

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.4.365>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Temporal Trends in Available Phosphorus Across Four Types of Agricultural Fields from 2013 to 2020

Jeong Gu Lee<sup>1</sup>, Min-Hye Park<sup>2</sup>, Myung-Sook Kim<sup>3</sup>, Tae-Goo Lee<sup>4</sup>, Ha-il Jung<sup>4</sup>, Seung-Gyu Lee<sup>5</sup>, Seon-Hye Baek<sup>5</sup>, and Eun-Jin Lee<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

<sup>2</sup>Technician, Soil and Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

<sup>3</sup>Agricultural Senior Researcher, Soil and Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

<sup>4</sup>Agricultural Researcher, Soil and Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

<sup>5</sup>Research Associate Fellowship, Soil and Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

\*Corresponding author: [eunjin0219@korea.kr](mailto:eunjin0219@korea.kr)

### ABSTRACT

**Received:** October 13, 2023

**Revised:** November 29, 2023

**Accepted:** November 30, 2023

#### Edited by

Sang Yoon Kim,  
Suncheon National University,  
Korea

Phosphorus (P) is a vital nutrient for global agriculture, playing a pivotal role in crop germination and growth. However, improper usage of phosphorus can lead to detrimental effects on crops and significant environmental pollution. This study investigates the changes in available phosphate ( $P_2O_5$ ) concentration in agricultural fields across 17 regions in South Korea from 2013 to 2020. During the study period, the total agricultural land area consistently decreased. Although rice paddy fields accounted for the largest proportion of the total agricultural area, the available  $P_2O_5$  accumulation was the lowest due to low available  $P_2O_5$  concentration. In contrast, soils within greenhouses accumulated excessive levels of available  $P_2O_5$ , significantly exceeding the recommended range. This underscores the importance of improved fertilizer management in greenhouses for the future sustainability of agriculture.

**Keywords:** Excessive fertilizer, Greenhouse, Orchard, Paddy, Upland

#### ORCID

Jeong Gu Lee

<https://orcid.org/0000-0003-1080-1971>

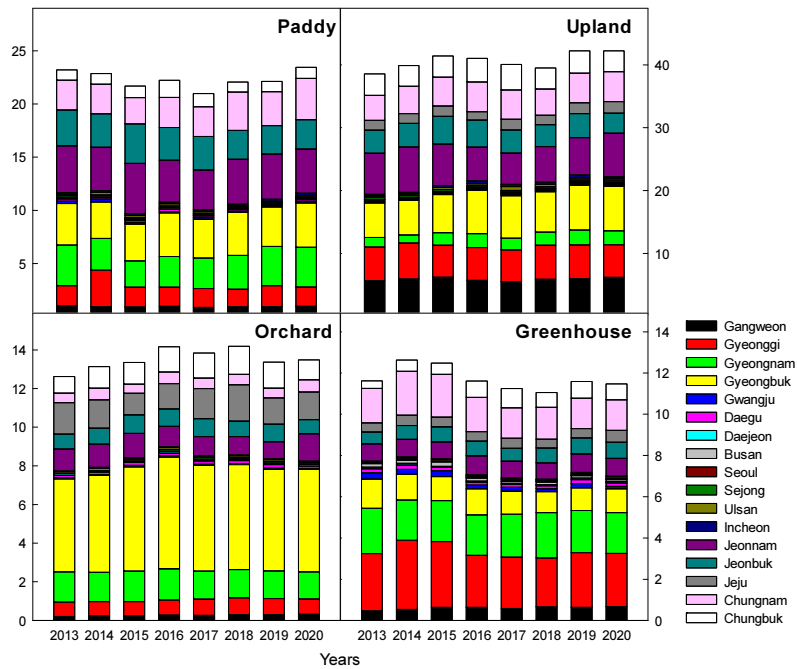
Tae-Goo Lee

<https://orcid.org/0000-0002-3115-7516>

Eun-Jin Lee

<https://orcid.org/0009-0007-4959-817X>





Changes in available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> accumulation (kg ha<sup>-1</sup>) under different types of agricultural land across 17 provinces (2013 - 2020).

## Introduction

농업분야에서 비료는 작물의 성장을 촉진하고 생산성을 향상시키기 위해 토양 또는 작물에 공급되는 영양물질을 나타낸다. 특히, 비료 중에서도 인 (P)은 작물의 핵산, 핵단백질 등 세포 원형질 및 에너지 대사물질인 ATP의 구성요소이므로 초기 뿌리 성장 증대 및 발아 과정에 중요한 역할을 한다 (Lim, 2006). 작물에서 인산 결핍은 잎의 폭이 좁아지고 분얼이 적어지며 조기 낙엽 현상 발생 등의 문제를 일으키므로, 작물 생육의 문제를 해소하기 위해 질소 (N)와 칼륨 (K)과 함께 ‘비료의 3요소’ 중 하나로 인산질 비료가 꾸준히 사용된다 (Raghothama, 1999; Rausch and Bucher, 2002). 반면에 과다 투입할 경우 생식생장 가속화로 인한 수확량 감소 등의 영향을 미칠 수 있어, 농작물 재배 시 적절한 인산 공급이 필수적이다 (Nelson, 2003; Choi and Park, 2008).

보통 인산은 암석의 풍화 과정을 통해 토양에 자연적으로 존재하지만, 작물 재배에 필요한 추가적인 인산은 무기질 비료나 동식물 잔재물의 형태로 토양에 공급된다. 이러한 투입된 인산은 토양의 pH에 따라 다양하게 흡착된다 (Iyamuremye and Dick, 1996). 예를 들어, 인산의 비특이적 흡착은 토양의 pH 변화와 밀접한 관련이 있으며, pH 7이하의 산성 토양에서 토양용액으로 녹아나온 알루미늄 (Al)과 철 (Fe) 이온은 Al-P 또는 Fe-P와 같은 화합물을 형성한다. 반면에, 알칼리성 토양 중 인산은에서는 주로 Ca-P 형태로 존재한다고 알려져 있다 (Lindsay et al., 1989). 결국 인산은 토양 환경조건에 따라 형태와 양이 다양하게 나타날 수 있으므로, 토양 내 인산 축적량을 고려하기 위해서는 토지 이용형태별 인산 함량 조사가 매우 중요하다.

한편, 우리나라는 작물 생산량을 높이기 위해 비료를 과다하게 사용하고 있다. 2017년 기준 단위면적당 화학비료 사용량은 OECD 국가 평균인 60.6 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>보다 약 3.5배 높은 212.2 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>로, 인산을 비롯한 농경지 토양 내 영양소가 과도하게 축적되는 문제가 있다 (NIAST, 2006). 특히, 시설하우스를 이용한 집약적 농업은 위 같은 문제를

가속화하여 시설토양 중 유효 인산 함량은 2000년  $975 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 2012년  $1,049 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 지속적으로 증가하였다 (RDA, 2012; Kong et al., 2018). 과다시비로 인해 강우나 배수를 통해 하천과 지하수로 유출된 인산은 부영양화, 녹조 발생, 조류 번식과 같은 환경 문제를 유발할 뿐 아니라 비료 비용 면에서도 부담을 초래하므로, 장기적으로 농경지 토양 내 인산 축적 양상을 평가하는 것은 토양 관리에 있어 중요한 지표가 된다 (Sims et al., 1998; Pautler and Sims, 2000; Sharpley et al., 2003).

이에 따라, 본 연구는 2013년부터 2020년까지 8년 동안 전국 17개 지역의 농경지 면적 변화와 유효 인산 함량 변화를 조사하였으며, 이를 4가지 농경지 형태(논, 밭, 과수, 시설재배)로 구분하여 연구했다. 이를 통해 농경지 내 유효 인산 축적 양상의 변화를 분석했으며, 각 농경지 형태에 따른 토양관리 전략 모색을 목표로 하였다.

## Materials and Methods

우리나라의 연도별 유효 인산 변동을 조사하기 위하여 2013년도부터 2020년까지 (8년) 전국 17지역에서 (8개도와 9특·광역시) 토양 검정을 수행하였다. 연평균 토양 검정 수는 논 30만점, 밭 14만점, 과수 4만점, 시설재배 4만점으로 총 424만점의 토양시료를 조사하였다 (Supplementary Table 1). 토양시료는 표면에 쌓인 이물질 및 잔재를 제거한 후 토양 채취기를 이용해 표토 (0 - 15 cm)를 채취하였다. 채취한 토양은 서늘한 암조건에서 풍건 후 2 mm 이하를 유효 인산 분석에 사용하였다. 토양 중 유효 인산 측정은 국립농업과학원 토양화학분석법 (NAAS, 2010)에 의거 랑카스터 (Lancaster)법을 이용하였다. 먼저, 풍건토 5 g을 100 mL 삼각플라스크에 칭량 후 10분간 shaker를 이용하여 120 rpm으로 진탕하였다. 충분히 혼합된 진탕액은 NO.2 여과지 (Whatman, D. 110 mm)를 이용하여 여과하였다. 여과된 시료 여액 3 mL에 폴리브덴산 암몬황산 희석혼합액 6 mL과 0.4 mL 1.2.4 용액 (1-amonia-2naphthol-4-sulfonic acid)을 가한 후 혼합하였다. 이 후 30°C 항온기에 30분간 발색하고 720 nm에서 흡광도를 측정하였다. 토양 내 유효 인산 (Avail.  $\text{P}_2\text{O}_5$ )은 다음 Eq. 1에 따라 환산해 주었다.

$$\text{유효 인산 (mg kg}^{-1}\text{)} = \text{측정농도 (ppm)} \times \frac{20 \text{ (침출액 mL)}}{5 \text{ (토양시료 g)}} \times \frac{P_2O_5}{P} \times \text{희석배수} \quad (\text{Eq. 1})$$

농경지 단위면적 당 토양 유효 인산의 축적량은 Eq. 2를 이용하여 계산하였다.

$$\text{유효인산 축적량 (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Avail. P}_2\text{O}_5 \times \text{BD} \times \text{D} \times \text{A} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, Avail.  $\text{P}_2\text{O}_5$ 은 단위무게당 유효 인산 ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), BD는 토양의 전용적밀도 ( $1.25 \text{ g cm}^{-3}$ , Zhang et al., 2018; NAAS, 2021), D는 토양 채취 깊이 (15 cm), A는 지역별 농경지 면적 (ha)을 의미한다.

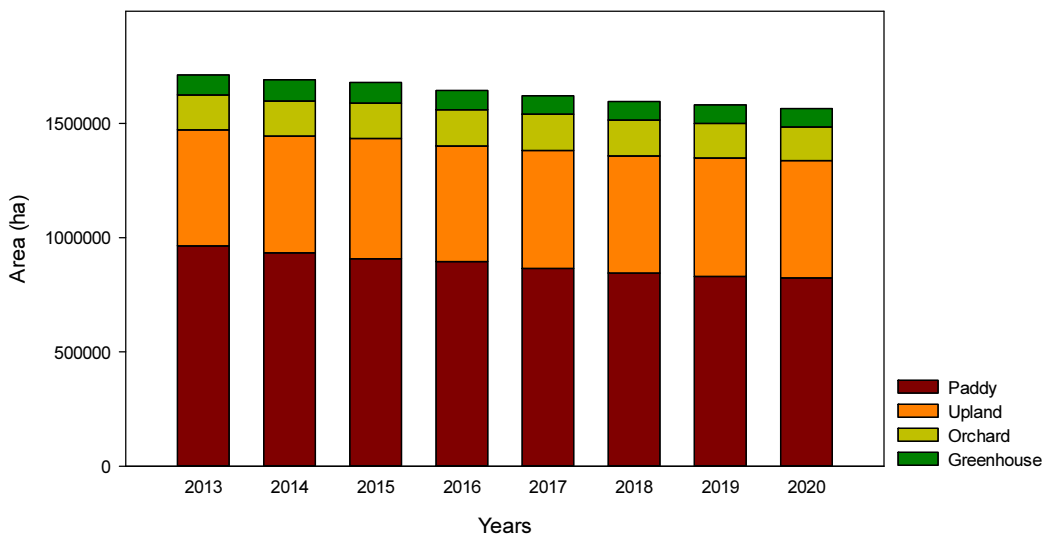
우리나라 경지면적 변화는, 농림축산식품부에서 간행한 농림축산식품통계연보 (MAFRA, 2018, 2020) 중 2013년부터 2020년도까지의 각 도 및 특·광역시별 논, 밭, 과수, 시설재배 면적을 인용하여 조사하였다.

연도별, 지목별 유효 인산 함량과 총 유효 인산 축적량 변화에 대한 차이의 통계적 유의성을 분석하기 위하여 R program (v. 4.0.5)의 “agricolae” 패키지를 이용하여 LSD Test (5%)를 실시하였다. 지목별 경지면적, 총 유효 인산 축적량 그래프는 Sigmaplot (v. 10.0)을 이용하여 나타냈다.

## Results and Discussion

**농경지 면적 변화** 한국의 농경지 지목별 (논, 밭, 과수, 시설재배) 면적 변화는 Fig. 1과 같다. 총 농경지 면적은 2013년의 171만 ha에서 2016년에 164만 ha로 줄어들었으며, 2020년에는 156만 ha로 약 8.6% 감소했다. 논과 밭이 농경지 전체 면적의 대부분을 차지하고 있으며, 약 14.6%는 과수와 시설하우스로 사용되고 있었다. 특히, 논 면적이 총 농경지 면적의 약 54.0%를 차지하고 있는데, 이 면적에서의 밭 전환, 농업 도시화, 건설 및 유흥지 활용 등이 농경지 면적의 감소에 큰 영향을 미치고 있다고 알려졌다 (Lee et al., 2021).

한편, 밭, 과수, 시설재배의 경우 연간 농경지 면적에 큰 변화가 나타나지 않았다 (MAFRA, 2015, 2018, 2020). 경상도와 전라도에서 재배되는 벼는 한국의 쌀 생산량의 약 58.7%를 기여하고 있으며 (KOSIS, 2020), 이 두 지역은 논 면적의 약 59.4%, 밭 면적의 약 48.8%를 차지하고 있다 (Fig. 1). 2020년 기준으로 과수 재배지는 다양한 작물에 고르게 분포되어 있었으며, 경상도와 전라도에서는 사과와 감 재배가 가장 많았고, 충청도에서는 주로 복숭아와 사과가 재배되고 있었다. 시설하우스는 다양한 작물을 생산하기 위한 집약적인 농업 시스템으로 논, 밭, 과수와 달리 넓은 농지 면적을 필요로 하지 않아서 여러 지역에서 다양한 작물들이 재배되고 있다.



**Fig. 1.** Changes in area (ha) of paddy, upland, orchard and greenhouse in South Korea (2013 - 2020) (source: MAFRA, 2015, 2018, 2020).

**우리나라 농경지 유효 인산 농도 및 연차별 추이** 2013년부터 2020년까지 우리나라 17지역의 지목별 유효 인산 변화는 Tables 1 - 4와 같다. 이 기간 (8년) 동안, 지목과 무관하게 토양 내 유효 인산 함량은 점진적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 우리나라의 주요 밭 작물 재배를 위한 토양 중 유효인산 적정범위는 일반적으로 300 - 550 mg kg<sup>-1</sup> 정도이다 (NAAS, 2021). 그러나 벼 재배가 이루어지는 논인 경우, Fe-P 화합물 (주로 vivianite)이 철 (Fe<sup>2+</sup>)과 인산 (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)로 해리되어 공급됨에 따라 인산 적정범위는 80 - 120 mg kg<sup>-1</sup> 정도로 낮다. 이와 같이 토양환경 특성을 반영한 관리법에 의해 논 유효 인산 함량은 타 지목의 함량보다 현저하게 낮게 조사되었다 (Song et al., 2008). 반면에, 시설하우스는 집약적 농업으로 인해 양분이 과잉 투입 (Kong et al., 2018)되어 시설재배지 토양의 유효 인산 함량은 조사된 4개 지목 중 가장 높게 나타났다. 시설재배 토양은 적정 유효 인산 범위인 300 - 550 mg kg<sup>-1</sup>에 비해 1.41 - 1.66배

높은 함량을 나타내고 있었다 (Table 4). 밭과 과수의 경우 유효 인산 함량은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 두 지목의 토양 유효 인산 함량은 395 - 486 mg kg<sup>-1</sup> 범위에 있으며, 각 지역별 평균 유효 인산 함량은 적정 수준으로 나타났다.

1960년대 우리나라 논 토양의 유효 인산 함량은 약 60 mg kg<sup>-1</sup> 정도로 적정 범위인 80 - 120 mg kg<sup>-1</sup>보다 낮은 수준이었다. 그러나 지속적인 비료 과잉 투입과 가축분뇨 해양투기 금지에 따른 농경지 내 가축분뇨 투입의 증가로 인해, 유효 인산 함량은 2013년에는 1.13배, 2016년에는 1.18배, 2020년에는 1.22배까지 적정 유효 인산 함량 범위를 초과하였다 (RDA, 2011). 논 토양의 유효 인산 함량은 지역별로 다양한 차이를 보였으며, 범위는 59.3 mg kg<sup>-1</sup>에서 232 mg kg<sup>-1</sup>까지 넓게 나타났다. 이 중에서 대구광역시, 대전광역시, 경상남도 순으로 인산 함량이 높았으며, 이외 다른 지역의 평균 유효인산 함량은 Table 1에서 확인할 수 있다.

**Table 1.** Changes in average available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contents (mg kg<sup>-1</sup>) in paddy across 17 provinces (2013 - 2020).

Province	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gangwon	132.7	143.7	135.5	138.3	131.4	147.4	148.2	160.5
Gyeonggi	103.7	115.3	102.4	105.3	107.3	103.8	115.9	117.8
Gyeongnam	207.6	167.0	153.3	171.7	181.2	207.6	240.9	248.4
Gyeongbuk	147.4	131.4	143.7	174.4	162.8	182.1	170.8	188.9
Gwangju	171.8	140.8	129.9	108.1	137.3	108.2	114.4	159.6
Daegu	256.5	189.1	258.2	277.8	230.3	245.8	167.0	232.3
Daejeon	243.2	197.8	170.3	207.6	186.5	175.8	201.4	205.8
Busan	116.7	231.8	198.6	217.5	159.6	94.6	121.2	161.6
Seoul	45.1	37.0	76.6	38.6	99.5	68.3	44.4	64.7
Sejong	138.7	106.0	117.8	138.9	105.1	128.2	129.3	118.8
Ulsan	88.3	140.5	122.4	161.6	183.6	119.8	99.7	141.9
Incheon	61.7	65.6	61.0	64.0	56.6	78.6	82.1	94.2
Jeonnam	123.0	116.6	131.5	113.0	109.8	129.1	134.4	133.6
Jeonbuk	127.4	124.1	142.8	123.7	127.5	109.6	115.9	119.3
Jeju	139.5	121.9	179.8	59.2	75.8	57.0	99.4	56.5
Chungnam	89.6	99.9	95.3	102.2	101.4	130.3	116.4	140.1
Chungbuk	106.0	110.7	125.6	204.0	169.1	129.5	134.6	146.1
Average	135.2	131.7	137.9	141.5	136.8	130.3	131.5	146.5

밭과 과수 토양의 유효 인산 함량은 통계적으로 큰 차이를 보이지 않았다 (Tables 2 and 3). 밭 토양의 유효 인산 함량은 395 - 483 mg kg<sup>-1</sup> 범위로 전라북도, 인천광역시, 충청북도 순으로 높게 나타났다 (Table 2). 과수 또한 지역 평균 446 - 486 mg kg<sup>-1</sup>의 유효 인산을 함유하고 있으며, 이는 밭 토양의 적정 범위인 300 - 550 mg kg<sup>-1</sup> 내에서 적절하게 유지되고 있음을 알 수 있다 (Jung et al., 2001). 그러나, 두 지목 모두 2013년에 비해 2015년에 1.05배, 2020년에는 1.14배의 유효 인산이 토양에 집적되어 주의가 필요할 것으로 사료된다. 단순 회귀식을 활용하여 유효인산 함량을 계산한 결과, 현재의 밭 관리 조건에서 ( $y = 10.7x - 21039$ ,  $R^2 = 0.775$ ) 새로운 농경지 관리대책 없이 현 상황이 유지된다면, 약 28년 뒤 우리나라의 밭 토양 유효 인산 함량은 적정 범위를 초과할 것으로 계산되었다. 그러나, 과수의 연간 토양 내 유효 인산 함량 변화에서는 특별한 통계적 유의 차이가 없으므로, 상대적으로 큰 변화는 예상되지 않았다.

**Table 2.** Changes in average available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contents (mg kg<sup>-1</sup>) in upland across 17 provinces (2013 - 2020).

Province	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gangwon	481.5	504.9	540.5	514.3	490.1	524.4	536.7	561.8
Gyeonggi	512.8	554.8	475.1	505.5	481.6	519.6	519.6	520.8
Gyeongnam	305.9	253.4	361.5	398.3	327.2	367.3	397.1	371.5
Gyeongbuk	403.2	387.8	393.0	486.2	461.2	432.4	479.6	489.2
Gwangju	498.4	404.9	437.0	308.1	518.0	494.7	567.6	399.3
Daegu	472.2	330.2	368.6	423.3	474.4	538.3	555.5	383.7
Daejeon	468.5	490.0	400.9	566.4	524.2	501.1	599.1	737.4
Busan	495.7	336.9	564.9	427.7	473.5	316.0	420.8	473.6
Seoul	395.8	372.5	416.3	443.7	355.0	547.3	674.3	560.1
Sejong	422.1	446.4	453.4	546.4	549.6	535.7	567.7	572.2
Ulsan	377.7	424.2	555.6	467.7	984.9	671.5	522.5	543.9
Incheon	236.6	251.8	288.1	403.3	316.5	302.6	441.0	289.5
Jeonnam	384.5	416.5	376.7	322.3	292.6	326.9	333.4	391.7
Jeonbuk	408.0	393.8	443.4	454.9	377.7	359.1	380.1	317.3
Jeju	207.4	208.6	221.0	183.6	242.5	219.4	251.0	271.5
Chungnam	484.9	572.8	568.9	574.0	534.4	477.9	540.3	551.1
Chungbuk	371.9	362.2	375.4	440.0	463.3	407.4	430.0	404.3
Average	407.5	394.8	425.9	439.2	462.8	443.6	483.3	461.1

**Table 3.** Changes in average available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contents (mg kg<sup>-1</sup>) in orchard across 17 provinces (2013 - 2020).

Province	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gangwon	472.4	529.8	474.3	470.8	423.0	479.6	460.4	493.8
Gyeonggi	518.0	537.0	544.6	539.5	558.8	574.0	567.7	550.8
Gyeongnam	434.4	410.5	429.4	485.3	435.5	439.3	451.0	463.8
Gyeongbuk	485.3	503.5	537.9	549.7	521.1	526.5	520.8	533.9
Gwangju	401.2	392.9	585.7	496.8	379.3	369.7	515.9	411.1
Daegu	575.3	541.2	707.8	701.1	618.6	758.9	896.0	636.5
Daejeon	1,045.7	459.0	539.5	683.4	551.1	584.8	517.9	745.3
Busan	50.8	265.9	197.1	243.3	382.6	163.8	273.5	203.8
Seoul	609.0	599.4	599.4	599.4	599.4	599.4	599.4	589.9
Sejong	-	-	-	577.7	566.8	551.5	549.4	520.8
Ulsan	322.3	527.7	441.2	446.4	412.5	374.7	409.0	220.5
Incheon	241.7	409.2	485.7	236.4	199.4	192.5	377.8	334.3
Jeonnam	327.7	346.5	363.2	307.5	287.4	290.1	274.1	456.4
Jeonbuk	487.2	488.3	543.4	470.5	480.7	426.1	505.2	440.1
Jeju	473.4	444.1	345.0	383.8	468.7	579.9	429.6	459.1
Chungnam	363.5	445.1	358.2	472.1	406.1	421.1	411.0	536.8
Chungbuk	333.4	432.4	423.8	467.8	466.1	521.7	509.4	404.3
Average	446.3	458.3	473.5	478.3	456.3	462.0	486.4	470.6

우리나라의 시설재배지 토양 내 유효 인산 함량은 계속해서 증가하는 것으로 조사되었다 (Table 4). 함량 변화는 2013년 708 mg kg<sup>-1</sup>, 2015년 747 mg kg<sup>-1</sup>, 2020년 811 mg kg<sup>-1</sup>로 나타났으며, 이러한 추세는 국립농업과학원의 농업 환경 변동조사 (정점조사) 결과와 유사한 경향을 보였다 (NAAS, 2021). 조사기간인 8년간 시설하우스 토양의 유효 인산은 708 mg kg<sup>-1</sup>에서 833 mg kg<sup>-1</sup>까지 넓은 범위에 과다 축적 되어있음을 확인하였다 (Lee et al., 2014). 연평균 유효 인산 함량이 가장 높은 지역은 대전광역시이며, 그 다음으로 경기도, 울산광역시, 광주광역시 등 순이었다. 시설재배지의 유효 인산 함량은 연간 단순 회귀적으로 ( $y = 13.9x - 271914$ ,  $R^2 = 0.646$ ) 증가하고 있었으며, 현재의 관행농법이 유지된다면 2050년에는 144배, 2100년에는 283배 이상의 적정 유효 인산 함량을 초과가 발생할 것으로 예측된다.

**Table 4.** Changes in average available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contents (mg kg<sup>-1</sup>) in greenhouse across 17 provinces (2013 - 2020).

Province	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Gangwon	731.5	786.2	858.5	835.9	762.9	860.9	833.2	896.6
Gyeonggi	1,027.9	1,061.2	1,086.4	1,000.4	1,024.5	1,007.5	1,092.0	1,066.3
Gyeongnam	844.5	766.7	814.5	798.2	802.3	823.8	838.0	806.0
Gyeongbuk	575.4	522.1	516.2	606.3	596.4	591.0	649.1	658.4
Gwangju	915.1	959.7	1,067.2	1,029.2	995.5	870.5	1,047.5	915.1
Daegu	839.6	858.5	797.5	752.1	710.1	683.3	953.5	889.4
Daejeon	1,170.2	1,085.0	864.4	962.8	903.9	1,340.8	1,631.6	1,336.4
Busan	689.3	619.0	807.9	832.8	715.5	765.4	756.3	641.5
Seoul	747.7	589.1	704.0	658.9	635.3	717.0	948.1	879.2
Sejong	-	-	-	807.3	696.1	715.2	731.6	771.6
Ulsan	594.9	1,064.5	1,095.1	1,016.8	1,016.8	1,016.8	1,016.8	1,312.6
Incheon	444.8	545.4	423.4	335.8	307.3	293.1	553.3	450.7
Jeonnam	627.8	652.4	615.8	665.1	668.5	612.9	676.8	680.2
Jeonbuk	501.0	504.0	573.6	536.3	467.8	526.4	538.7	524.7
Jeju	484.1	526.1	456.0	505.9	507.2	426.7	435.3	540.0
Chungnam	639.5	673.6	693.2	686.1	712.7	710.5	688.0	710.1
Chungbuk	495.5	566.5	579.7	805.1	902.4	656.1	772.7	703.8
Average	708.1	736.3	747.1	755.0	730.9	742.2	833.1	810.7

**우리나라 농경지 유효 인산 축적량 및 연차별 추이** 2013년부터 2020년까지의 지역별 유효 인산 축적량의 변화는 Fig. 2에서 확인할 수 있다. 우리나라의 과수 및 시설하우스 내 유효 인산 축적량은, 재배 면적이 상대적으로 넓은 논과 밭의 축적량에 비해 적은 양을 나타냈다 (Fig. 3). 논 벼가 가장 많이 재배되는 경상북도와 전라남도에서 축적된 유효 인산 함량은 총 유효 인산의 약 12.4%를 차지했다 (Fig. 2). 밭은 38.6 - 42.2 kg ha<sup>-1</sup>로 지목 중 가장 많은 유효 인산 축적량을 보였으며, 논 토양에 비해 45.4%, 과수 토양에 비해 66.7%, 시설재배지에 비해 71.2% 높았다 (Fig. 2). 밭 인산 축적량 중 21.7% 이상의 유효 인산이 경상도와 전라도 토양에 축적되어 있으며, 특히 이 지역의 콩, 고추, 참깨와 같은 작물의 재배가 밭 토양의 유효 인산 축적량에 큰 영향을 미친 것으로 보인다 (KOSIS, 2020). 과수와 시설하우스는 상대적으로 적은 유효 인산 축적량을 보였으며, 과수 토양의 유효 인산 축적량은 대부분 경상도와 제주특별자치도에 집중되어 있었다. 시설재배는 다른 지목에 비해 38.5 - 82.0% 높은 유효 인산 함량을 가지고 있지만, 재배 면적이

상대적으로 적어 낮은 유효 인산 축적량을 나타내었다. 특히, 경기도, 경상남도, 충청남도 세 지역은 유효 인산 축적량의 약 55.3%를 차지했다 (Fig. 2). 2013년부터 2020년까지의 지목별 평균 유효 인산 축적량 분포는 밭 토양 46.2%, 논 토양 25.2%, 과수 토양 15.4%, 시설재배지 토양 13.3%로 나타났다 (Fig. 3). 시설재배지의 인산 축적량 분포는 가장 적지만, 적은 재배 면적에 많은 양의 유효 인산이 집약적으로 축적되어 있다는 사실을 확인할 수 있다.

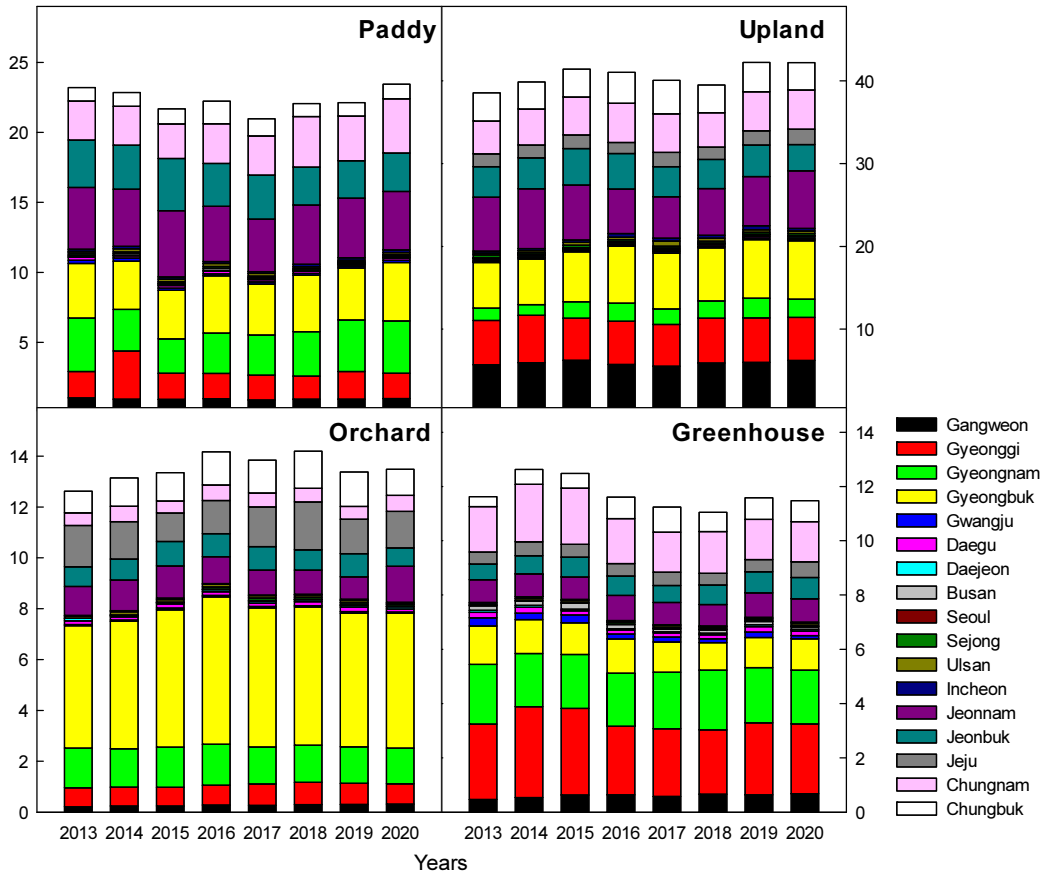


Fig. 2. Changes in available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> accumulation (kg ha<sup>-1</sup>) under different types of agricultural land across 17 provinces (2013 - 2020).

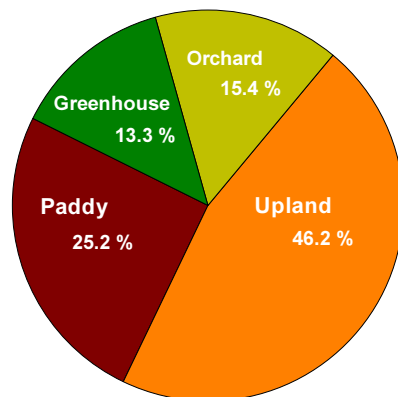


Fig. 3. Distribution of available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> accumulation under different types of agricultural land in 2020.



## Conclusions

우리나라의 농경지 면적은 2013년부터 2020년까지 계속해서 감소하는 경향을 보이고 있다. 이 중에서 논 면적이 큰 폭으로 감소했으며, 밭과 과수 경지 면적은 큰 변화가 없었다. 그럼에도 불구하고, 토양 내 유효 인산 함량은 논 토양에서 가장 낮았으며, 밭과 과수 토양은 통계적으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 반면, 시설재배지 내 유효 인산 함량은 적정 유효 인산 함량 대비 매우 높았으며, 이러한 비계속적 양분 축적은 환경 문제와 비료 이용 효율에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 2013년에서 2020년 비목별 작물 재배 면적을 고려한 유효 인산 축적량은 밭 토양  $40.6 \text{ kg ha}^{-1}$  (46.2%), 논 토양  $22.2 \text{ kg ha}^{-1}$  (25.2%), 과수 토양  $13.5 \text{ kg ha}^{-1}$  (15.4%), 시설재배지 토양  $11.7 \text{ kg ha}^{-1}$  (13.3%)로 분포하였다. 특히, 시설하우스 내 비교에서 상대적으로 유효 인산 축적량이 낮더라도, 토양 중 유효 인산 함량은 708 - 833  $\text{mg kg}^{-1}$ 으로 높았다. 결과적으로, 시설재배지의 유효 인산 함량은 상대적으로 적은 면적에 매우 높게 집약되어 있으며, 이는 농업 생산성을 유지하면서도 환경적 영향을 최소화하기 위해 비료 관리 및 농경지 관리의 개선이 필요함을 시사한다.

## Acknowledgement

This study was conducted by support of National Institute of Agricultural Sciences (NAS) research and development project (project number: RS-2021-RD009857).

## Supplementary Information

Supplementary data are available at Korean Journal of Soil Science and Fertilizer online (<http://www.kjssf.org>).

## References

- Choi, J.M. and J.Y. Park. 2008. Growth, deficiency symptom and tissue nutrient contents of leaf perilla (*Perilla frutescens* Britt) influenced by calcium concentrations in fertigation solution. *Hortic. Sci. Technol.* 26(1):21-28.
- Iyamuremye, F. and R.P. Dick. 1996. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Adv. Agron.* 56(1):139-185.
- Jung, B.G., J.W. Choi, E.S. Yun, J.H. Yoon, and Y.H. Kim. 2001. Monitoring on chemical properties of bench marked upland soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(5):326-332.
- Kong, M.S., Y.H. Kim, D.J. Kim, S.S. Kang, E.J. Lee, G.B. Jung, and H.I. Jung. 2018. Agricultural soil management practices by assessing the soil chemical properties of plastic film houses in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4): 576-585.
- KOSIS. 2020. <https://kosis.kr/index/index.do>. Korea Statistical Information Service, Daejeon, Korea.
- Lee, J.G., M.H. Park, M.S. Kim, T.G. Lee, H.I. Jung, and S. Jeon. 2021. Assessing changes in soil organic matter accumulation of agricultural field from 2013 to 2020 in South Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54(4):391-400.
- Lee, S.H., B.R. Kim, and H.W. Lee. 2014. A study on water quality after construction of the weirs in the middle area in Nakdong river. *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 36(4):258-264.
- Lim, S.U. 2006. Soil fertility. Ilshin, Seoul, Korea.

- Lindsay, W.L., P.L. Vlek, and S.H. Chien. 1989. Phosphate minerals. p. 1089-1130. In J.B. Dixon and S.B. Weed (ed.) Minerals in soil environments (2nd edition). SSSA, Madison, WI, USA.
- MAFRA. 2015. Land utilization. Ministry of Agricultural, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- MAFRA. 2018. Land utilization. Ministry of Agricultural, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- MAFRA. 2020. Land utilization. Ministry of Agricultural, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- NAAS. 2010. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Suwon, Korea.
- NAAS. 2021. Monitoring project on agri-environment quality for 22 years in Korea. National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Korea.
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management (6th edition). Prentice Hall, New Jersey, USA.
- NIAS. 2006. Fertilizer recommendation for each crop in soil testing. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Pautler, M.C. and J.T. Sims. 2000. Relationships between soil test phosphorus, soluble phosphorus, and phosphorus saturation in Delaware soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(1):765-773.
- Raghothama, K. 1999. Phosphate acquisition. *Annu. Rev. Plant Biol.* 50(1):665-693.
- Rausch, C. and M. Bucher. 2002. Molecular mechanisms of phosphate transport in plants. *Planta* 216(1):23-37.
- RDA. 2011. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA. 2012. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Sharpley, A.N., J.L. Weld, D.B. Beegle, P.J.A. Kleinman, W.J. Gburek, P.A. Moore Jr, and G. Mullings. 2003. Development of phosphorus indices for nutrient management planning strategies in the United States. *J. Soil Water Conserv.* 58(3):137-152.
- Sims, J.T., R.R. Simard, and B.C. Joern. 1998. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *J. Environ. Qual.* 27(1):277-293.
- Song, Y.S., H.J. Jun, W.K. Park, B.G. Jung, K.S. Jung, K.S. Lee, and Y.S. Yoon. 2008. Determination of optimal application rates of phosphorus and potassium fertilizers for paddy rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(2):75-82.
- Zhang, Y., H. Cho, K. Han, J. Ok, S. Hwang, and K. Jung. 2018. Optimum range on soil physical indicators under plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):445-456.