

林木의 水分生理

慶尙大學校 農學博士

金 鼎 錫

植物體는 70% 이상의 물이 그의 構成物이므로 물은 植物體에 있어 不可缺의 것이라함은 새삼이 야기 할 필요가 없다. 물은 곧 生命相을 나타내는 것이다. 따라서 植物의 水分生理에 對하여서는 수많은 것이 밝혀져 있다. 여기에서는 몇가지 쉬운 水分生理에 對하여 쓰기로 한다.

于先 물의 植物體內에서의 機能은 有機化合物의 合成과 無機, 有機物質의 移動, 自體의 保衛와 生命의 連續相의 維持 등을 들수가 있는데, 이와같은 機能은 물의 分子의 構造에서 찾아볼수가 있다.

1. 물分子의 構造

물의 役割이 위와같이 偉大한것은 물의 分子의 構造 때문이다. 卽, 물分子式은 H_2O 인데 그림 1 과 같이 水素(H) 原子 2 個는 各其 酸素原子(O) 한個와 함께 한쌍의 電子(-로荷電)를 共有하고 있는 形態로 恒時 存在하고 있다. 이 構造를 하고 있는 물分子는 酸素原子의 外殼에 있는 2 個의 水素原子의 配置때문에 물分子는 V字形을 하고 있게 된다.

酸素原子는 強하게 電子를 끌어 들이는 作用이 있어서, V字 頂點은 음(-) 電氣를 띠게만든다 同時에 밀려난 2 個의 水素原子는 部分的인 양(+) 電荷를 나타낸다. 元來 물分子는 電氣의 中性이지만, 陰電荷와 陽電荷가 分離되어, 結果的으로는 電氣의 2 個의 極을 가진 雙極子를 形成한다. 이 雙極子로 말미암아 물分子들 사이에는 強한 引力이 생긴다. 다시 말하면 한個의 물分子의 酸素原子쪽에 생긴 部分的인 -電荷와, 다른 물分子의 酸素原子의 周圍에 있는 水素原子에 생긴 部分的인 +電荷 사이에 強한 靜電引力이 생기게 된다. 이 引力으로 個々의 물分子들은 結合을 하여 우리가 마시는 물의 形態로 되어있는데, 이

것은 化學에서는 水素結合이라고 한다. 水素結合을 하고 있는 두 물分子사이의 거리는 2.76 \AA 이고, 한물分子의 酸素原子核과 다른 물分子의 水素原子核과의 거리는 1.77 \AA 의 거리에 있는데, 두 물分子의 水素結合은 몰한모르 (mol) 당 4.5 Kcal 의 힘으로 結合되어 있는데, 이 結合력이 바로 물의 偉大한 특성이된다. 地球表面에 있는 溶解形態의 물과, 結氷形態의 물, 그리고 大氣層에 相當한 두께로 地殼을 덮고 있는 水蒸氣形態의 물들은 그리 크지않은 氣溫의 變化로 인한 地殼의 急變과 生命體의 體溫의 急變化를 일으키지 못하게 하여 넓은 地域에 生命體가 生存하도록 하고 있다. 融解熱, 比熱, 그리고, 氣化熱 등이 다른 液體에 比하여 높음으로 해서, 낮은 溫度에 물이 融解하거나, 水蒸氣로 氣化하는 것을 防止하고, 比熱(아모니아는 除外)이 높음으로 해서 낮은 溫度로 加熱했을 때에 물의 溫度가 急上昇 되는 것을 防止할수가 있어 물로 形成된 植物이 어느 溫度範圍內에서는 外溫의 變化를 받지 않고 있어 물은 植物體가 生活力을 상실하는 것을 防止하여 주어 넓은 地域에서 生存할수 있게 하여 주고있다. 한便, 물은 熱傳導度가 커서 植物體가 體溫을 均一히 하는데 도움을 주고, 紫外線의 吸收性이 커서 植物體에 有害한 光線의 投入을 방지 하여주고있다.

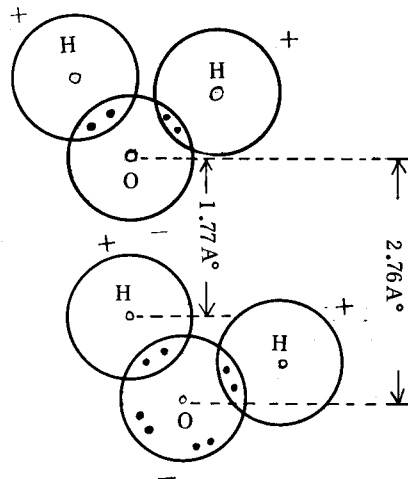


그림 1. 물分子의 구조와 결합

以上은 물自體의 構造로 因하여 植物體가 有益한 狀態를 維持하는데 役割이라고 할수있다.

다음은 물의 水素結合과 共有結合으로 因한 役割을 說明하면, 물은 물分子사이에서만 水素結合을 하는것이 아니라 酸素(O)나, 窒素(N), 또는 弗素(F)와 같은 電氣陰性도가 큰 原子와 다른 電氣陰性도가 큰 原子에 結合되어있는 電氣陽性的인 水素原子사이 에서 結合이 나타나기 때문에 많은 有機無機物의 化合物을 만드는데 決定的인 役割을 한다. 反對로 물의 加水分解反應은 물은 어느液體보다도 많은 물질을 녹이는 훌륭한 용매(溶媒)이다. 이性質은 물의 雙極子이기 때문인데, 合成된 物質의 移動과 에너지(energy)를 얻기 爲한 分解의 용매役割이다. 날씨가 좋고 氣溫이 알맞아서 生長이 旺盛한 條件인데 건조한 土壤에서 水分이 不足하면 生長을 못하는 理由는 두가지 原因이 있다. 한가지는 植物이 光合成作用을 하는데 있어, 于先, 明反應過程에서 太陽의 光量子(photon)는 葉綠體内の 물分子를 分解하여 水素(H⁺) 電子와 酸素(O₂)分子, 그리고 電子(e⁻)를 얻는데, 물이 不足하면 이들 電子를 만들수 가 없다. 이들 電子中 e⁻ 電子는 葉綠素-b를 거쳐 葉綠素-a에 回轉하면서 ATP(adenosine triphosphate)라고 하는 16Kcal의 energy를 가진 物質을 만들게 하고, 水素電子(H⁺)는 NADPH₂(nicotinamide adenine dinucleotide phosphate의 水素受容體)을 各各 만든다. 위 두 高 energy 物質을 光合成의 最終生産物인 포도당을 만드는데(合成) 힘이 되고있다. 또한가지는 물을 CO₂ gas와 合하여 포도당이 되기때문에 물은 炭水化合物 新合成에 必須이다. 이것은 물의 結合이 分解되면서 莫大한 힘으로 轉換하고 그 힘은 化合物을 合成하는데 쓰이는 셈이다. 이와같은 反應으로 해서 植物體는 有機化合物 1kg을 合成하는데 물이 200~300kg이 所要된다

2. 植物體의 물의 吸收와 移動

土壤水는 吸着水, 毛管水, 重力水와 水蒸氣등으로 구분되지만 林木이 生育에 使用되는 것은 주로 毛管水와 重力水의 一部이고, 根毛가 土壤粒子

사이의 空氣中에 있을때는 根毛細胞는 空氣中에서 水蒸氣의 形態로 吸收한다.

물은 林木이 지니고 있는 物質中 가장 多量의 것으로서 重量으로 全體의 70%以上을 占하고 있다. 그리고 그보다도 많은 물이 土壤에서 吸收되어 植物體를 빠져나가 水蒸氣의 形態로서 大氣中에 排出하고 있다. 이같은 現象은 물의 移動이 可能한 것에 起因한다. 물의 移動은 캘리포니아의 세코이아(Sequoiadendron giganteum)나, 유카리(Eucalyptus amygdalina)의 大木과 같은 100m 以上の 높이 까지 물을 빨아 올리는 機作이 林木에 具備되어 있음을 시사하고 있는데, 이것은 물의 表面張力과 凝集力의 性質이 關與하는 물의 移動의 原動力으로 삼고있는 3作動인 浸透, 毛細管現象과 吸水壓(물의 分壓差)의 作用이라고 보고있다.

1) 植物細胞와 浸透壓

植物細胞膜은 濃度差에 依한 勾配擴散에 依하여서는 溶媒分子는 透過시키고, 溶質分子는 不透過性인 半透性膜으로 根毛細胞가 土壤中の 물과 접하고 있는 部分에서는 물分子만 膜을 通過하여 細胞內로 移動하는데, 이現象이 浸透이다. 이때 생기는 壓力을 浸透壓이라고 하는데, 이現象은 濃度가 다른 두 液사이에 일어나고 浸透運動의 方向은 溶質의 低濃度에서 高濃度쪽으로 일어난다. 土壤中の 水分이 豊富하여 根毛細胞内の 溶質濃度보다 낮으면 植物은 吸水할수 있고, 反對로 土壤中の 溶質濃도가 높을때, 卽 가물거나 高鹽狀態(施肥 등으로)에서는 植物은 도리어 물을 脫取當한다.

植物細胞의 제일 바깥쪽에 있는 細胞壁은 溶質을 完全히 透過할수 있는데 對하여 그안쪽에 있는 細胞膜과 細胞質內에 있는 液胞膜은 半透性膜이므로, 細胞가 어느 높은 濃度の 溶液에 接하면 細胞内の 溶媒인 물이 脫取當하여 所謂 原形質分離가 일어나고 反對로 細胞를 물 또는 희석한 溶液속에 넣으면 水의 浸入으로 細胞內容은 增大하여 細胞質은 細胞壁을 밖으로 밀어내려는 膨壓이 생기고, 反對方向으로 作用하는 細胞壁의 壁壓도 일어난다. 根毛의 吸水는 細胞質의 浸透壓에 起因하지만, 反對方向으로 作用하는 壁壓

의 影響도 받으므로 實際의 細胞의 吸水에 關與하는 힘은(吸水壓) 浸透壓-壁壓(=膨壓)의 差이다. 따라서 林木이 土壤에서 吸水하려면 土壤中の 溶質의 濃도가 낮고, 根毛의 細胞質濃도가 높아야 하므로 施肥直後의 灌水는 吸收에 크게 도움이 된다.

2) 물分壓(potential)과 根에 依한吸水, 물의 分壓은 물의 上昇을 說明하는데 좋은 概念이다. 卽, 물의 分壓을 0으로 하고, 溶質을 가진 水溶液에서는 -(負)의 値가 된다. 半透性膜으로 分離된 물과 溶液에서, 물이 溶液으로 들어가는것은, 溶液에서는 溶質分子의 數(濃)만큼 水分子가 적으므로, 물의 分壓이 그만큼 낮기 때문이다. 이 낮은 程度가 바로 浸透壓에 해당한다. 따라서 植物體속에서 물이 빨리 올라가는 現象은 上部가 下部位보다 물分壓(potential)이 낮기 때문인데, 이것은 蒸散(葉에서)에 依한 큰負壓이 생긴것에 原因을 두고 있다. (그림 2) 吸水는 根毛에서 이루어 지는데, 根毛 때문에 뿌리의 表面積은 10 倍程度 增加하고있다. 뿌리에 依한 吸水는 蒸散이 主原動力 이지만, 生長이 旺盛할 때는 呼吸 energy 를 使用하여 吸水를 돕고 있는데, 根壓으로서, 2 氣壓 程度의 壓力이 測定될때도 있다.

뿌리에 依한 吸水는 土壤의 狀態에 따라서 影響되고 있다. 吸水를 左右하는 條件으로서는 ① 土壤속의 水量 ② 土壤의 通氣性 ③ 地溫 ④ 土壤液의 鹽濃度等을 들수있다. 土壤中の 물이 뿌리로 移動하려면 土壤의 물分壓 보다 뿌리의 물分壓이 낮아야 한다. 土壤中の 물의 分壓에서 重要한것은 毛管力과 吸着力에 依한 分壓인데, 뿌리가 吸收할수 있는 물은 毛管力에 依하여 維持되고 있는 물인데, 가는 틈에 있는 물은 結合되어있는 힘이 強하여 물의 分壓이 낮으므로, 뿌리는 吸收못한다. 또한, 土壤粒子面에 吸着되어있는 물은 水素結合에 依하여 強力하게 結着되어 있으므로 이것도 利用못한다. 그러나, 물이 過多하면 呼吸 障害가 와서, 도리어 吸水가 阻害되어, 生長이 不良하여진다. 이와 같은것등을 考慮하여 吸水에 適當한 土壤의 물分壓은 $-0.3 \sim -15$ 氣壓 이라고 하고 있다. (그림 2 참조)

土壤水의 鹽濃度の 增加는 물分壓의 低下를 招來하여 吸水에는 마이너스 가된다. 높은 地溫은 酵素活性을 억제하고, 低溫은 呼吸活性을 低下하고, 그리고 물의 粘性을 增大시키므로, 吸水에 나쁜 影響을 한다. 그리고, 土壤의 通氣는 呼吸을 左右하므로 積極的인 吸水에 影響한다.

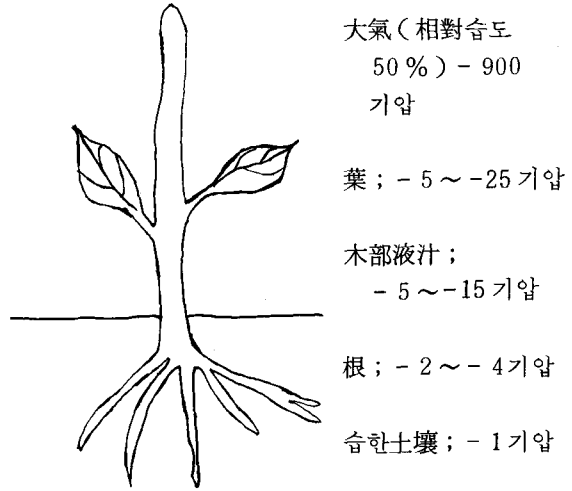


그림 2. 土壤-植物-大氣系에 있어서 물分壓

3) 물의 줄기와 잎에서의 移動

여기에서는 물의 上昇의 原因中の 하나인 毛細管現象에 對한 內容이 된다. 뿌리에서 잎까지의 물의 經路는 다음과 같다. 皮層을 構成하는 數層의 山細胞를 거쳐, 木部의 導管, 假導管에 도달한다. (그림 3). 植物體에서의 물의 移動은 葉에서의 蒸散이 起動力이 되고있다. 蒸散에 依하여 물을 消失한 葉肉細胞에서는 물分壓이 낮아진다. 따라서 隣接한 細胞에서 물을 빨아들인다. 물을 잃어버린 細胞는 이와 같이 하여 물의 分壓이 낮아진다. 이같이 順次的으로 물分壓의 低下를 일으켜, 維管束鞘의 細胞에 이르고 마침내는 導管, 假導管의 물을 끌어 올리게까지 된다. 이같이 하여 上位가 下部位 보다 물의 分壓이 低下되어, 導管內에서의 물의 上昇現象이 일어나게 된다. 한가지 實例를 들면, 높이 50 m 의 林木에서 重力에 對抗하여 물을 上昇시키려면, 5 氣壓 정도의 힘이 必要하다. 그러나

實際에는 通導抵抗이 있으므로 10 氣壓以上の 壓力이 必要하다. 葉의 浸透分壓으로서의 마이 나스 數 10 氣壓이 實測되고 있으므로 물의 上昇에 必要한 分壓差는 생기고 있다. (그림 2) 더욱이 물의 凝集力은 內徑 0.6 ~ 0.8 mm의 毛細管에서 270(20°C) 氣壓程度에 達하여, 마이 나스 數 10 氣壓에 達하여도, 물分子끼리의 結合이 끊어지지 않음이 證明되었다. 이 凝集力은 導管 굵기의 鐵絲의 張力과 맞먹는 힘이다. 實로 큰 힘이다.

이 힘때문에 물은 줄기속에서, 끊어 지지않고 葉까지 上昇한다. 葉脈속의 導管(또는假導管)의 末端에 到達한 물은 數層의 細胞를 거쳐, 氣孔의 呼吸腔을 構成하는 葉肉細胞에 도달하여 細胞틈속에서 水蒸氣로 變한다. 細胞 밖으로 나간 水蒸氣는 氣孔을 通하여 體外로 擴散하는데 이것을 蒸散이라고 한다. 한편, 葉과 줄기의 表面과 皮目으로도, 물은 直接 消失되는데 葉表面의 角質層에서는 全體蒸散水の 3% 程度를 排出하고 있다. 角質層과 皮目を 通한 蒸散은 大端히 乾燥한 狀態에서 氣孔이 닫혀지고 있을 때에 重要하다. 나머지의 大部分의 물은 氣孔을 通한 蒸散인데, 氣孔은 蒸散하는데 좋은 形態를 하고 있다. 氣孔의 크기는 幅이 3 ~ 12 μm 길이 10 ~ 40 μm 이고, 그數는 植物의 種類에 따라서 差異가 있으나 1 cm^2 에 1,000 ~ 60,000 개 있다. 氣孔은 葉 뒷면에 있지만 兩面に 있는 種類도 있다. 氣孔의 孔邊細胞는 表皮細胞이지만 葉綠體를 가지고 있다. 氣孔의 開閉는 孔邊細胞의 吸水 脫水에 依한 膨壓의 變化에 依하여 일어난다. 光合成이 旺盛하여 呼吸腔內의 CO_2 濃도가 低下(0.01% 程度) 하여지면, 孔邊細胞의 吸水로 因하여(酵素作用) 膨壓이 높아져서, 氣孔이 열리고, 溫度가 높아지면, 氣孔은 닫힌다. 이것은 蒸散과 呼吸이 旺盛하여져서, 細胞內의 CO_2 增加로, PH 低下와 酵素活性이 낮아져서 合成物質의 增加로 因한 水分의 吸引이 덜 일어나기 때문이다. 氣孔의 合計面積은 葉表面의 1 ~ 2% 에 지나지 않으나, 그 氣孔으로의 蒸散量은 葉과 같은 面積의 水面에서의 蒸散量의 65% 以上에 達하고 있는데, 이것은 氣孔의 構造

가 얼마나, 合理的인가를 證明하고 있다. 實際로 물分子의 직경은 0.00045 μ 이므로, 氣孔 1 μ 當 2,000 個 以上の 물分子가 配列하게 되고, 제일 작은 氣孔한개에 1,400,000 개의 물分子가 一時에 배출 될수 있는 구조이다.

위에서는 물의 移動을 돕는 여러가지 現象에 對하여 살펴보았다. 그럼 물이 林木의 줄기속에서 移動이라 할까, 上昇하는 流速은 環孔材인 참나무, 물푸레나무, 아까시아나무에서는 1時間에 20 ~ 45 m 上昇하고, 散孔材인 자작나무, 단풍나무, 너도밤나무에서는 1時間當 1 ~ 4 m 밖에 上昇 못하고 있다. 그리고, 無孔材인 針葉樹類에서는 大端히 그 速度가 느려서 時間當 0.5 m 以下이다. 環孔材는 一般的으로 散孔材에 比하여 導管의 직경과 길이 가 크다. 直徑이 큰 導管이 물의 通過에 有利한 때는 生育이 旺盛할 때이고 이때에 空氣가 들어가면 물의 上昇은 못하고, 이때는 夏材의 口徑이 작은 導管으로만 물이 上昇한다.

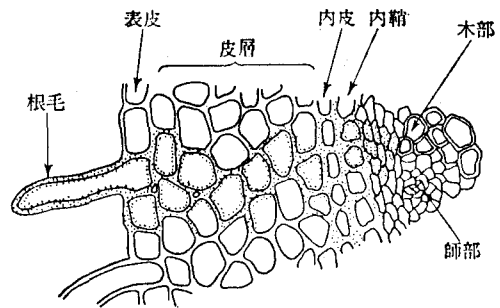


그림 3. 根端에서 물이 上昇하는 通路를 나타낸 模式圖.

3. 乾燥時의 물調節과 管理

여기에서는 苗圃場 乾燥時의 물管理에 對하여 쓰기로 한다.

葉에서의 蒸散作用은 林木의 重要한 生理現象인데, 普通의 陽葉에서 晝間에는 10 cm^2 當 1時間에 5 CC 可量式蒸散하고, 夜間에는 0.5 ~ 2.5 CC 蒸散한다. 萬若 10 cm^2 크기의 葉을 10 枚 附着한 幼苗인 境遇에는 時間當 50CC, 그리고, 1 日에는 0.5 ℓ 程度의 물이 所要된다. 더욱이 秒

當 1 m 程度의 弱한 風速일 때는 光合成도 가장 旺盛하여 지므로 보다 많은 水量이 所要된다. 따라서 이 많은 물을 地中에서 供給받아야 하는데 土壤은 毛細管現象에 依하여 晝, 夜 繼續하여 끌려올라 오고있다. 그러나, 植物體自身도 地中의 利用可能水分이 不足하여 지면, 毛根의 發生을 抑制하고, 相當한 細根 까지도 表皮細胞는 cork 細胞化 하게 되는데, 乾燥害는 根이 葉보다 먼저 받으므로 많은 毛細根은 枯死하게 된다. 葉의 氣孔도 水分이 不足하여지면 구멍이 닫히(閉)게 된다. 卽, 光量은 充分하나, 水分이 不足하면 光合成이 不振하게 되어, CO₂ (呼吸腔)의 增加로 PH가 低下하여 저서 마칩내는 澱粉 分解가 低下하여 氣孔이 닫히게 된다. 水分 不足이 甚하여지면 葉이 밑으로 늘어져서 葉裏面 氣孔의 機能을 降下시켜 可能的 限, 植物體는 水分脫取現象을 抑制하려고 한다. 더욱 甚한 不足이 招來되면 根에서 吸水된 물은 于先, 下部位의 枝, 葉이 먼저利

用하므로 先端葉부터 變色 落葉 시킨다. 이런 때는 旱害防止로 除葉도 한 方法이다. 灌水는 土壤속의 水分量이 充分하도록 m² 當 10 ℓ 可量 灌注하여야 하는데, 이 量은 10 mm의 降雨에 該當된다. 卽後 가뭄이 繼續되면 相當한 降雨까지 4~5日 간격으로 早朝와 저녁에 灌水하도록 한다 土壤含水量은 同化와 呼吸作用이 最大에 達할수 있을 때의 量이 理想이 여서, 소나무類는 60% 삼나무에서는 80%의 土壤含水量일때가 適合하다. 그러나, 過多水는 根의 呼吸을 害친다. 乾燥時의 葉灌水와 施肥는 水蒸散을 돕게 되나, 뿌리의 吸水力을 低下시키는 結果가 되므로 禁하여야 한다. 한便, 光合成立場에서 乾害를 防止하기 爲한 해가림은 樹種에 따라서 同化飽和光量에 差異가 있지만 一般 潤葉樹에서는 3萬 lux 程度에서 光飽和點이 생기므로 그들은 遮光率이 30% 以下가 되게 끔 하여 주는것이 効力이 있을것이다.