

# 토양과 비료

- 작물과 토양화학 -

자료원 : 한국토양비료학회의 계간지인 토양과비료중에서

# 농업과학기술원의 김유학 님 자료 인용

시작하며

작물이 토양으로부터 많은 양분을 흡수하는데 질소와 칼륨 다음으로 많은 것이 인산이다. 토양중의 인산은 무기태와 유기태로 존재하는데 무기태 인산은 다가 양성자산으로 토양에 해리되는 과정이 매우 복잡하고 유기태 인산은 유기물의 분해를 고려하여야 하므로 간단하지 않다.

작물이 토양으로부터 인산을 흡수할 수 있는 양은 토양의 화학반응의 상태와 토양에서의 유기물의 분해속도를 알아야 어느 정도 짐작할 수 있다. 그래서 이와 같은 관점에서 토양의 인산을 조명하여 보았다. 이제 토양인산에 대한 토양화학으로 여행을 떠나보자.

## 토양의 일산은 얼마나 있나?

인산은 지각에 약 1200ppm의 농도로 있고, 토양에서는 200~5,000ppm이 있으며 평균 600ppm 정도의 농도로 존재한다고 알려져 있다. 이 중에서 작물이 이용되는 유효태 인산의 함량은 더욱 적다.

우리나라 토양에는 얼마나 있는가? 우리나라의 토양의 양분은 양분이 적은 점토광물에 강우가 많은 기후 특성으로 토양의 양분이 매우 척박한 상태이다.

[View Details](#) | [Edit](#) | [Delete](#)

작물이 필요로 하는 거의 모든 원소가 적다고 보면 된다. 인산도 마찬가지이다. 그래서 산을 개간한다든지 산 흙을 객토하는 경우 인산을 사용하지 않으면 작물이 자라지 않는 것이다. 우리나라 토양의 인산함량은 비료와 퇴비를 통하여 공급된 인산이 작물이 이용하고 남은 것이 축적된 것이다.

우리나라 토양의 인산함량은 경작 년 수가 많을 질수록 높은 경향이다. 인산이 계속 축적된 것이다. 토양의 인산은 작물에게 해를 주지 않기 때문에 토양에 축적되는 것은 저축되 는 것이라 하였는데 실제로는 그렇지 않다.

그래서 앞으로는 토양인산에 대한 관리에 신경을 집중해야 할 시점이다.

### 토양의 인산은 어떤 형태로 있나?

### - 무기태인산

토양의 인산은 대부분 알루미늄이나 철분과 결합한 무기태로 존재하고 있으며 작물이 쉽게 이용할 수 없는 형태이다.

비료로 주는 인산의 형태는 석회와 결합한  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 의 형태로 물에 잘 녹아 나와 작물에 이용이 되지만 흡수되지 않은 인산은 곧바로 알루미늄과 철분과 반응하여 잘 녹지 않는 형태로 바뀐다. 그래서 토양의 무기태 인산은 토양의 알루미늄과 결합한 형태[예 :  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ]와 논에서는 철의 함량이 높기 때문에 철과 결합한 형태[예 :  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ]로 바뀌는 것으로 알려져 있다.

인산의 형태에 대하여 간과하고 있는 것이 있는데 마그네슘과 침전반응이다. 인산이 녹아 있는 용액의 인산 함량을 알아내기 위하여 마그네슘을 이용하는 방법이 있는데 이는  $Mg_3(PO_4)_2$ 로 침전되는 원리를 이용한 것이다. 토양에 인산이 많으면 마그네슘의 흡수가 방해 받는 것이 뻔하다. 실제로 인산을 과용하여 인산이 축적된 토양에 마그네슘의 효과가 있는 것이다. 그래서 인산이 축적된 토양에 마그네슘의 효과가 있어 비료에 마그네슘이 첨가되고 있는 것이 현실이다.

이것으로 모든 문제가 해결되면 좋겠는데 마그네슘 과용에 따른 칼슘의 흡수 저해가 또다시 발생하고 있다.

여기서 임산을 과용하면 자원낭비가 되고 또 다른 물질의 투입을 초래할 경우 과잉된 양

분이 유출되어 환경오염을 유발하게 되는 일이 일어나고 있다.

- 유기태 인산

식물은 질소와 인산 등 다량원소의 함량이 많기 때문에 토양 유기물에도 질소뿐만 아니라 인산이 많이 있다. 식물체내에 있는 인산이 유기태 인산이다.

유기태 인산은 피틴(이노시톨-인산)과 같은 물질의 구성성분을 이루고 있기도 하며 APT와 같은 에너지관련 물질에 결합되어 있다. 유기태 인산은 정인산으로 해리되어 나오기 때문에 작물에게 매우 유용하다.

토양에서 유기태로 존재하는 인산은 아주 높은 유효도를 가진 것으로 알려져 있다. 그래서 인산의 고정이 심한 토양에서는 퇴비에 인산을 고정한 경우 효과가 있다고 알려져 있다.

## 작물이 이용하는 토양의 인산

작물에 잘 흡수되는 인산은 무기태로 정인산( $H_3PO_4$ )의 형태이며 유기물에 있는 유기태 인산도 무기태 인산으로 분해되는 인산이라 할 수 있다.

토양에서 해리되는 정인산은 아주 적기 때문에 작물이 흡수하는 인산은 비료로 준 인산이 대부분이고 일부는 유기태로 있는 인산이다. 그래서 토양에 인산함량이 많아도 비료로 인산을 주면 효과가 나게 되는 것이다.

## 인산의 화학적 특성

#### - 인산의 해리상태

인산은  $\text{H}_3\text{PO}_4$ 로 3가의 음이온이다. 인산의 해리는 pH 2.2, 7.2, 12.4를 경계로 0가인  $\text{H}_3\text{PO}_4^-$ , 1가인  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , 2가인  $\text{HPO}_4^{2-}$ , 3가인  $\text{PO}_4^{3-}$ 의 이온형태가 많이 존재한다.

그래서 2.2에서 7.2 사이의 토양에서는  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  의 1가 음이온 상태가 많다. 그리고 각각의 형태별 평형상수가 약  $10^5$  이상씩 차이가 나므로 하나씩 하나씩 분리하여 계산 할 수 있다.

토양에 있는 인산은 주로 orthophosphate라는  $H_3PO_4$ 의 형태로 있으며 pyrophosphate라는 다중형태로는 아주 적다. 그래서 토양의 pH 범위에서 인산의 해리 형태는  $H_2PO_4^-$  형태이고 이때의 인산이 1가로 작물에 잘 흡수되는 무기태 인산이라 할 수 있다.

www.scholarlycommons.psu.edu/etd/available/etd-05102010-104330

#### - 다가 양성자산으로서의 인산

인산은 다가 양성자산으로 모두 수소가 붙어 있는 경우에는 잘 해리되지만 알루미늄과 철 등과 같은 다른 양이온과 결합하게 되면 잘 해리되지 않는다.

토양에서는 알루미늄과 철이 해리되기 때문에 인산함량은 거의 측정이 안 될 정도로 녹아나온다.

비료에 있는 인산석회는 높은 농도까지 녹아 나올 수 있어 강물에 녹아 나오는 인산은 비료로부터 나온다고 볼 수 있다.

#### - 토양의 화학반응과 인산해리

인산은 토양의 산염기의 정도와 산화환원 전위에 따라 용해도가 많이 달라진다.

인산은 일반적으로 음이온으로 pH가 높아지면 해리도가 증가한다. 강한 산성에서도 해리되는 양이 많아지는데 인광석을 황산으로 처리하여 과린산석회를 만드는 이치와 같은 것이다.

토양이 환원되면 백 토양상태에서는 토양용액의 인산용해도 급격히 떨어진다. 이 현상을 평형식 자료를 이용하여 해석하면 주로 석회나 알루미늄과 결합한 인산의 형태에서 철과 경합한 인산의 형태로 되면서 Fe의 해리도가 감소하는 것으로 해석된다.

그러나 논토양에서는 철과 결합한 인산의 형태에서 철과 인산이 해리되는데 이때 토양에 이산화탄소의 농도가 높으면 철이 이산화탄소와 결합한 형태로 바뀌고 인산은 많이 해리되어 나올 수 있게 된다. 그래서 논토양에서 인산함량이 낮은 데도 인산의 이용율이 높은 것은 이 때문이다.

### - 인산광물과 인산해리

우리나라에는 인산염 광물이 없기 때문에 인산염 광물을 토양에 인산을 시비하여 토양화학반응에 따라 생긴 것으로 간주할 수 있다.

토양은 논과 밭상태에 따라 매우 다르므로 이를 구분할 필요가 있다.

먼저 밭에서는 산화 상태가 지속되고 수분이 불포화상태이므로 철의 해리도가 낫다. 그래서 비료로 준 인산은 오랫동안 그 상태를 유지하지만 해리된 인산은 알루미늄과 결합한 인산광물로 서서히 변하다고 알려져 있다.

[View all posts](#) | [View all categories](#)

논의 경우는 담수가 되고 철의 해리가 매우 높으므로 여러 연구자의 보고를 보면 인산은 철과 결합한 인산광물로 빨리 변한다고 한다.

토양에서 인산이 알루미늄과 철 등과 결합하여 인산광물을 이루면 인산은 서서히 공급되므로 토양에 인산을 저축해 놓는다고 할 수 있다.

옛날에는 인산이 매우 부족하기 때문에 저축한다는 말이 타당한 표현이었다. 하지만 시설재배 등과 같이 인산을 과비하는 경우 인산광물로 변하지 않고 과잉으로 남아 있는 인산에 의한 길향과 환경오염이 있으므로 저축한다고 하면 안된다. 오히려 인산시비가 시설재배의 생명과 직결되는 것이다.

인산과 작물생육

인산이 있는 곳에 생명체가 있다 하여도 과언이 아니다.

질소와 칼륨은 대기와 물을 통하여 쉽게 얻을 수 있지만 인산은 그렇지 못하기 때문이다. 인산이 있으면 생명체가 서식하게 되는데, 토양에 인산이 많으면 겨울철에도 풀이 잘 자라게 되고 물에 임사이 많으면 곧바로 오염되게 된다.

만약에 의사가 없으면 작물이 잘 자랄 수 있을까? 해답은 없다.

한 예를 보면, 논산의 한 농가에서 객토를 한 후에 오이가 자라지 않는다고 토양과 식물체를 들고 연구소에 왔는데 토양을 분석하니 인산이 아주 낮았다. 그래서 현장을 방문하여 보니 옆에 심어 놓은 옥수수도 인산부족을 나타내고 있었다. 그래서 그 자리에서 가지고 갔던 제1인산석회 200g 정도를 200ℓ에 타서 200평 정도에 살포하고 나니 일주일 후 회복이 되는 것을 확인하였다. 그리고 나서 유기물을 사용하고 인산비료를 증시하도록 하여 지금은 농사를 잘 짚고 있다.

이상이 많으면 어떻게 될까?

이 문제에 대하여 막연히 괜찮겠지 하는데 그렇지 않다. 인산이 많으면 사람으로 치면 비만이다. 비만이 괜찮다고 하는 시대는 못 먹던 시절의 사장 배이고 지금은 만병의 근원이다. 토양도 똘 같다. 이사의 과인이 마병의 근원이다

인산이 많아도 인산을 주면 효과가 있는데 무순 소리냐고 반문할지도 모르지만 비만이 되어도 맛있는 거 먹으면 살이 더 찌는 건과 같다. 비만이 사람이 온갖 병으로 고생하듯이

<sup>1</sup> See also the discussion of the relationship between the two concepts in the section on "The Concept of Social Capital."

인산이 과잉되면 온갖 병으로 고생하게 된다.

## 토양의 종류와 일상

인산은 토양과 같은 음이온이기 때문에 토양의 종류에 큰 관계가 없을 것 같지만 차이가 크다.

토양으로부터 해리되어 나오는 알루미늄과 철의 함량이 점토가 많을수록 많기 때문에 인산을 수용할 수 있는 양이 달라진다.

그래서 점토가 적은 모래땅에 인산을 많이 사용하면 문제가 더 많이 생기다.

이산은 토양의 종류에 따라 달리 주어야 할까? 필자는 그렇다고 생각한다.

앞으로 해결해야 할 과제이다.

토양인산의 분석방법

### - 토양의 침출

토양에서 작물에게 공급되는 이산을 알아내다는 것은 어렵울 것이다.

왜냐하면 인산은 토양에서 잘 해리되지 않아 토양의 상태와 관계가 더 깊기 때문에 일정한 침출액에 놓아 나오는 약으로 악기 희들기 때문이다.

작물의 생육과 관계있는 유효인산을 알아내기 위하여 많은 분석방법이 소개되어 오고 있다. 토양의 유효인산 분석에 사용되는 침출액은 일정한 농도의 산에서 점차 복잡한 침출액을 사용하는 방법으로 개발되고 있다.

우리나라에서는 오래전부터 미국의 미시시피 주립대에서 개발한 Lancaster법을 사용하여 오고 있는데 지금 개발되고 있는 복잡한 침출액과 비슷한 편이다.

#### - 분석되는 유효인산은

토양의 유효인산을 분석하는 방법은 토양의 상태를 정확히 파악하여 구분 한 후 정량하는 것이 아니기 때문에 분석결과가 정확히 흡수된다는 것은 아니지만 어느 정도 작물이 흡수한 인산의 함량과 일정한 관계가 있다.

그러나 토양의 인산형태에 따라 침출액에 놀아 나오는 상태가 다르기 때문에 토양의 상태

에 따라 유효인산의 함량이 가지는 의미는 다르다.

논의 경우는 인산이 철과 결합한 형태로 많이 있어 유효인산을 분석하면 대체로 낮은데 유효 인산함량이 100ppm 수준을 넘으면 벼가 흡수하는 인산은 모자라지 않고 일정한 수준으로 흡수된다. 그런데 밭의 경우는 100ppm 정도에서는 많이 모자라는 정도이다.

이는 유효인산 분석과 철과 결합한 인산은 일부만 분석되어 나오고 석회와 결합한 인산은 대부분 분석되어 나온 결과이다.

#### - 유효인산 분석의 활용

토양의 양분불균형은 인산의 과용부터 시작되기 때문이다. 토양에 유효인산의 함량이 적정기준을 유지하는 경우 인산비료의 효과가 아무리 좋더라도 앞으로 계속 농사를 짓기 위해서는 과용해서는 안 된다.

이런 의미에서 보면 인산에 대한 토양검정은 토양관리를 위해서 필수적이라고 할 수 있다.

마치면서

작물의 생육에 인산이 양분불균형의 시작인 것을 알았네!

적정 양분관리는 인산을 적절하게 관리하는 것부터 시작되니 많아도 안 좋고 적어도 안 좋은 것이 질소 이외에 또 있었네, 인산 과용에 의한 토양비만은 동맥경화 양분 불균형을 초래하여 작물의 생육불량으로 이어지기에 적정농도로 관리가 꼭 필요한 것이었네! (끝)

♣ 흙과 가장 가까이 살아가는 사람들은 농부들이자 흙 위에 씨앗을 뿌리고 키우고 거두는 농부들은 흙이 살아가는 소리를 들을 수 있는 특권을 가진 사람들이다.  
그리기에 좋은 농부는 흙을 사랑할 수 밖에 없는 사람이다

< 이 역사 속의 모든 것을 흙 속에 있다 중에서 >