

화학성의 개선 : 흙의 양분보유력 및 염기포화도와 염기균형에 관한 「키·넘버」

- 고품질·다수확·지속적 농업을 위한 다섯가지의 「키·넘버」(V) -

글... 武田健 / (주)AML농업경영연구소장
역... 송재득 / 한국고품질사과연구회장

CEC는 양분을 보유·공급하는 힘

흙의 입자는 무기양분을 보유하고 작물이 흡수하고자 할 때에 공급하는 작용을 하고 있다. 그일을 담당하고 있는 주역은 점토와 부식 및 이것이 결합하여 된 점토부식 복합체이다.

이들은 그 표면에 마이너스의 전자를 띠고 있어 석회(칼슘) 고토(마그네슘) 칼리 암모니아태질소, 수소 등의 플러스(+)이온을 잡아 끌어서 보유한다. 어느 만큼의 양의 +이온을 보유할 수 있느냐는 것이 콜로이드가 가진 전자수로서 결정되고, 그것을 양이온(+) 교환 용량(염기치환 용량, CEC)라고 하여 mg당량(me/100g)로 표시한다.

CEC가 크면 클수록 양분을 보유하고 공급하는 힘이 강한 흙이지만 그것은 표 4에 표시된 것과 같이 점토의 종류에 따라 다르고 「몬모리로나이트」나 「베미큐라이트」라는 점토는 크고 「카오리라이

트」, 「하로이사이트」등의 점토는 적다. 또한 부식이나 점토부식복합체는 CEC가 큰 퇴비투입에 의하여 토양중의 부식을 증가시키는 것은 흙의 양분보유력의 향상과 연결되는 것이다. CEC는 각각의 토양에 고유의 것임으로 토양진단에 의해 그 수치를 정확히 파악하는 것이 적절한 퇴비투입과 시비를 하기위한 기본이 되는 것이다. 주된 토양의 종류나 CEC는 표 5에 표시한다.

흙의 CEC에 의하여 시비하는 질소량과 수확량이 결정된다.

흙의 CEC는 사람의 위장의 크기에 비유할 수 있다. 커다란 위장에는 많은 음식을 먹어 넣을 수 있지만 적은 위는 많은 식사를 하면은 넘쳐서 흐르고 만다. CEC가 큰 흙에는 비료를 많이 넣어도 그것을 비축하여 작물의 흡수에 응해 공급되지만 CEC가 적은 흙에서는 토양용액 속으로 넘치거나 작물에 농도장해를 일으키고 지하로 유실되기도 한다. 농지에 뿌린 비료로 지하수의 질산태 질소농도가 높아지는 것은 많은 경우 이것이 원인이다.

표 4 점토광물과 부식의 CEC (양이온량)

종 류	CEC(me/100g)	종 류	CEC(me/100g)
카오리나이트	3~15	베미큐라이트	100~150
하로이사이트	10~40	클로라이트	10~40
몬모리로나이트	80~150	알로펜	30~200
이라이트	10~40	腐植	30~280



토양진단에서는 꼭 그 흙의 CEC가 나오므로 이것에 가능한 시비를 하는 것이 첫째로 중요한 것이다. 자주 듣는 이야기로 누군가가 질소를 10a에 80kg, 90kg 사용하여 토마토를 12톤 수확하였다 하여 자신도 토마토를 재배하여 같은량의 질소를 주어 보았다. 그러나 생육이 나쁘고 농도장해가 났다고 한다. 왜냐하면 이것은 12톤을 수확한 사람의 밭의 CEC는 30me, 36me가 있으므로 되고, CEC가 10me의 밭에서는 매우 어렵기 때문이다. CEC가 10, 20, 30me의 밭에 대해 시용가능한 질소의 량과 기대 가능한 토마토의 수확량을 계산하여 보자(표 5의 참조).

표 5. 토양의 종류와 CEC의 대표치의 목표(표준) (me/100g)

토양의 종류	CEC	토양의 종류	CEC	토양의 종류	CEC
사 구 미 속 토	3~10	갈색살림토	10~25	회색저지토	15~25
열은검은색토양	15~25	황 색 토	10~15	갈색저지토	15~30
부식질검은토양	20~30	적 색 토	15~25	흑 니 토	20~35
다부식질검은토양	30~40	회색대지토	15~30	다습검은토양	30~40

CEC에 의한 질소 보유력(保持力)과 토마토의 수확차이(10a당)

	토양의 보지가능한 질소량	이용가능한 질소량	토마토의 수량
CEC 10의 밭	10X0.2X14=28(kg)	28X0.7=19.6(kg)	19.6÷5= 3.9(t)
CEC 20의 밭	20X0.2X14=56(kg)	56X0.7=39.2(kg)	39.2÷5= 7.8(t)
CEC 30의 밭	30X0.2X14=84(kg)	84X0.7=58.8(kg)	58.8÷5=11.8(t)

0.2 : CEC에 접하는 질소 비율 / 14 : 1me의 질소량 (mg당량 토양 100당 mg=10a당 kg) / 0.7 = 시비질소의 이용 / 5 : 토마토 1톤 수확에 필요한 질소량(kg)

흙의 입자가 보유가능한 질소의 량은 그 흙의 CEC의 20%이다 (남은 부분에는 석회, 고토, 칼리, 수소가 차지한다). CEC 10의 밭의 질소보유량은 10X0.2=5me로 되고, 이것에 1me의 질소량(mg당량)14를 곱하면 28mg/100g으로 된다. 10a의 밭의 깊이 10cm까지의 흙의량은 대략 100톤이므로 10a에 보유되는 질소는 28kg이다. 28kg시비한 질소의 이용률이 70%로하면 흡수되는 질소는 19.6kg, 토마토 1톤 수확하는데 질소는 약 5kg

필요하므로 이 흙에서는 4톤정도의 수확밖에 기대할 수 없다. CEC 20, 30me의 밭과 비교하면 그 한계를 알수 있을 것이다. CEC가 낮은 밭에서는 한번에 많은 질소를 줄 수 없다.

CEC에 상응한 기비량으로 하고 소량씩 추비 하므로써 작황에 맞추어 주는 것이 현실적인 대응이 된다.

물오염도 CEC를 넘는 시비가 원인

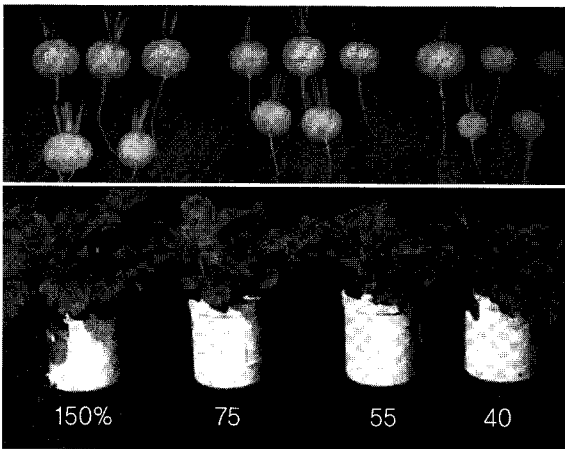
시비질소에 의한 지하수오염에 대해서도 똑같다고 말할 수 있다. 어느 지역의 다원(茶園)에서는 지금까지 생산량을 높이기 위해 「질소를 10a당 100kg을 넣어주세요」라고 듣고 생엽 1000kg정도의 수확을 올려왔다. 다른데서도 이것을 본받았다. 그러나 환경문제가 중시되고 있는 속에서 「시비과잉으로 60kg으로 줄여주세요」라고 지도를 받게 되었다. 이것을 조사하여 보니 전자는 CEC가 36me로 높았었다. 그것에 비하면 다른지역의 흙의 CEC가 20me밖에 없었다. 그러므로 질산태질소가 유실되어 연못에 계속 흘러나와 있었다는 것이다. 흙의 위장을 단단히 억제하여 놓지 않으면 안된다는 예인 것이다.

염기포화도가 시비에 있어서 결정적

흙의 양분 보유력 CEC는 토양에 따라 다른 것을 알게되었다. 그런 상황에서 흙만들기, 시비의 좋고 나쁨을 결정적으로 좌우하지만, 흙의 CEC가 어느만큼의 양이온=염기로 묻혀 있는가, 이것을 염기포화도라고 한다. 염기포화도 60%의 흙이란 토양입자의 음이온의 60%에 석회, 고토, 칼리가

보유되어 있는 상태이다. 음이온의 나머지 40%에는 20%의 질소(암모니아태질소) 20%는 수분이 보유하고 있다.

염기포화도는 토양진단에서 얻어지는 CEC 수치와 석회, 고토, 칼리의 량에서 계산된다. 이것이 왜 중요한가 하면 근년, 염기포화도가 매우 높게 되어 장애가 나오는 농지가 많아지고 있기 때문이다. 산성개량이라며 석회를 많이 투입한 결과이지만 흙의 CEC를 넘을 정도의 석회나, 고토, 칼리등의 염기가 많아지면 이제까지 흙에 보유하고 있던 암모니아태질소가 넘쳐서 토양용액에 밀려 나오게 된다. 그러면 암모니아는 토양미생물에 먹히어 아질산, 질산으로 변화하고 토양중의 질산태질소가 대단히 많아진다.



염기포화도 150, 75, 55, 40%로 키운 순무(위)와 지상부의 생육(하) 염기포화도 높음→표피가 거칠거칠함, 고르지 못한, 심이든 뿌리. 염기포화도가 낮음→뿌리가 죽음, 뿌리가 죽음, 수확량이 낮음

그림 15. 토양의 염기포화도와 순무의 생육·품질

질소 농도가 높아져 뿌리가 상하고 또한 질산은 흡수되기 쉽기 때문에 작물체는 질소 우선으로 연약한 생육이 되어 품질도 악화된다. 당연히 토양병해에도 지상부의 병해충에도 걸리기 쉽게 되는 것

이다. 흙 만들기를 한다고 퇴비를 투입할 경우에도 그것으로 인하여 석회나 고토가 토양의 CEC를 넘게 되면 결과는 마찬가지이다. 반대로 염기포화도가 지나치게 낮으면 질소를 사용하여도 작물에 흡수되기 어렵고 수확량이 나오지 않는다는 결과가 된다.

염기포화도로 수품율(秀品率)의 커다란 차이

그림 15은 염기포화도를 달리하여 순무를 재배해본 것이다. 염기포화도가 75%의 경우가 품질도 순무의 크기도 우수하다.

염기포화도 50%의 것은 크기는 괜찮으나 뿌리의 형태가 흐트러지고 표피가 거칠어 품질이 나쁘고, 염기도가 낮은 것은 순무가 적고 수확량이 별로 없다. 순무를 포함하여 야채류의 적절한 염기포화도는 70~90% 대략 80%이다. 주된 과수로서 포도가 80%정도로 높은 것 외에는 감귤 낙엽과수는 50~80%, 벼, 보리가 50~80%이다. 차(茶)는 25~45%로 낮은 염기포화도를 좋아한다. 작물마다의 적절한 염기포화도 이것이 퇴비비용으로 흙의 「블랙박스」의 문을 여는 제4의 「키·넘버」이다. 토양진단결과에서 먼저 발의 CEC를 알고 그리고 석회, 고토, 칼리의 잔존량에서 염기포화도를 계산하여 염기가 과잉인가 부족한 것인가를 알아내는 것이 시비설계의 기본인 것이다. 염기가 부족하면 보충하고 과잉이면 넣지 않도록 시비하는 퇴비와 비료의 량을 결정하는 것이다.

염기포화도의 계산은 표 6과 같이 한다. 토양진단에서는 토양중의 석회, 고토, 칼리의 함유량은 mg/토양100g로 산출하므로 이것은 CEC의 단위



인 me로 환산할 필요가 있다. 그것에는 「각성분의 함유량/각성분의 1mg당량」으로 산출한다. 성분의 1mg당량은 석회 28 고토 20 칼리47, 질소14이다. 석회, 고토, 칼리의 me의 합계를 토양 CEC로 나누면 염기포화도가 얻어진다.

석회5 · 고토2 · 칼리 1의 염기「밸런스」가 최상

표 6. 염기포화도의 계산방식

CEC (염기치환용량)	염기의 토양잔존량(mg/100g)			염기포화도 (%)
	석회(CaO)	고토(MgO)	칼리(K2O)	
A 47.4me	403.2	36.0	108.1	39.0
B 22.3me	562.8	62.0	136.3	117.0

표 7. 염기 밸런스에서 본 과부족량의 계산

<p>A의 염기포화도</p> $\frac{(\text{석회} \cdot \frac{403.2}{28} + \text{고토} \cdot \frac{36.0}{20} + \text{칼리} \cdot \frac{108.1}{47}) \text{me}}{47.4 \text{me}} \times 100$ $= \frac{14.4 + 1.8 + 2.3}{47.4} \times 100 = 39.0(\%)$
<p>흙의 염기포화도</p> $\frac{(\text{석회} \cdot \frac{562.8}{28} + \text{고토} \cdot \frac{62.0}{20} + \text{칼리} \cdot \frac{136.3}{47}) \text{me}}{47.4 \text{me}} \times 100$ $= \frac{20.1 + 3.1 + 2.9}{22.3} \times 100 = 117.0(\%)$

- (1) 표 2-7의 B토양의 경우에서 계산
CEC 22.3me 석회 562.8 · 고토 62.0 · 칼리 136.3mg/100g
- (2) 염기포화도 80%, 염기밸런스 5 : 2 : 1로 한다.
CEC×염기포화도 × 염기밸런스 × 각 염기의 1mg당량
- 토양잔존량 각 염기의 1mg당량, 석회 28 · 고토 20 · 칼리 47mg/100g
- (3) 과부족량(단위 : mg/100g → kg/10t)

석회 $22.3 \times \frac{80}{100} \times \frac{5}{8} \times 28 - 562.8 = -250.6 \dots$ 과잉

고토 $22.3 \times \frac{80}{100} \times \frac{2}{8} \times 20 - 62.0 = 27.2 \dots$ 부족

칼리 $22.3 \times \frac{80}{100} \times \frac{1}{8} \times 47 - 136.3 = 27.4 \dots$ 부족

염기포화도를 기초로 하는 시비설계를 추천함에 있어서는 흙이 보유하는 염기가 석회만으로는 좋지않고 칼리가 지나치게 많아도 좋지 않다. 적절한 염기「밸런스」가 있다. ml로 환산한 비율(당량비)로 석회5, 고토2, 칼리1의 비율이 이상적인 염기「밸런스」이다.

이 「밸런스」일 때 특히 작물의 품질이 안정된다. 염기의 「밸런스」가 흐트러져 고토가 적으면 인산이 토양중에 많이 있어도 흡수가 안되는 등 장애가 일어난다. 염기「밸런스」가 맞으면 인산의 흡수가 좋아져 병해충도 적어지고 농약살포회수도 줄어든다. 또한 토양미생물의 활동환경이 개선되어 유기물의 분해와 부식의 생성이 진행되고 토양의 양분 보유력도 높아지는 것이다. 반대로 염기「밸런스」나 포화도가 흐트러진 흙에 미생물자재를 쓰더라도 효과가 나오지 않는다. 그러므로 시비설계에서 표 7에 표시한것과 같이 그 작물의 적절한 염기포화도가 더욱 석회:고토:칼리가 5:2:1(5/8 : 2/8 : 1/8)이 되는 염기「밸런스」가 되도록 각각의 염기량을 계산한다. 이것이 이 토양에 필요한 석회, 고토, 칼리의 량인 것이다. 그러나 흙에는 이미 이들의 성분이 포함되어 있으므로 토양진단 결과의 수치에서 그것을 찾아내어 필요량에서 뺀 각 염기의 과부족량을 계산한다. 그리고 각각의 염기에 대하여 부족량을 시비하고 과잉일 경우에는 사용을 하지 않는다.

흙의 산성개량의 새로운 사고

염기포화도와 염기 「밸런스」의 사고는 흙의 산성, 알칼리성은 조정하는 것만으로도 대단히 유효하다. 특히 석회과잉, 칼리과잉 등의 흙의 위장

(CEC)이 넘칠정도의 시비가 이루어져 문제가 되고 있는 오늘날에서는 pH를 보고 그것이 낮아서 산성이기 때문에 탄산석회나 용성인비를 넣는다는 방법으로는 더욱 석회나 인산 등의 과잉을 밀어붙여서 토양에 혼란을 초래하는 일이 많은 것이다.

pH는 토양의 수소이온농도를 그 대수의 절대치로 표시한 것으로 0~14의 치로 되고 7이 중성으로 그미만이 산성, 7을 넘는 것이 알칼리성이다. 그 측정에는 흙에 순수를 넣어 측정하는 pH(H₂O)와 염화칼륨을 넣어 측정하는 pH(kcl)가 있다. 전자는 토양용액중에 유리되고 있는 수소이온을 측정하고 후자의 경우는 토양입자에 결합하고 있는 수소이온을 녹여 내어 측정하는 것이다. 오늘날과 같이 염기포화도가 높아있는 토양에서는 염기에 의하여 밀려나온 수소이온으로 용액중의 유리수소이온농도가 높아지고 있으므로 토양진단에서 pH를 측정하면 낮게 나와서 산성으로 진단된다. 그럼으로 산성개량으로 석회, 용성인산을 넣음으로 염기포화도는 더욱 높아져 수품울의 저하등을 초래하는 것이다.

pH와 염기포화도는 표리의 관계

여기서 주의해야 할 것은 토양의 염기포화도와 수소이온농도와는 표리의 관계에 있다는 것이다. 산성화가 진행되는 발단은 토양입자에 보유하고 있는 석회나 고토 등의 염기가 감소되고 수소이온이 많아지는 것이다. 결국 염기포화도가 내려가고 CEC가 점하는 수소이온이 많아지는 것이다. 그러므로 수소이온이 증가하면 이것에 의하여 알미늄이온이 토양용액중에 수소이온을 더욱 증가시켜 산성이 강해지는 것이다.

산성의 해는 수소이온 그 자체의 해가 아니고 알미늄이온과 인산이온이 결합하여 인산효과를 어렵게 하고 철 망간 등을 유실시키는 것으로 일어난다. 산성 알칼리성은 토양입자의 CEC가 점하는 수소이온의 량의 것이기 때문에 그것은 염기포화도로 읽을수가 있게 되는 것이다. 그림 16과 같이 작물각각에 최적한 pH의 범위가 있다.

토양진단에서 나온 pH를 최적 pH로 하기 위해서는 석회나 용인을 사용하는 것이 과거의 한 방법이었지만 그것은 앞서 말 한 바와 같이 현재로서는 폐해가 일어나기 쉽다.

최적pH에 대응하는 염기포화도로 하기 위한 석회 고토 칼리의 시용을 하는것(염기 밸런스가 5:2:1이 되도록)이 양분의 과잉도 부족도 없는 적절한 오늘날의 산성개량의 한 방법이다.

작물명	좋아하는 범위			
담 배	4.0	5.5	6.5	8.0
수 박	4.0	5.5	6.5	8.0
딸 기	4.0	5.0	6.5	8.0
오 이	4.0	5.5	7.0	8.0
토마토	4.0	6.0	7.0	8.0
가 지	4.0	6.0	6.5	8.0
시금치	4.0	6.5	7.5	8.0

그림 16. 작물별로 좋아하는 범위의 pH



산성개량은 pH가 아니고 염기포화도의 조정으로

산성개량은 pH만을 교정한다는 단독의 목적의 일이 아니다. pH는 pH, 시비는 시비, 미생물은 미생물, 방제는 방제로 각각 단독의 목적으로 따로 따로 각각의 일로서 대응해온 것이 모순의 상승작용을 초래하고 오늘날 토양의 혼란으로 이어지고 있는 것이다. 어디부터 손을 써야 좋을지 모른다. 저쪽을 세우면 이쪽이 서지 않는다고 하는 복잡다단한 「블랙박스」의 상태를 초래하고 있는 것이다.

단독의 목적이 아니고 종합적 전체적으로 물리성도 생물성도 화학성도 합쳐서 개선할 것, 개개의 따로 따로의 일이 아니고 토양진단에 기초한 퇴비 이용, 시비설계라고 하는 하나의 일로서 실현시키는 것 그것이 확실한 숫자로 되새겨지고 숫자가 보이는 형태로 확실하게 실현시키는 것이 중요하고 그 숫자가 이제까지 서술한 다섯가지의 「키·넘버」인 것이다.

기 준 치	
부 식	CEC
2%	10meq
3%	20meq
5%	30meq

부식함량이 8~9%로 높고 CEC가 40meq로 높은 경우는 미숙유기물이 외관의 CEC를 높이고 있는 상태이기 때문에 CEC를 낮게 볼(기준치를 낮춤)가 있다.

미숙유기물에 의한 높은 CEC를 수정하는계산

토양진단시 흙의 염기포화도를 살펴봄에 있어서 주의하지 않으면 안될 것은 CEC와 부식함량의 관

계이다. 부식함량이 7%나 8%로 높아서 CEC가 30me 또는 50me 등으로 나오는 경우가 있다. 이 CEC가 참된 CEC인가 부식(특히 미숙유기물)에 의해 높아진 눈가림의 CEC인가를 파악하지 아니하면 안된다. 염기포화도를 계산하는 분모가 형식적인 높은 CEC이면, 염기포화도는 낮게 나와 그 결과 시비하는 석회·고토·칼리나 질소가 많게 산출되어서 과잉시비를 초래하기 때문이다. CEC를 표시하는 단위에서는 me와 meq가 있다. 전자는 토양유래의 CEC이고, 후자는 그것에 부식의 CEC가 합해진 것이다. 표 4에서는 점토광물의 「몬모리로 라이트」의 meq가 80~150로 높은치를 표시하고 있지만 실제의 점토에 모래등이 섞여있는 토양에서는 CEC는 많이 내려간다. me보다 meq의 쪽이 부식의 양만큼 높이 나오지만, 그렇다 해도 실제의 토양에서 양분보유력을 표시한 CEC의 본체는 높아도 30me이다.

따라서 30me, 60me 등 높은 CEC가 나온 경우는 부식함량을 점검할 필요가 있다. 미숙한 유기물에 의하여 눈짐작의 CEC로 되어있는 것이 많기 때문이다. 부식함량과 본래의 CEC와의 관계의 개략치를 표시하면 표 8과 같이 된다.

예를들면 부식함량이 8%로 CEC 40meq로 나오면, CEC를 30이하로 수정하고 염기포화도나 사용하는 염기량을 계산하는 것이 중요하다. 다원(茶園) 등에서 재배를 계속하면 낙엽이나 가지가 매년 쌓여서 나무 주변의 흙이 유기물 함량이 높아져 있을때가 많고 CEC가 90ml 등으로 매우 높은 숫자가 되는 경우가 있다.

이것에 대하여는 질소를 10a당 100Kg 시비하는 등의 과잉시비가 행해져 왔으나, CEC의 본체를 잘 파악하지 않으면 안되는 전형적인 예이다.⑩