- McMillan M, Rodrik D, Verduzco-Gallo Í. 2014. Globalization, structural change, and productivity growth, with an update on Africa. *World Dev* 63: 11-32. doi: 10.1016/j.worlddev.2013.10.012
- Musungwini S. 2018. Mobile phone use by Zimbabwean smallholder farmers: A baseline study. *Afr J Inf Commun* 22: 29-52. doi: 10.23962/10539/26171
- Onyeneke R, Ankrah D, Atta-Ankomah R, Agyarko FF, Onyeneke CJ, Nejad JG. 2023. Information and communication technologies and agricultural production: New evidence from Africa. *Appl Sci* 13(6): 3918. doi: 10.3390/app13063918
- Parra-López C, Ben Abdallah S, Garcia-Garcia G, Hassoun A, Sánchez-Zamora P, Trollman H, Jagtap S, Carmona-Torres C. 2024. Integrating digital technologies in agriculture for climate change adaptation and mitigation: State of the art and future perspectives. *Comput Electron Agric* 226: 109412. doi: 10.1016/j.compag.2024.109412
- Schlenker W, Lobell DB. 2010. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environ Res Lett* 5(1): 014010. doi: 10.1088/1748-9326/5/1/014010
- Stigler GJ. 1961. The economics of information. *J Polit Econ* 69(3): 213-225. doi: 10.1086/258464
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2023. Emissions gap report 2023: Broken record—temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme. doi: 10.59117/20.500.11822/43922
- UNESCO Institute for Statistics. 2024. UIS data browser [Dataset]. Montreal, Canada: UNESCO Institute for Statistics; [accessed 2025 Oct 27]. <https://databrowser.uis.unesco.org/>
- World Bank. 2024a. Africa's pulse, No. 29, April 2024: Tackling inequality to revitalize growth and reduce poverty in Africa. Washington, DC: The World Bank Group; [accessed 2026 Feb 16]. <https://www.worldbank.org/africaspulse>
- World Bank. 2024b. World development indicators [Dataset]. Washington, DC: The World Bank; [accessed 2025 Oct 27]. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- World Bank. 2024c. Worldwide governance indicators [Dataset]. Washington, DC: The World Bank; [accessed 2025 Oct 27]. <https://databank.worldbank.org/source/worldwide-governance-indicators>