

토양, 그 신비의 세계에 대한 과학적 인식

역 / 송재득 회장
(한국사과고품질연구회)

흙이라는 복잡한 자연물의 인식

흔히 흙은 살아있다고들 하는데 과연 그러한가? 흙을 그 생성의 기원에서 보면 무기물의 집합이다. 그러나 흙은 생물학적 용어인 평형항상성(Homeostasis)을 가지고 있다. 정온동물이 일정한 체온을 유지한다든가, 혈액중의 pH, 삼투압, 혈압 등을 일정범위에 있도록 조정하는 능력을 가지고 있음을 말하는 것인데, 단지 무생물의 집합에 지나지 않는 흙이 생물의 하나의 조건인 환경변화에 대한 자율성을 취한다. 또 흙은 외력(外力)을 부드럽게 하는 성질, 즉 완충능이라는 자기조절능을 가지고 있다. 그래서 흙은 살아있는 것이다. 사실 지난 수십년 동안 식물 무기영양설의 오도(誤導)에도 불구하고 흙의 극단적 피폐화나 파탄에까지는 이르지 않은 것은 바로 흙이 가지고 있는 평형항상성과 완충능에 기인하는 것으로 보아도 좋다. 그러나 수십년 지속된 인위적 파괴와 일방적 수탈이 땅을 중심으로한 거대한 물질순환고리를 끊어놓아 지력이 소진되어 고품질·다수확의 걸림돌이 되고 있다.

지력을 결정하는 물리성·화학적·생물성

즉 흙은 고상·액상·기상의 3상으로 되어있고, 하나의 상적변화는 다른 것에 영향을 미치며, 나아가 물리성·화학

성·생물성이라는 흙의 성질에도 복잡하게 작용한다.(그림 1) 흙의 성질은 보통 위의 그림에서 보는 바와 같이 물리성·화학적·생물성의 3가지로 나누어 생각할 수 있고, 이 3가지가 복잡하게 작용하여 그 토양의 특징을 만들어 낸다.

물리성은 주로 보수성·통기성, 화학성은 토양 양분 농도나 흙의 산성 등의 성질로 표현된다. 그리고 생물성은 유기물의 분해와 공급, 토양병해 등에 관계한다. 그리고 이들 성질이 총합적으로 흙의 보비력(CEC: 물리성과 화학성) 양분의 산화 환원력(화학성과 생물성), 흙의 부드러움과 비중(물리성과 생물성) 등의 성질이 나타난다. 흔히 말하는 지력이라는 흙의 총합적 힘은 이 3가지 성질에서 온다.

그러나 지금까지의 흙에 대한 인식은 산성토의 개량이나 부족 미량요소 보충 등 화학성의 측면이 강조되었고, 심지어 퇴비 투여도 유기물의 투입에

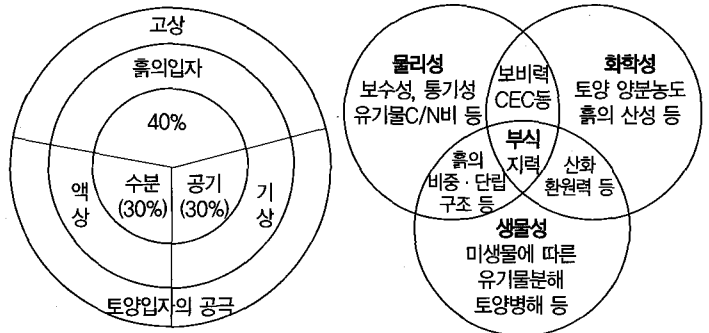


그림 1. 흙의 3상분포와 흙의 3성질



다른 보비력의 향상이나 미량요소 공급에 초점이 맞추어져왔다.

흙도 신선한 자연식으로 돌아가야 한다.

흙에 대한 인식을 이처럼 화학성을 중심으로 하게 된 데는 1840년 리비히가 제창한 식물영양의 무기설과 최소 양분설이 바탕에 깔려있다.

그러나 토양을 일종의 광산처럼 취급하며 운영한 오랜 세월이 지난 지금에 와서, 쇠약해질대로 지친 토양의 무기력이 그 화학적 조성의 불균형이나 결여에 있는 것이 아니라, 토양의 생물학적 역할, 즉 세균, 균류, 지렁이 및 곰팡이를 보지 못한 데 기인하고 있음을 깨닫기 시작했다. 사실 식물은 자연상태에서는 화학적 원소, 그 순수한 형태로 흡수하는 것보다는 유기물을 좋아하는 미생물에 의해 일관 처리된 식물(食物)을 취하기를 좋아한다.

N.P 중점 비료니, K 중점 비료니 하는 것은 복잡한 생물학적 문제를, 극히 조금 밖에 관계없는 화학적 견지에서만 고찰하는 것으로 토양의 화학적 검사가 상대파악에 도움은 되지만 토양의 비옥도에 대한 참된 측정치를 주지는 못하고 있다.

작물생산의 문제는, 작물에 식물(食物)을 제공하는 토양 속의 주민인, 지렁이·균류 및 세균 등이 왕성하게 활동하도록 그 환경을 만들어 주는 것이기 때문이다. 이들만 잘 보살펴주면 그밖의 것은 모두 이것에 따라 오는 것이다. 그동안 우리가 한 해도 빼놓지 않고 실시해온 화학비료 중심의 시비가 이점에서 마이너스효과를 가져와 결국은 생산물의 품질저하, 수량감소, 병충해 발생의 근원이 된 것이다. 올바르게 만들어진 퇴비는 토양이 요구하는 모든 것의 전부를 가지고 있다.

이와 달리 화학비료는 토양의 기초적 건강을 가

져오는 것이 아니라 그때그때 필요한 것을 보충해주는 편의적 대응일 뿐이다. 흙도 인간과 마찬가지로 정말 건전한 식물(食物)을 취하지 않으면 안 된다. 강장제·비타민제의 의약품에서 벗어나 신선한 자연식으로 돌아가야 한다.

흙은 자연이 주는 작물의 생육배지

비옥한 토양이야말로 건강한 농작물, 건강한 가족 나아가 건강한 인간의 토대가 된다. 비옥한 토양이란, 거기에 환원의 자연법칙이 확실히 적용되어서 식물체·동물체의 사체에 의한 유기물, 즉 신선한 부식을 적량 포함하고 있는 토양을 의미한다.

자연의 물질순환은 유기물의 순환과 무기양분의 순환이라는 2가지 물질순환이 이루어지는데 화학비료는 이 중 무기양분의 순환이라는 한가지 역할 뿐인데 반해 퇴구비는 2가지의 물질순환이 동시에 이루어지므로 비옥한 토양을 만든다.

그러므로 토양의 파괴는 침식만이 아니라, 토양 비옥도의 파괴, 즉 토양 미생물과 농작물의 상호보완을 지지해주는 단립구조의 붕괴가 눈에 보이지는 않으나 보다 심각한 결과를 가져온다. 우리나라 사과와 저수량, 저품질, 수세의 불균일, 조로현상에 대하여 많은 사람들은 전정 등 지상부의 관리에서 그 해결책을 찾으려 하지만 근본은 땅에 있고, 구체적으로는 '자연의 물질순환의 한쪽 축을 무너뜨린 화학비료 편중시비, 그리고 그것의 당연한 귀결인 단립구조 파괴에서 온다고 보아야 한다.

단립은 토양중 미생물의 활동에 따라 공급되는 유기물과 미립의 토양입자들로 구성된다. 땅속에는 농작물의 뿌리, 곰팡이, 세균, 지렁이 등이 살면서 무급의 노동력을 제공하여 이 일을 부단히 수행하고 있다. 특히 찰스다윈은 지렁이가 흙속의 유기물,

흙, 심지어 작은 바위의 파편까지 먹어 소화액으로 분해(10a당 10톤)하여 흙을 부드럽게 하고, 통기를 좋게하여 미생물 번식과 식물생존에 필요한 습도조건을 유지시킨다고 하였다. 토양은 세균, 방선균, 곰팡이, 효모, 원생동물, 조류, 기타생물이 충분한 생물학적 생명활동을 하고 있다. 원생동물을 제외하고는 모두 현미경적 식물이지만 10cm 깊이 1g의 흙에는 수억의 세균이 있고, 그 무게는 비옥한 땅이라면 10a당 무려 70Kg이 되기도 한다. 이렇게 많은 미생물은 죽으면 그 사체는 부식이 되어 토양을 비옥하게 한다. 또 토양미생물은 유기물을 분해하여 토양구조를 단립상태로 유지시키고 작물의 식물(食物) 제조만이 아니라 균근균 같은 것은 식물을 식물체 내부로 운반하기도 한다. 이처럼 농작물의 생육을 위해서는 토양중 미생물이 많을 수록 좋고, 미생물은 토양에 많은 유기물을 줄수록 많아진다.

이제 우리 농업은 기적적으로 작용하고 있는 토양생물의 적극적 이용 가능성을 생각할 때가 된 것이다. 그렇다고 100g, 500g의 미생물 배양체가 결코 전부일수는 없으며 그 기질이 되는 토양의 생물성이 근본이 되는 것이다.

무엇이 토양의 생물성을 좋게 하는가?

아무리 지렁이가 좋다고 해도 지렁이 한 포대를 통채로 한 나무에 부어놓아도 그 땅이 지렁이 생육에 부적절한 곳이라면 지렁이는 곧 사멸하고, 별무효과일 것이다. 반대로 그 땅이 토양생물에 적당한 환경이라면 지렁이 뿐 아니라 온갖 미생물이 충분한 살아 있는 땅이 되어 작물은 건전한 생육을 할 것이다.

무엇이 토양의 생물성을 좋게하고 나아가 작물의 생육·생산성을 좋게하는가? 작물의 양분·수분 흡수는 뿌리와 토양입자(점토와 부식)·토양수

분·토양공기, 토양양분·토양미생물의 총합적 작용으로 행해지는데 그 근간이 되는 것이 이른바 토양 3상, 즉 고상(토양입자)·액상(토양수분)·기상(토양공기)의 관계로 나타내는 물리성이다. 작물·미생물에 다같이 호의적인 3상분포는 대체로 고상 40%, 액상 30%, 기상 30%이다.

이러한 물리성을 도외시하고 당장 화학성·생물성만을 개선하려 해서는 좋은 성과를 얻기 어렵다.

왕성한 근모 활동을 위한 토양공극의 확보

근모(根毛)는 작물재배에서 토양과 관련하여 가장 주시해야될 부분이다. 흙의 구조와 기능을 살펴보고, 토양계량의 목표를 설정하고, 퇴비 중심의 시비설계를 함에 있어 가장 핵심적인 사항은 작물 뿌리의 활성화에 있기 때문이다. 이 부분에 있어서의 관점은 당연히 흙에 대응하는 작물의 뿌리, 특히 신근과 근모가 된다.

근모는 직경 10~15 μ m, 길이는 10,000 μ m 정도의 현미경적 관찰대상이다. 그러나 이 작고 수명조차 짧아 불과 수일만에 백색으로부터 변색하여 죽고말지만 양수분의 흡수는 늘 새롭게 발생하는 근모에 의해 지속된다. 발생한 근모가 건강하고, 그 교체가 원만한가에 따라 뿌리의 성장과 양수분 흡수를ダイナ믹하게 수행하느냐 못하느냐가 결정된다.

뿌리는 맨 끝에 근관이 있고 그 안쪽으로 분열대와 성장점이 있으며, 그 안쪽으로는 세포가 신장하여가는 신장대가 그 안쪽의 성숙대에 연결되어 이 성숙한 피층의 표피로부터 근모가 발생한다. 뿌리는 흙의 기상, 액상을 신장해 가면서 이 근모를 모관공극중에 신장시켜 흙의 양수분을 흡수한다.

그러나 근모은 아무땅에서나 똑 같이 발생하는 것이 아니다. 조건이 나쁘면 근모 발생이 전무한



경우도 있고, 신근의 끝이 꼬부라지든가, 끝이 부패하는 등 다양하게 나타나지만 어느 경우든 그 중요한 근모 발생이 비정상이므로 생산성은 그만큼 저하될 수 밖에 없고 오늘날 대부분의 우리 과수원들이 이 범주에 속하지나 않을까하는 심증이 간다.

근계와 근모의 왕성한 활동에는 산소공급이 핵심이므로 토양의 측면에서 보면 기상이 제공하는 큰 공극(근계)과 액상이 제공하는 작은 공극(근모)이 확보되어야 한다. 또 이러한 단립구조는 옛날부터 흙의 이상적 구조로 일컬어져왔다. 그런데 흙의 공극율은 입자의 크기에 의하지 않고 그 배열에 따른다. 단립구조란 흙의 1차입자가 모여 2차입자를 만들고 그 2차입자가 큰 입자단위(단립구조)가 되어 배열하고 있다. 이 경우 입자가 균일하다고 간주하면, 기하학적으로 1차입자사이의 공극율은 47.4%이나 2차 입자배열에서는 공극율이 72.58%로 현저하게 증대한다. 단립구조라는 특수한 입자배열이 비약적으로 공극율을 높이는 것이다.

단립구조가 만드는 공극은 비모관공극(모관은 단립내에 존재)이 되어 흙의 투수, 보수와 통기를 원활히 하여 뿌리와 근모의 삶을 용이하게하는 이상적인 식물배지 조건이 구비된다.

기상의 큰 공극의 발달은 미생물의 활동에 있어서도 불가결의 요소가 된다. 많은 미생물은 토양 유기물을 먹이로 하여 에너지를 얻는 과정에서 끊임없이 산소를 소비하고 탄산가스를 배출하기 때문이다.

토양의 양분 보지력 염기치환용량 : CEC

흙이 수행하는 또하나의 중요한 역할은 무기양분을 보지하여 작물이 흡수하고 싶은 때에 공급하는 것이다. 이 역할 담당 주역이 점토와 부식, 그리고 그 복합체이다. 이것들은 2중구조에 의하여 그 표면에 마이너스전하를 띠고 있어서 Ca, Mg, K, NH

, -N, H 등의 플러스이온을 끌어들이 붙들고 있다. 얼마만큼의 플러스 이온량을 보지할 수 있는가는 토양콜로이드가 가지고 있는 전자수로서 결정되는데 이를 양이온치환용량(CEC)이라 하고 밀리그램당량(me/100g)으로 표시한다. CEC가 큰 흙일수록 양분을 보지하여 공급하는 힘이 강한 흙인데, 점토 중 몬토리나이트와 베티쿨라이트는 크고 카올리나이트는 작으며, 부식이나 점토부식복합체는 크다.

퇴비투입에 따라 토양중의 부식을 증대시키는 것은 CEC를 높여 흙의 양분 보지력 향상에 직결된다. CEC가 큰 흙에는 비료를 많이 시비해도 그것을 비축하여 작물의 흡수에 응하여 공급할 수 있지만, CEC가 작은 흙에서는 토양용액중에 흘러나와 작물에 농도장해를 일으키기도 하고, 지하로 흘러 유실되기도 한다. 그러므로 CEC가 낮은 밭에서는 한꺼번에 많은 질소를 시비하는 것은 불가능하다. CEC에 맞는 기비량을 시비하고, 조금씩 추비하는 것이 현실적 대응책이 된다.

토양의 CEC제고는 점토광물(제올라이트 등 고 CEC 광물)의 투입이 가장 손쉬운 일이지만 유기물의 공급에 따른 부식축적이 다면적 효과가 있다. 토양속의 유기물은 무기화과정을 통해 수분, CO₂, 암모니아, 초산 등으로 되고, 나머지는 중간분해산물 및 미생물균체와 그 대사산물이 된다. 그리고 이러한 물질은 미생물 작용 및 순화학작용으로 자동산화, 또는 중축합하여 암색의 고분자화합물, 즉 부식물질로 변하는 부식화과정에 들어간다. 물론 이 과정은 토양의 무기화과정과 상호영향을 미치면서 병행하여 일어난다.

따라서 흙속에 생성되는 부식의 질과 양은 분해되는 유기물의 화학성만 아니고 작용하는 미생물군의 종류, 토양수분, 통기, pH, 온도, 식물의 종류와 그 C/N율 등의 차이에 따라 다르게 나타난다.

지력질소의 본질은 부식이다.

일반적으로 발작물에서는 이용되는 질소의 50~60%가 지력질소이다. 나머지 부분을 시비로써 보충하겠지만 반분 이상을 차지하는 지력질소 증감이 곧 안정다수·고품질 생산의 길이 된다. 작물의 수량을 올리기 위하여는 다량의 질소공급이 필요하지만 질소가 많다는 것만으로 높은 수량으로 연결되는 것은 아니다. 작물이 필요로 하는 시기에 필요로 하는 만큼의 양을 공급하는 것이 중요하다. 이 관계가 깨지면 작물의 생육단계를 혼란시켜 질소과잉등의 장애가 나타나고, 병에도 걸리기 쉽게 된다.

예를들어 만약 필요로 하는 질소를 모두 화학비료만으로 공급하려하면 토양 중 암모니아 농도나 염류농도를 높여 농도장애와 토양의 이화학적 생물적 성질을 악화시킨다. 그 때문에 지력질소와 시비질소의 균형이 필요하다.

지력질소도 발현량과 더불어 발현시기가 중요하다. 만일 신초신장정지기 이후에 N부족에 대비하여 이 무렵에 추비한다면 자칫 2차 신장을 유발하고 화아형성과 수광에 장애를 받을 수 있다. 또 시비질소는 표토에만 존재하여 흡수되므로 농도장애 아니면 지속성이 결여되기 쉽다. 그러나 토양유기물에 유래하는 지력질소는 작토전층에 분포하여 천천히 방출되므로 농도의 극단적인 상승없이 서서히 잎의 N함량을 높게 유지하여, 후기까지 광합성능을 높이는 역할을 하므로 작물의 생산물은 믿어지지 않을 정도로 추승(秋勝)이 된다.

이러한 지력질소의 본질은 부식질이다. 생물의 유체는 흙에 들어가면 미생물에 의하여 무기화 과정을 통하여 영양분으로서 식물이 이용하고, 유기화과정을 통해 미생물의 단백질로 이용되고, 여기에 또 동식물이나 미생물의 중간분해물질인 폴리페놀 키논화

합물과 결합하여 부식질의 주체인 유기, 유기복합체를 형성한다. 또 점토 광물 등 무기성분에 부착하여 무기·유기복합체를 형성한다. 여기에 미생물세포벽 물질도 이들과 결합한다. 그 결과 미생물에 쉽게 분해되지 않는 안정된 물질, 곧 부식으로 흙속에 존재한다. 그래서 흙을 염산가수분해하여 얻은 20종이상의 아미노산 조성을 보면 미생물 세포벽아미노산 조성의 특성과 너무나 닮아 있음을 알수 있는 것이다.

일반적으로 흙속에 들어가는 식물유체의 양이 많을수록 가분해성유기물의 집적량이 많다. 또 셀룰로즈·리그닌 함량이 높을수록 집적효과가 높다.

시비설계와 개선은 명료한 수치로 해야

이처럼 흙은 총체적으로 보면 살아있는 거대한 생명체이다. 그러므로 흙도 왕성한 생명력을 가지고 있어야 그 품에서 자라는 못생명이 건강하고 활기에 넘친다. 토양생물, 나아가 작물의 뿌리가 활발히 생육하는 토양환경을 만들기 위하여 부단히 유기물을 투입하고, 석회등을 투입하여 왔으나 애매하기는 50년전이나 지금이나 마찬가지다.

복잡계로서의 토양을 어떻게 간단명료하게 파악하고 대처할 것인가? 앞으로의 흙만들기-시비설계·시비개선은 누구라도 명료하게 알 수 있는 「숫자」로 표시되는 디지털 기술이어야 한다. 토양분석·수체분석·토양진단에 바탕을 두되 결코 응용하기가 어려워서는 안된다. 이런점에서 「새로운 토양진단과 시비설계 : 2002년 농문협」는 흙의 가비중과 3상분포, 양분보지력(CEC), 염기포화도, 염기발란스의 수치를 통하여 흙의 실태를 파악, 명확한 숫자적 목표치를 가지고, 퇴비의 가비중·C/N비로써 처방하는 간단명료한 방법을 제시하고 있다.(21면의 안내와 같이 저자 타케다 겐씨의 초청특강이 있음)㉞