

□ 우리나라

□ 논과 밭의

□ 지력 증진 방안 □

교수 및 根
서울 산업대학

우리나라 논 밭의 지력 증진 방안을 말하기 전에 지력이 무엇인지를 먼저 설명해둘 필요가 있을것 같다.

지력은 땅 또는 흙의 생산력으로 정의할 수 있다. 한 작물의 생산력 또는 생산량을 결정하는 주 요소는 그 품종의 특성, 그 작물이 심겨지는 땅 또는 흙의 성질, 물관리와 시비를 포함한 재배관리법, 병충해 방제등으로 나눌 수 있다. 이 중 생산에 관여하는 땅 또는 흙의 성질이 바로 지력이 되는 것이다.

“지력과 토양의 성질”

■ 지력을 지배하는 토양의 성질은 물리적 성질과 화학적 성질로 구분할 수 있는데 주된 물리적성질은 공기의 유통성, 물의 투과성 물이나 비료성분의 흡수 저장력등이다. 즉 공기 유통이 적당하여 뿌리의 호흡에 부족함이 없도록 충분한 산소를 공개하는 동시에 메탄가스나 황화수소 가스과 같은 유해, 유독가스의 과잉 집적이 없어야 하고, 특수성이 정당하여 습해를 피할 수 있어야 하면서도 수분과 비료성분이 충분히 흡수 저장되어 작물의 요구에 부족함이 없어야 한다.

위에 말한 바와 같은 당의 물리적 성질은 지형이나 배수조건등에 의하여 크게 지배 되지만 토양 자체로 보면 토성, 점토광물 또 유기물의

영향을 받는다. 즉 높은곳에 위치한 모래, 자갈이 많은 사력질 땅 또는 사력질 토양은 공기소통이 너무 잘 되고 투수력이 너무 큰 반면 물과 비료분의 저장력은 너무 약하여 가뭄을 잘 타고 영양 결핍이 빨리 와서 작물이 잘 자라지 못한다. 반면 찰흙의 함량이 많은 중점토질 땅은 물 빠짐이 나쁘고 공기유통이 불량하여 비가 오면 과습의 해를 입고 건조하면 딱딱하며 균열(틈)이 생겨서 작물의 뿌리가 끊어지기 일쑤다. 잡초가 돌아나도 이 풀을 뽑아내기 어려우며 감자나 땅콩 또 무우등의 좋은 것을 생산하기 어려울 뿐만 아니라 이들을 캐내는 작업을 하기에다 어려움이 많다.

찰흙을 만들고 있는 미세한 알갱이의 대부분이 점토광물인데 이 중에는 케오리나이트계 점토광물이라 불리는 광물이 있고, 운모의 변질종로 알려져 있는 화수(和水)운모, 물에 잘 부수는 몬모리로나이트계 점토광물이 있다. 이밖에도 흡착력이 매우 큰 버미큘라이트라는 운모편과 같은 점토광물이 있고 또 이것이 좀 더 결정화한 것 같은 구로라이트라는 점토광물이 있다. 일부 지방에는 위에 말한 것과는 또 다른 조라이트라는 점토광물도 있다.

케오리나이트계 점토광물은 풍화가 심히 진전된 경우에 만들어진 것으로 팽창성이 적을 뿐만 아니라 암

모늄(NH_4^+)이나 칼륨(K^+)과 같은 양이온의 흡착력(염기치환용량 CEC 이라 부른다)이 약하다. (100g당 3~10밀리그램당량[me]. me : 밀리그램원자량을 원자가로 나눈값) 반면 인산과 같은 음이온의 흡착력(음이온치환용량)은 다른 점토광물에 비하여 큰 편이다. 몬모리로나이트계의 점토광물은 온난한 공장의 중성 토양에서 잘 검출되며 입자가 매우 미세하고 이온의 흡착력이 매우 크다(100g당 60~100me). 때문에 이 광물이 많이 함존되는 토양은 비료분의 흡착 저장력이 커서 일반적으로 비옥하다. 그러나 이 점토의 함량이 너무 많으면 투수성이 매우 불량할 뿐만 아니라 가뭄이 계속될 때는 딱딱하게 굳고 큰 균열(龜裂)이 땅속 깊이까지 생기어 철저히 건조하기도 한다. 수화운모는 몬모리로나이트가 칼리를 많이 흡수했을때 만들어지고 또 운모가 케오리나이트계 점토로 분해되는 중간에 생기기도 하는것 같이 생각되는 광물로 물에서의 부풀이 크지 않고 양이온의 흡착력도 몬모리로나이트보다 적다(100g당 15~40me).

위에 말한 3개 점토광물보다 버미큘라이트나 클로라이트 점토광물, 조라이트 점토광물은 그분포가 제한되어 있다. 따라서 이들 광물은 어느제한된지역에서 국부적으로 발견되기 쉬운데 특히 버미큘라이트와

조라이트계 점토광물이 그렇다. 버미큘라이트는 운모가 파쇄된 것과 같은 모양의 점토광물이어서 겉보기 비중이 매우 가볍고 양이온치환용량이 매우 커서 100g당 100me를 넘는 일이 많다. 조라이트는 그 구성이 위에 말한 여러 광물과 다르고 엄청난량의 미세공극을 갖는다. 그리고 이 공극은 좀 큰 가스 분자의 통과도 방해할 정도로 미세하여 이 광물은 방독 마스크를 만드는 자료로도 많이 쓰인다. 동시에 막대한 표면적을 갖고 이 표면적은 물과 공기를 많이 흡수 저장한다. 또 식물의 영양성분인 각종 양이온의 흡착 저장력도 크다. 100g당 130~200me의 양이온을 흡착하는 경우가 많은 반면 물을 흡수 하여도 몬모리로나이트와 같이 부푸는 일은 적다. 때문에 이 광물이 많다고 토양의 물리성이 나빠지지는 않는다. 클로라이트는 구조면에서 버미큘라이트와 비슷하지만 비료분의 흡수 저장력은 이보다 훨씬 적다.

찰흙 성분에 위에 말한 각종 점토 광물외에 산화알루미늄이나 산화철, 기타의 무기(비규산염) 염류가 있는데 이중 많은 것은 양이온보다 음이온을 더 많이 흡착한다. 그러나 온대지방에서는 이런 비결정질의 비규산염 점토광물은 많지 않다.

규산염이지만 지오라이트나 기타 여러광물과 같이 결정질이 아닌 광

물이 있다. 열대지방에 잘 생기고 또 화산회토양에도 생기는 광물인데 알로렌이라 불린다. 규산과 알루미늄이 규칙있게 결합되지 못한 것으로 양이온과 음이온을 흡착보전하는 힘은 약하여 일단 흡착된 이온도 빗물 등에 잘 씻겨 내려간다. 때문에 이 광물이 주가 되어있는 흙에서는 특히 양이온의 저장량이 적기도 하다.

유기물이 분해하여 식물영양분을 공급하는 일도 중요하지만 이것이 흙의 물리 화학적 성질에 주는 영향은 더욱 중요하다고 해야 할 것이다. 특히 필요한 식물영양의 거의 대부분을 화학비료 또는 화학약품으로 공급할 수 있는 현재 및 미래의 농업에 있어서 더욱 그렇다.

토양유기물은 식물의 뿌리, 식물의 잎과 줄기, 또 우리가 인위적으로 공급하는 고간(糞糞)류, 퇴비등의 유기질비료, 토양중에 생존하는 각종 생물에서 비롯된다. 이런 유기물은 토양중에서 우선 분해되는데 이 분해는 열을 수반하고 이열은 일을 하게 되는데 이일은 우선 찰흙입자가 서로 엉키고 뭉치게 한다.

이런 엉킴과 뭉침은 유기물이 분해할때 생기는 끈끈이와 뻘어가는 미생물의 균사에 의하여 더욱 촉진된다. 식물의 잔뿌리가 뻘어가며 흙알을 결속시키는 것도 물론이다. 또 분해가 소강 상태에 들어 있는 유기물 표면에 미세한 찰흙입자가 뭉쳐

서 덩어리지는 일도 있다. 흙알의 이런 뭉침과 엉킴은 공기유통과 투수성에 영향을 주고 작물이 잘 자랄 수 있는 환경조건을 조성하는데 매우 중요하다. 즉, 흙알과 흙알사이 또는 흙알과 유기물 사이에 만들어진 틈에는 물이 저장되고 흙덩어리와 흙덩어리사이에 만들어진 큰 틈에는 공기가 들어가거나, 공기가 이 틈을 통하여 이동한다. 다시 말하면 큰 틈은 공기의 통로가 되어 뿌리에 신선한 공기를 공급하고 유해한 독가스를 제거하는 것이다.

분해가 소강 상태에 빠져서 비교적 정적상태로 되어 있는 토양유기물질이 부식이 된다. 부식은 암흡색의 분말로 토양 유기물중에서도 물과 식물영양분을 흡수 저장하는 물질이다. 분해가 완만하기 때문에 탄산가스나 기타의 가스를 발생함은 적고 미생물의 영양원으로서도 잘 이용되지 않기 때문에 신선유기물을 시용했을 때와 같이 지역을 높이고 작물에 대하여 질소나 인산의 기아현상을 초래하는 일도 없다. 양이온의 흡수 저장력은 커서 100g당 150~200me의 염기 치환용량을 갖는다.

그러나 작 양이온을 끌어당기는 힘은 몬모리로나이트와 같은 결정질 점토 광물보다 약하여 세척이 계속 될때는 상당량의 양이온이 세탈된다. 특히 분해되기 쉬운 유기물이 상당량 섞이고 다습하여서 토양용

액이 탄산 산성이 될때는 많은 량의 토양염기가 세탈된다. 그러나 과습하지 않을 때는 부식이 염기를 흡착 저장하여 토양이 중성으로 되고 식물영양분의 저장량도 많아진다.

지력을 지배하는 흙의 주된 화학적 성질로 우선 손 꼽아야 할 것은 반응, 즉 PH이다. 사람에게 있어서 체온이 비정상이면 신체의 어느 부분에 이상이 있듯이 흙에 있어서 반응이 높거나 낮으면 토양성분의 용해도나 토양생물의 활동에 큰 변화가 있고 그 변화는 작물의 생육에 영향을 준다. 이를테면 토양이 산성이면 철, 알루미늄, 망간등의 양이온, 심지어는 구리, 카드뮴(이런 중금속이 있는 경우)등의 양이온이 지나치게 많이 녹아 나와서 작물에 해독을 주는 반면 작물이 흡수해야 할 인산등을 흡수, 고정하여 불용성으로 한다. 한편 토양이 지나치게 알칼리성이 되면(소오다가 많은 경우) 흙덩어리가 풀려서 공기와 물이 통과할 거친 틈이 없어진다. 때문에 우선 물리성이 나빠지고 그 결과로 생긴 각종 유해가스등이 작물을 해하며 또 이런 알칼리성으로 인하여 용출된 철등의 성분이 유효식물영양분을 흡수고 정하는동시 작물의 생육을 해친다. 토양의 반응이 그렇게 높지 않은 미(微) 또는 약알칼리성에서도 철, 망간, 붕소등의 부족이 오고 유효인산이 칼슘에 고정되어 그 효과

가 낮아진다. 작물의 종류에 따라서 그가 요구하는 적정 토양반응의 범위가 다르지만 우리가 재배하는 주요작물은 대개 미산성내지 중성에서 가장 잘 생육한다. 또 이런 토양반응 범위에서 작물에 대한 유해 유독성분의 용해도가 최저로 되고 식물 영양분의 용해속도도 작물의 요구에 맞게 된다. 주요작물의 생육에 적합한 토양반응의 범위를 표시해 보면

pH4.5 pH5.0 pH6.0 pH7.0 pH7.3

作物(아래로 갈수록 弱酸性이 強하다)	强酸性	弱酸性내지 中位酸性	弱알칼리내지 微酸性	
알팔파, 스위트클로우버, 아스파라거스			=====	
사탕무, 카놀라, 플라워 샐러드			=====	
사과, 사과, 티머디, 배드클로우버, 완두콩, 양배추, 배추, 흰클로우버, 단호박, 고리			=====	
밀, 해수근, 옥수수, 콩, 알사이크클로우버, 키리, 크립손클로우버, 도마토, 버섯, 조식리플, 오, 밀, 메밀, 배우		=====		
감, 딸		=====		
콩, 우유배리, 진달래, 브로콜리	=====	=====		

그림 1. 작물별 적정 토양 산도

나머지는 모두 흙에서 공급받는다.

흙은 거의 모든 필수식물 영양원소를 함유하며 그 중 상당수는 작물이 생육하는데 부족하지 않을 정도로 함유된다. 그러나 질소, 인산, 칼륨과 같이 작물이 요구하는 양이 많은 것은 흙속에 저장되어 있는 것만으

그림 1과 같다.

로 함유하는 가급대 (식물이 흡수할수 있는 형태) 식물영양분의 방출속도와 양은 지력을 결정하는 중요한 요소이다. 식물영양원소는 탄소, 산소, 수소, 질소, 인, 유황, 칼륨, 마그네슘, 철, 망간, 구리, 아연, 붕소, 몰리브덴, 염소등 10개이다. 이중 탄소, 산소는 공기중에서 얻어지고, 수소는 물에서 얻어지지만

로 부족하다. 때문에 비료로서 보태 주어야 하는데, 이 보탬이 커서 작물의 생육이 왕성할때는 이질(질소, 인산칼리)외의 원소도 보태 주어야 할 경우가 생긴다. 이런 보탬의 필요는 토양이 산성이거나 염기성일때에도 생기는 일이 있다.

작물의 생육장애를 초래하는 유해 유독성분의 종류와 농도는 특이한 경우가 아니면 토양조건에 따라 크게 달라진다. 작물의 생육을 저해하는 주요성분으로는 황화수소, 저급 유기산, 구리, 카드뮴, 아연등의 중금속을 들 수 있는데 황화수소나 저급유기산은 환원이 심한 논이나 저습한 땅에 미숙퇴비등이 사용되었을 때 발생되기 쉽고, 중금속류는 어떤 이유로 이런 금속원소가 투여되었을 때 있으며 그 피해는 산성일때 매우 심하다. 산성에서는 황화수소나 유기산이 없어지지 않을 뿐만 아니라 중금속등은 그 용해도가 커진다. 유해 유독성분의 피해는 흡착력이 낮은 사력질토양에서 더 심하다. 생성된 거의 모든 물질이 토양용액에 용출되어 쉽게 유해 농도에 미치기 때문이다.

—◇—우리나라 토양의 물리, 화학적 성질—◇—

우리나라 전국토의 %가 모래의 함량이 많은 화강암과 화강편마암에 유래되었다는 사실로 보아 우리나라 농경지의 많은 면적에 모래 함량이 많은 것을 짐작할 수 있다. 농촌진흥청에서 조사한 결과를 보면 우리나라 전국토의 61% 이상이 자갈 모래밭인 암쇄토이고, 또 비교적 모래 함량이 많은 충적토가 11% 이상 된다. 우리나라의 저위생산담으로 알

려진 23萬 6千정보 중에서도 71% 이상이 소위 노후담이라 불리우는 모래가 많은 용탈된 땅과 사력질토양이다. 이런점으로 보아 석회암지대와 현무암지대, 또 저구능에 연속된 대지의 일부를 제외한 우리나라의 넓은 농지는 모래가 많은 토양이라고 할 수 있다. 거기에 더하여 우리나라 농지에는 유기물의 함량이 적다. 조사결과를 보면 유기물의 함량이 2%를 넘는 경우도 흔치 않다.

토양의 물리적조건이 이렇다고 하는 것은 비료분, 즉 식물영양분의 저장력이 약하다는 것을 의미하는 것이다.

우리나라 토양은 화학적으로 강한 산성일때가 많다. 충청북도, 강원도 경상북도의 일부석회암지대와, 해안의 신간척지 일부를 제외하면 거의 대부분이 산성이라고 할 수 있다. 이런데다가 원래 인산함량이 적고 유기물의 함량이 적으니 질소의 함량도 적다. 산성이란 점으로 보아 미량요소의 결핍부족을 염려할 경우는 적은 것 같으나 최근 다수확 재배를 계속하다 보니 그 절대량 부족에서 오는 결핍과 부족이 점차 염려되어 가는 형편이다.

우리나라 토양의 화학적 성질중에서 산성외에 크게 문제되는 것은 인산부족이란 점이다. 물론 질소도 크게 부족되지만 이 원소는 미생물을 통하여, 또는 강수를 통하여 공기로

부터 약간이라도 자연공급되지만 인산은 자연공급이 전연 없다. 때문에 우리는 이 성분을 100% 인위적으로 공급해야 하는 것이다. 게다가 인산은 세포의 핵을 만드는 일차적인 성분이다. 이 성분이 없을 때는 우선 세포핵(생명)이 생겨나지 못하기 때문에 이 성분은 식물이 새세포를 만드는 어린 시기에 충분히 이용되도록 파종이나 이식전에 사용하는 것이 효과적이다.

우리나라 토양의 지력증진법

앞에 설명한 바에 의하여 우리나라는 밭의 지력을 증진하는 방법은 쉽게 찾아낼 수 있을 것이다. 우선 물리적으로 물과 비료성분의 저장력을 크게 하면서도 통기, 통수성을 높여야 한다. 지형 때문에 과습할 때는 배수를 해야 하지만 우리나라에는 흙이 사력질일 때가 많다. 사력질토에는 앞에서 설명한 조라이트나 몬모리로나이트계 점토광물이 풍부한 토양을 객토해야 하며 이런 품질의 객토 재료를 인근에서 구하기 어려울 때는 암흙색의 푸실푸실한 점토질흙을 객토해야 한다.

객토량을 얼마를 할것인가는 재료의 종류에 따라 다르다. 비료분의 흡수저장력, 즉 염기치환용량이 큰 것이면 양을 줄여도 되고 염기치환용량이 적은 것이면 양을 늘려야 한

다. 염기치환용량에 따른 객토량(x kg)은 다음에 의하여 계산한다.

$$x = \frac{100y(a-c)}{(c-b)}$$

a : 객토를 필요로 하는 흙의 CEC, me/100g

b : 객토재료의 CEC.

c : 목표하는 CEC.

y : 용적중, t/m³

이 식에 의하여 객토를 필요로 하는 땅, 10a의 염기치환용량을 일정 목표까지 올리는 데 소요되는 객토량을 CEC수준 별로 객토했을 때 작토심의 증가량을 표시한 것이다.

이표에서는 작토의 용적중을 1g/1 me로 보았다. 따라서 객토량에 따른 작토심의 증가가 약간 과장될는지 모르나 그렇더라도 5cm가 증가하여 작토심에 15cm 혹은 그 이상이 되면서도 염기치환용량이 아직 6~7 me/100g에 머물러 있을 때는 좀 더 CEC가 높은 재료를 고르도록 해야 할 것이다.

현재의 경운기구로는 작토가 15cm 이상이 되었을 때 그 전부를 작토로 이용하지 못하고 일부를 쟁기바닥 또는 심토화 하기 때문이다.

객토량이 많아서 토층이 크게 두꺼워질 때는 원토와 혼토하는 객토법을 쓰지 말고 오히려 원토층위에 새토양을 쌓아 놓는 성토(盛土)형식을 취하는 것이 좋을 것이다.

표 1. 목표 CFC까지 객토했을 때의 작토심의 증가(cm)

(작토의 용적증: 1)

(목표 CEC me/100g)

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CEC 25me/100g의 재료를 객토할 경우												
1	0.43	0.91	1.43	2.00	2.63	3.33	4.12	5.00	6.00	7.14	8.46	10.00
2	0	0.45	0.95	1.50	2.11	2.78	3.53	4.38	5.33	6.43	7.69	9.17
3		0	0.48	1.00	1.58	2.22	2.94	3.75	4.67	5.71	6.92	8.33
4			0	0.50	1.05	1.67	2.35	3.13	4.00	5.00	6.15	7.50
5				0	0.53	1.11	1.76	2.50	3.33	4.29	5.38	6.67
6					0	0.56	1.18	1.88	2.67	3.57	4.62	5.83
7						0	0.59	1.25	2.00	2.86	3.54	5.00
8							0	0.63	1.33	2.14	3.08	4.17
9								0	0.67	1.43	2.31	3.33
10									0	0.71	1.54	2.50
11										0	0.77	1.67
12											0	0.83
13												0

CEC 15me/100g의 재료를 객토했을 때

	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0.77	1.67	2.73	4.00	5.56	7.50	10.00	13.33	18.00	25.00	36.67	
2	0	0.83	1.82	3.00	4.44	6.25	8.57	11.67	16.00	22.50	33.33	
3		0	0.91	2.00	3.33	5.00	7.14	10.00	14.00	20.00	30.00	
4			0	1.00	2.22	3.75	5.71	8.33	12.00	17.50	26.67	
5				0	1.11	2.50	4.29	6.67	10.00	15.00	23.33	
6					0	1.25	2.86	5.00	8.00	12.50	20.00	
7						0	1.43	3.33	6.00	10.00	16.67	
8							0	1.67	4.00	7.50	13.33	
9								0	2.00	5.00	10.00	
10									0	2.50	6.67	
11										0	3.33	
12											0	

작토심의 증가량(Dm) = $\frac{1}{10} \frac{(a-c)}{(c-b)}$ (a, b, c: 원토의, 재료의, 목표하는 CEC, me/100g)

객토할 작토의 CEC me/100g

토양의 흡수, 흡비력은 유기물의 사용으로도 증가한다. 객토하는 데 재료의 발견이나, 경제적, 노동력면에서 실시하기 어려울 때는 유기물의 사용으로도 그 목적은 달성할 수 있다. 또 객토의 효과를 크게 하기 위해서도 유기물의 병용은 필요한 것이다. 유기물의 함량이 적은 객토 재료도 있다. 이런 객토재료는 논에 들어가서 담수(湛水)되어도 환원이 원만하여 질소와 인산이 잘 유효화하지 않기 때문에 산적토를 객토했을 때는 특히 이점을 주의하여야 한다. 그리고 이때는 신선유기물이나 미숙퇴비를 사용하여야 한다. 이들이 토양의 환원을 더 촉진하고 토양의 입단화에 더 효과적이기 때문이다. 이때 환원의 진전은 토양반응을 높인다는 것도 동시에 고려해야 한다. 질소질비료는 반드시 전층 또는 심층시비를 해야 하는데 특히 요소비료를 사용할 때 더욱 그렇다. 이 비료는 높은 PH에서 암모니아로 잘 휘산되기 때문이다.

우리나라 토양에서는 논 밭을 막론하고 석회사용이 매우 중요하다. 다비·다수확재배가 되고 공해의 염려가 커질수록 더욱 그렇다. 현재의 상태로서는 석회를 좀 과용했다 할 정도가 되어야 할것 같다. 화학비료의 과용으로 인하여 토양염기의 세탈이 심하기 때문이다. 물론 석회 과용은 작물의 생육장애를 초래하지

만 석회를 시용한후 유기물이 시용된다면 그피해를 줄일 뿐만 아니라 번하게도 된다. 이때 물론 신선유기물이나 미숙퇴비가 쓰인다면 더 효과적이다. 다시 한번 강조하면 우리나라 논 밭의 지력을 증진하는 가장 시급한 작업은 석회시용과 유기물시용이다. 이 두 방법은 다른 어떤 방법에 비하여도 광범하게 적용되고 효과가 크며 실천에 어려움이 적은 방법이라 할 수 있다.

또 우리나라 논 밭의 지력을 증진하는 방법으로 인산의 사용을 빼놓을 수 없다. 앞에서도 언급한 바와 같이 우리나라 토양을 만든 모암 모재에 인산이 매우 적다. 인산은 질소와 같이 하늘에서 떨어져 주는 성분도 아니다. 그뿐만 아니라 우리나라 토양은 인산을 많이 흡수 고정하는 성질을 갖는다. 따라서 자연 그대로에서는 인산의 비중선택에 유의할 필요가 있는데 수용성이 아닌 구용성 인산비료가 더 효과적이라 하겠다. 그러나 석회와 유기물이 충분히 사용되어 토양의 성질이 교정된다면 인산비료의 비중 선택에 있어서 어려움은 적어진 것이다.

객토하여 농토를 개량하고 석회와 유기물을 사용하여 논 밭의 지력을 증진하며, 인산을 사용하여 공해없는 농산물을 증산하는 것이 우리가 해내야 할 무엇보다도 중요한 과제임을 다 같이 느껴야 할때인 것 같다.