

나무가 숨쉬는 토양

- 나무와 토양환경 (4) -



박현준 | 대표이사
(주)푸름바이오
hunjun1@hanmail.net

나무에 영향을 미치는 토양환경은 크게 물리적, 화학적, 생물학적 요인으로 나누어 볼 수 있다. 2회에 걸친 연재에서 토양수분과 공기 등 주로 토양의 물리적 영향이 나무에 미치는 피해와 방제방법에 대하여 살펴보았으며, 이번 연재에서는 토양의 화학적 성질 중 양분이 나무의 성장에 미치는 영향에 대하여 살펴보고 다음 연재에서는 토양의 pH(산도), EC(전기전도도), CEC(양이온 교환용량) 등 토양의 자체의 화학적 성질이 나무에 어떠한 영향을 미치는지와 토양 내 도시염해, 중금속, 농약 등에 의한 나무피해에 대해 살펴보도록 하겠다.

나무의 건전한 생육은 알맞은 환경조건과 병충해의 피해가 없이 충분하고 균형 있는 영양의 공급이 나무의 생리적 특성에 잘 맞게 이루어질 때 가능할 것이다. 양분은 수분과 아울러 모든 식물에게 기본이 되는 생육조건이며 적어도 필수영양소로 인정되고 있는 것은 나무가 요구하는 시기에 나무가 이용할 수 있는 형태로 공급해 주어야 할 것이다. 본래 자연상태의 나무는 토양과 물로부터 양분을 흡수하여 이용하나 수목재배나 조경수는 그러한 천연적인 공급만으로는 충분하지 못한 경우가 많으므로 각종 비료를 사용하게 된다.

토양의 양분함량과 그의 화학적 형태는 토양의 특성이나 관리상황 등에 따라 달라지는 것이며 완전한 상태로 있는 일은 매우 드물므로 나무의 영양진단과 토양검정을 통하여 좋은 효과를 거두도록 노력하는 것이다. 그러나 토양검정은 그 방법 자체도 많은 문제가 있어 그 결과만을 기초로 하여 시비량이나 양분의 종류를 보충하였을 경우 기대한 만큼 성과를 거두지 못하는 경우가 흔하다. 영양상태에 이상이 있는 것은 대개 토양 내 양분 부족에서 오는 경우가 많고 지역에 따라서는 오히려 어느 양분이 지나치게 많이 토양에 들어 있어 나무의 생육장애나 이상이 생기는 경우도 적지 않다. 또 결핍의 경우도 어느 양분이 절대적으로 부족한 경우와 흡수장애로 인해 부족한 경우가 있게 되며, 흡수장애는 다른 양분과의 균형이 맞지 않아 길항적 관계 때문이거나 뿌리 자체의 흡수기능이 좋지 않거나 토양 자체의 pH, CEC와 같은 토양의 화학적 환경조건 때문에 생기게 된다.



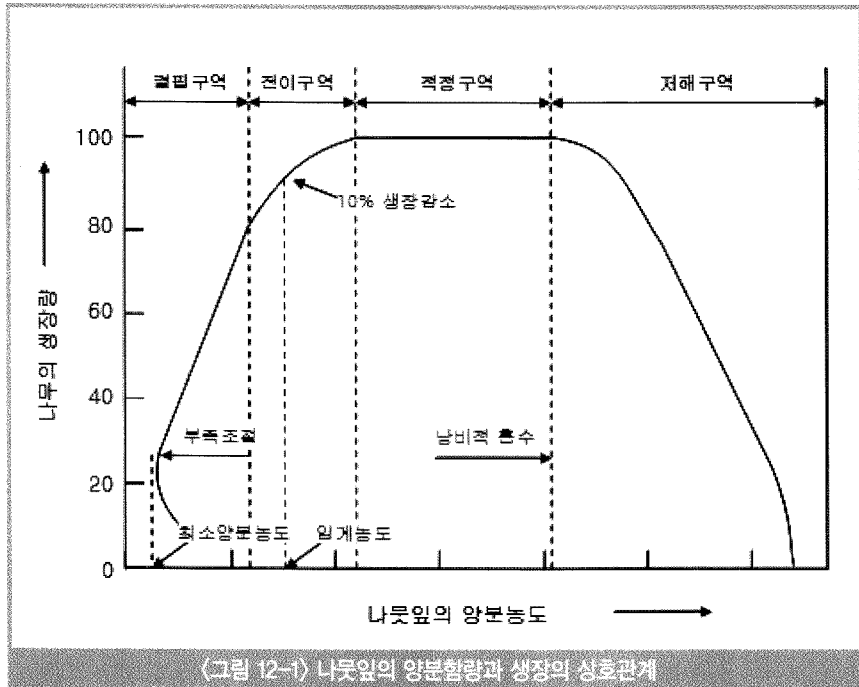
1. 나무의 적정 양분함량

이미 오래전부터 나무의 영양상태에 대하여는 양분의 한계농도(critical concentration)가 있다고 생각했는

데 그보다 높은 농도에서는 낭비적인 흡수(luxury consumption)를 하고 반대로 낮은 농도에서는 부족조정(poverty adjustment)의 상태가, 그리고 더 낮아지면 최소양분농도(minimum concentration)에 이르게 된다.

한편, 나무의 기관조직 내 양분의 농도와 성장량과의 관계를 그림으로 나타내어 몇 개의 영역으로 나누어 <그림 12-1>에 나타내었다. 즉 결핍구역(deficient zone), 전이구역(transition zone), 적정구역(adequate zone) 등으로 구분하여 적정농도와 수량이 5% 감소되는 한계농도를 규정하고 있다.

적정 또는 실용영역(operation range)을 지나게 되면 역시 장애가 일어나 급격한 성장량의 감소를 가져오게 된다.



양분 원소가 부족하거나 과다하여 나타나는 증상은 일차적으로는 눈으로 쉽게 관찰하여 알 수 있는 것으로서 일반적으로 생육상태(초장, 엽수, 잎의 크기 등), 분열과 새잎의 이상 발생, 특정부위의 괴사(necrosis)등의 이상, 전체적인 이상 형태 발생, 잎색의 변화(변화부위 순서, 전면 또는 엽맥 사이에 나타나는 변색, 반점 등의 모양), 뿌리의 발육상태 등을 조사하게 된다. 그러나 많은 경우에 빠른 판정을 자신 있게 하기는 어려우므로 이차적인 다른 정밀검사를 하게 된다.

< 표 12 > 성숙 엽 중 미량원소의 결핍과 과잉의 한계농도

미량원소	농도 (ppm)		
	결핍한계	적정범위	과잉 유해
B	15 이하	20~100	200 이상
Cu	4 이하	5~20	20 이상
Fe	50 이하	50~250	?
Mn	20 이하	20~500	500 이상
Mo	0.1 이하	0.5~?	?
Zn	20 이하	25~150	400 이상

지금까지 원인을 알 수 없는 생리병이나 어떤 유형의 문제토양(예 : 특수성분 결핍토)은 그 원인의 하나가 어느 미량원소의 결핍 또는 과잉 때문인 것으로 판명되어 이를 비료로써 조절하여 효과를 거두게 되는 경우도 많다.



2. 나무의 영양진단 방법

나무의 영양진단방법에는 여러 가지가 있다. 그러나 결핍의 초기 상태나 가벼운 상태에서는 단순한 빠른 방법으로 정확하게 진단한다는 것은 거의 불가능한 경우가 많으며, 특히 미량원소에 대하여 더욱 그러하다. 다량 원소에 대하여도 그 상태가 상당히 진전된 경우가 아니면 판정이 어려우며 많은 숙련이 필요하거나 몇 가지 다른 방법에 의하여 검색하고 종합하게 된다. 때로는 어느 한 영양소에 의한 것이 아니고 2종 이상 복합적인 경우에는 더욱 어려워진다.

영양진단을 위한 물리적 화학적 방법에는 다음과 같은 여러 가지 방법들이 응용되고 있으나 단순히 한 가지 방법만으로는 자신이 없을 경우에는 다른 방법에 의하게 된다.

- ① 나무의 외관증상(visual symptom)의 조사·관찰에 의한 방법
- ② 토양의 양분함량을 분석하는 방법(soil test)
- ③ 나뭇잎의 양분분석(plant analysis)
- ④ 나무의 생리기능시험에 의한 방법(physiological function test)
- ⑤ 생화학적인 검정방법(biochemical test)
- ⑥ 양분급여에 의한 판단법

이 방법 가운데 널리 사용되는 것은 ①, ②, ③의 방법이며 ④, ⑤는 보다 정밀을 요하는 경우에 사용된다.

1) 식물체의 외관증상에 의한 판단

이 방법은 잎의 상태, 기관이나 외부조직의 형태가 이상해지는 것, 또는 이상증세가 나타나는 자리 등을 눈으로 보아 진단하는 것이다. 이 방법은 가장 보편화되어 있고 짧은 시간에 할 수 있기는 하나 숙련이 필요하다. 또 전형적이라 할 수 있는 증세는 이미 상당히 진행된 상태이며 또 나무의 생육시기별이나 지상 및 토양조건에 따라 달라지기도 하므로 일관성 있고 절대적인 것은 아니다.

각 양분의 생리적 작용이나 나무 안에서의 이동성에 따라 각 증상의 모양이나 나타나는 부분은 공통적인 것으로 하였으므로 대체로 식물의 종류 사이의 차이는 없는 것을 전제로 한다. 때로는 뚜렷한 증상 없이 영양 장애가 문제 되는 일도 많다.

나무에 나타나는 이상증상이 기상조건, 토양조건, 병충해, 대기오염 등에 의하여 양분결핍증상과 비슷한 증상을 보이는 경우도 있으며 또 결핍증상이 다른 원인에 의하여 발현이 억제되거나 전형적이 아닌 복잡한 상태로 되기도 한다. 영양소 이외의 다른 몇 가지 요인에 의하여 지상부에 이상이 나타나는 예를 들어본다.

① 기상조건

저온에 의하여 잎이 적자색으로 되어 N, P 결핍과 비슷하게 나타난다. 건조로 생육이 억제되고 결핍증상이

나타나지 않는 경우나 잎이 청녹색으로 되어 질소과잉과 비슷하거나 잎의 가장자리가 타서 K 결핍과 비슷하게 된다.

② 토양조건

배수불량으로 잎이 누렇게(黃化)되거나 적자색으로 변해 질소나 인산결핍과 비슷하게 보이고 Mn이나 Fe 결핍과 비슷한 황화가 나타나기도 한다. 양분 상호 간의 관계는 매우 다양하여 복잡하여, 그런 예로는 질소 과잉이 K 결핍을, K 과잉이 Mg 결핍을 불러일으키는 경우와 같다. 또한 B 과잉이나 염분(NaCl) 과다로 잎가가 타는 증세를 일으켜 K 결핍과 비슷하게 된다.

③ 병해에 의한 피해

뿌리나 줄기를 침범하는 병충해에 걸리면 잎이 황화되거나 적자색을 띠어 질소결핍이나 인산결핍에 비슷한 증세가 되며 또는 잎가가 타서 K 결핍과 비슷하게 된다. 어떤 경우에는 생장점 부근의 잎이 구겨지거나 말려 B 나 Ca 결핍과 비슷하게 보이고 또 병의 증상 때문에 결핍증세가 가려지기도 한다.

④ 기계적 장애, 약해

잎이 기계장애를 입어 끊어진 데에서 가까운 부분은 적자색을 띠어 인산결핍과 비슷해 보인다. 어떤 농약에 의하여 잎이 황화되면 질소결핍과 비슷해 보이고, 농약이나 높은 농도의 비료에 의한 장애로 잎가나 엽맥 사이가 갈색으로 변하여 K 또는 Mg 결핍과 비슷한 증상이 나타나기도 한다. 두 가지 이상의 양분이 결핍 또는 과잉으로 나타나는 증세가 같은 시기이면 각각 단독인 경우와는 뚜렷이 달라 영양진단이 어려워진다.

〈 표 12-2〉 결핍영양소의 검색표

I. 피해증상이 늙은 잎 또는 하위엽에 잘 나타나며 부분적 또는 전체적으로 나타나는 경우가 있다.	
A. 나무 전체에 걸쳐 나타나며 특히 하위엽부터 말라죽는다.	
a. 나뭇잎 전체가 옅은 녹색으로 되며 고엽은 황색 또는 옅은 갈색으로 말라 죽는다. 생육 후기에 결핍되면 줄기는 짧고 가늘어진다. _____(N)	
b. 나뭇잎 전체가 짙은 녹색을 띠고 간혹 적색 또는 자색이 나타나며 하위엽이 황색 내지 녹갈색 또는 흑색으로 말라죽는다. 생육 후기에 결핍되면 줄기가 짧고 가늘어진다. _____(P)	
c. 생육이 어느 정도 진행되어 나타나는 경우가 많다. 증상은 하위 또는 외부엽부터 점차 어린 잎에 이르러 나타나며 엽맥 사이가 황화되고 부풀며 잎의 가장자리(엽변)는 안쪽으로 말리고 잎의 끝과 기부에서 고사한다. _____(Mo)	
B. 증상이 보통 나무의 한 부분에만 나타난다. 특히 아랫잎에 반점 또는 황변이 일어나고 죽는 부분이 생기기도 하나 말라죽는 경우는 드물다. 점차 어린잎에도 미쳐나 생육이 어느 정도 진행되어 나타나는 경우가 많다.	
a. 잎에 반점 또는 황변이 일어나고 간혹 변색을 띠기도 한다. 잎이 부분적으로 죽기도 하며 잎의 끝과 가장자리가 위쪽으로 굽어 컵 모양이 되고 줄기는 가늘어진다. _____(Mg)	
b. 잎에 무늬 또는 황변이 일어나고 조직이 죽은 크고 작은 반점이 생긴다.	
④ 죽은 잎 부분은 잎의 끝과 엽맥 사이에 작은 반점으로 나타나나 잎의 가에서는 더 크다. 줄기는 가늘어진다. _____(K)	
⑥ 잎의 고사무늬는 보통 엽맥 사이의 작은 구획으로부터 빠르게 번지며 2차 엽맥에도 이른다. 잎이 좀 두터워진 듯하고 질감이 짙어진다. _____(Zn)	

II. 어린잎에 피해증상이 뚜렷이 나타나며 나무의 일부에만 나타난다.

A. 어린 잎의 끝 또는 기부가 변형되고, 곧이어 줄기의 끝 부분이 고사한다.

- a. 줄기 끝 부분의 새잎이 먼저 낚시바늘 모양으로 굽고 곧이어 잎의 끝과 가장자리부터 조직이 죽어 자란 잎은 끝과 가장자리를 끊어낸 것 같이 되고 줄기의 끝 부분이 고사한다. (Ca)
- b. 줄기 끝 부분의 새잎에서는 기부가 옅은 녹색으로 되고 곧 이어 그 부분이 죽는다. 생육 후기에는 잎이 쭈그러지고 줄기는 끝 부분부터 고사한다. (B)
- c. 잎의 끝이 시들기 시작하여 독특한 황화가 일어나고 다시 청동색으로 괴사하게 된다. 심한 경우에는 모든 잎에까지 미치며 착과가 어렵다. 외부에서 나타나는 일은 거의 없다. (Cl)

B. 줄기의 끝 부분(정단부)이 보통 마르지 않고 남는다.

- a. 새잎은 시든다(선단위조) 반점이나 뚜렷한 황변은 일어나지 않으며 심히 곁핍되면 정아에 가까운 가지, 줄기, 화방이 똑바로 서지 못한다. (Cu)

C. 새잎이 누렇게 되나 시들지 않는다.

- a. 작은 고사반점이 잎의 한쪽에 생긴다. 보통 가장 가는 엽맥도 오래도록 녹색이 남으므로 잎에 그물눈모양이 형성된다. (Mn)
- b. 고사한 반점은 보통 나타나지 않는다.
 - ㉠ 새잎의 황변은 엽맥에도 나타나 엽맥과 엽맥 사이 조직이 옅은 녹색을 띤다. (S)
 - ㉡ 새잎은 황변되나 굵은 엽맥에는 미치지 않고 짙은 녹색으로 남으며 줄기는 가늘고 짧아진다. (Fe)

나무의 영양진단도 조기에 실시되면 그에 대한 대책의 효과가 나타나는 것이나 시기가 이룰수록 정확한 진단이 어려워지며 사실 외관으로 증세가 분명히 나타나는 시기에 자라고 있는 그 나무에게는 이미 대책이 늦어 효과를 기대하기가 어렵고 그 다음해에나 효과를 거두게 되는 경우가 많다. 이러한 경우 토양시비 보다는 엽면시비를 하면 더 좋은 효과를 거두는 경우가 많다.

〈 표 12-3〉 필수영양소의 과잉 피해증상

영양소	증상
질소	잎이 짙은 녹색이고 지나치게 무성하며 조직이 연약해지고 성숙이 지연된다. 병해충의 피해를 입기 쉽다.
인산	약간 과잉으로는 뚜렷한 증세가 잘 나타나지 않으나 심한 과잉상태에서는 키가 작고 잎이 두터워지며 전체생육이 좋지 못하다. 성숙이 빨라지고 수량이 감소된다. 조직 안에 인산철이 침적되어 철의 기능을 방해한다.
칼륨	간혹 Ca과 Mg의 곁핍을 유발시키고 감귤은 과실표면이 거칠어진다. 과실의 착색과 맛이 나빠진다.
칼슘	미량요소(Mn, Fe, B, Zn 등)의 흡수를 방해하여 그 곁핍증이 나타나기 쉽다.
마그네슘	뚜렷한 증세가 알려져 있지 않으며, Ca과 함께 토양을 일칼리화하여 B, Mn, Zn의 곁핍을 일으킨다.
황	토양을 산성화시키거나 버의 뿌리를 썩히는 등의 간접적인 영향을 미친다.
철	잘 나타나지 않으나 Mn과 인산이 곁핍되기 쉽다.
망간	잎이 백색으로 되거나 엽록소의 분포가 고르지 않게 되며 늙은 잎의 끝에 갈색 내지 자주색의 작은 반점이 생긴다. Fe 곁핍증이 나타나는 경우가 있으며 감귤류는 일찍 낙엽 된다.
구리	뿌리의 성장이 억제되며 가짓수가 적고 잎은 황화 혹은 갈변되기 쉽다.
아연	잎에 'Fe 황화'가 나타나며 콩과식물에서는 잎자루와 잎의 뒷면에 자갈색의 반점이 생긴다.
염소	잎의 끝이나 돌레가 마른다. 잎이 청동색 또는 황색이 되거나 낙엽되며 잎이 작고 생육이 좋지 못하다.
붕소	성장이 억제되고 잎의 끝이나 가장자리부분이 누렇게 되거나 갈색을 띠며 괴사하기 시작하여 점차 가운데 부분까지 번진다.
몰리브덴	뚜렷한 증세가 잘 나타나지 않으나 드물게 잎에 황색내지 청색의 무늬가 생기며 황화된다.

2) 토양의 양분함량의 분석에 의하는 방법

나무에 대한 양분의 공급은 인위적으로 공급하는 것을 제외하고 대부분 토양으로부터 얻게 된다. 그러므로 나무에게 흡수되기 쉬운 상태(可給態)로 어느 양분이 토양 안에 충분히 함유되어 있는지, 부족한 상태이거나 과잉상태인지를 화학적으로 분석하여 판단하는 방법이다.

토양에 들어 있는 양분의 형태는 다음 네 가지로 구분할 수 있으며, 원소의 종류에 따라 각 형태의 식물에 대한 유효성에 차이가 있다.

- ① 토양용액에 용해되어 있는 것
- ② 토양 교질물에 흡착(adsorption)되어 있는 것
- ③ 점토광물의 결정격자에 결합되어 고정된 것과 난용성 염
- ④ 광물과 부식물의 구성물인 것 등

그 유효성이 대체로 ①②③④의 순으로 낮아진다고 말할 수 있다. 그러나 토양 중 유효양분량을 분석할 수 있는 화학적 방법과 결핍 또는 과잉의 한계농도를 설정하는 문제는 아직 불완전하므로 현재로는 많은 분석결과로써 진단에 이용하고 있다.

〈표 12-4〉 토양 중 주요양분의 적정함량 범위

양분 형태		적정함량(100g 토양 중)
다량원소		mg
질소	NO ₃ -N	3~8
	NH ₄ -N	5~15
P ₂ O ₅	유효태	30~100
K ₂ O	치환성	15~20
CaO	치환성	200~400
MgO	치환성	25~50
SiO ₂	유효태	15 이상
미량원소		ppm
B	유효태	0.8~2.0
Mn	치환성	4~8
Fe	치환성	8~10
Zn	가용성	8~40
Cu	가용성	0.8~1.5
Mo	유효태	0.05~0.4

3) 나뭇잎의 양분원소 분석에 의한 영양진단

나무의 영양진단을 위하여 나무의 일부 또는 전체를 시료 채취하여 함유되어 있는 성분을 분석하여 판정하는 방법이며, 보통 잎을 분석(엽신 또는 잎자루분석)하나 나무의 종류와 필요에 따라서는 줄기, 뿌리, 과실부분을 채취하기도 한다. 이 방법은 그 분석결과가 나무의 영양상태와 가장 밀접한 상호관계가 있으므로 영양진단에 있어서 신빙성이 매우 높다고 생각하여 나무의 재배 및 관리 목적에 적합한 양분농도를 확정하는 데 활용되고 있다.

토양분석만으로는 그 토양의 양분 종류별 공급능력을 완전히 파악하기가 어려운 것이다. 비록 토양에 원하는 양분의 함량이 충분히 많다하더라도 토양의 물리적 성질 등에 따라서 또는 뿌리 자체의 흡수특성에 따라서 흡수한 양분원소의 양이 부족할 수도 있으므로 토양분석보다 직접 나뭇잎을 분석하여 흡수된 성분량으로써 진단하게 된다. 이 방법으로는 외관증상에 의한 판정 후 흡수성분을 분석하여 판정의 확실성을 뒷받침하게 되고, 또한 어떤 증상이 겉으로 나타나기 이전에 그 양분의 영양상태를 조기 진단할 수도 있으며, 그 결과에 따라 시비 여부를 결정할 수 있는 것이다.

〈표 12-5〉 나뭇잎 양분분석의 예

단위: 건물 %

종류	N	P	K	Ca	Mg
사과(중위부 잎)	2.2~2.8	0.2~0.35	1.1~1.5	1.3~2.0	0.25~0.4
오렌지(끝가지의 잎)	2.4~3.5	0.15~0.3	1.2~2.0	3.0~7.0	0.25~0.7
튤립나무(생육 양호)	0.75	0.20	0.89	3.1	0.32
튤립나무(생육 불량)	0.95	0.10	0.67	2.76	0.29

분석재료로서 잎을 취하는 것은 다른 기관이 저장의 기능은 있으나 잎은 대사의 활성이 높고 성장하는 기관이기 때문에 영양상태를 잘 반영한다고 생각하며 또 소량의 잎을 채취하여도 식물에게 별로 장애를 끼치지 않기 때문이다. 그러나 잎의 어느 성분이나 원소는 잎의 나이(葉齡), 위치, 생육시기에 따라 다르므로 일정한 조건에서 실행되어야 한다. 잎의 나이도 시간적인 것보다 생리적인 나이에 기준을 두고 할 것이다.

예를 들면 한 나무에서도 어린잎은 늙은 잎에 비하여 질소와 인산의 농도가 높으나 Ca는 적고 또 한 잎에서도 봄에서 가을에 이르는 동안 질소와 인산의 함량은 점차 낮아지나 Ca는 반대로 증가 된다. 그러므로 잎의 분석시료채취에 있어서는 건전한 나무와 생육이 불량한 나무의 잎을 같은 생육시기에 각각의 상당하는 위치의 것을 채취할 것이고, 한 포장의 평균값을 얻기 위하여는 적어도 10~20개체로부터 채취할 것이다.

과수의 예를 들면 가지와 잎의 신장이 멈추고 성분함량의 변화가 적은 시기(대개 7, 8월)에 한 과수원에서 고르게 자란 10그루를 대상으로 하고 나무의 수관둘레의 눈 높이에서 발육이 중간 정도의 새 가지 10~20개를 골라 각 가지의 중앙 잎 1매를 취하고 모두 100~200매 정도를 취한다. 엽면을 2% 식초산으로 닦고 70℃에서 말려 분쇄한 것을 분석시료로 사용한다. 나무의 양분함량을 분석하기 위해서는 시료채취요령을 표준화하는 것이 근본적으로 중요하며 병충해를 입었거나 어떤 상처를 입은 것은 분석시료로 사용해서는 안된다. 잎의 분석으로 알 수 있는 영양상태는 모든 양분에 대하여 가능하나 미량원소가 문제가 되는 경우는 매우 드문 편이다.

〈표 12-6〉 굴나무의 영양상태를 진단할 수 있는 엽분석 지침

단위: 건물 %

엽분석 성분	영양상태		
	결핍상태	적정수준	과잉상태
질소	2.2 이하	2.3~2.7	2.8 이상
인산	0.09 이하	0.1~0.2	0.3 이상
칼륨	0.4 이하	0.5~2.0	2.3 이상

식물체의 화학분석조작은 현재 매우 발전되어 있고 거의 표준화되어 있다. 특히 미량원소의 분석에는 원자흡광광도계, 분광광도계, 이온 크로마토그래피 등을 사용하여 극히 미량(0.002ppm 혹은 그 이하)까지 정확하게 검출·분석할 수 있게 되었다. 그러나 이러한 방법은 실험실과 기구가 필요하며 높은 수준의 훈련과 시간이 필요하므로 제약을 받는다.

따라서 포장에서 쉽게 쓸 수 있는 엽분석 방법은 나뭇잎 색의 진한 정도를 휴대용 흡광 광도계(일명 클로로필 측정기)를 이용하여 측정하는 것이다. 이 측정기는 침엽수에는 사용하기 곤란하며, 반드시 살아있는 잎을 측정해야 하고, 병해충에 걸린 잎을 사용해서는 안된다.

다음호에 계속,,