Korean J. Environ. Agric.
Vol. 3, No. 1, June 1984

◆ 總 說 ◆

環境과 生物

李 鍾 薰*

(1984년 5월 1일 접수)

Environment and Living Organisms

Jong-Hoon Lee*

1. 緖 論

農學이란 農業을 발전 시키기 위한 學問이다. 농업은 生態系에 있어서 energy의 흐름과 물질의 循環과를 인위적으로 조절해서 인류의 생존을 위한 energy와 생활향상을 위한 물자를 풍부하게 공급하여 모든 人間環境을 아름답고 깨끗하게 지키는 것이라고 定義한다면, 農學의 役割은 生態系의 짜임새를 조화있게 만들고 그 짜임새를 훌륭하게 농업에 이용하는 방법을 명백히 하여가는 일이라고 하겠다.

한편 농업이란 生物을 대상으로 행해지는 生産業으로서, 농업의 대상이 되는 生物, 즉 농업생물을 作物(栽培植物) 및 家畜·家禽이라고 한다.

인류는 자연계에 있어서의 먹이 連鎖중 다른 생물인 식물과 동물을 먹지 않고서는 생존이 불가능하다. 인간은 그들의 生存을 위한 energy源인 식량과 생활에 필요한 물질인 생활물자를 얻기 위하여 자연의 생물중에서 生産力이 높은, 栽培나 飼育에 적합한 식물과 동물을 골라, 이것을 作物과 家畜으로 育成하여 왔다. 작물이나 가축이 기르기 쉬우면서 풍부한 생산물을 거둘 수 있는 환경조건을 주어, 이를 수확 가공해서 인간의 食糧과 生活物資를 얻어 내는 것이 농업이다. 이를 生態學的인 해석을 한다면 농업은 인간이 그 생명유지 및 생활향상을 위하여 生物圈에 있어서의 energy의 흐름이나, 生物과 環境과의 사이를 循環하는 化學的元素의 大小의 經路인 生物地化學的循環系(biogeochemical cycle)의 과정에 관여하여 식량과 기타의 생활물자를 생산하는 營·業·行爲인 것이다[6].

이와같은 목적에서 이루어지는 자연의 生態系에 대한 인간의 관여가 과학의 법칙에 기초하여 이루어질때 이것이 農業技術이라 할 것이다.

농업은 자연을 상대로 행하는 산업이다. 그런데 20세기 후반이 되어 지구상에는 그 수용능력을 감당하지 못할 만큼 인구는 격증하고 있으며, 물질문명의 발전에 따르는 인간의 한정없는 욕망의 증대는 工業化, 都市化를 세계적으로 촉진하고 있다. 최근 우리나라에서도 高度經濟成長 政策下에서 공업화와 도시화가 급속히 진행함에 따라 環境汚染과 自然破壞가 뚜렷하게 증가하고 있다. 서두에서도 말한 바와 같이 농업이란, 본래 自然의 生態系에서의 energy의 흐름과 物質의 循環을 인위적으로 조절하여 生物의 生産力을 높이고자 하는 것인데, 그것이 環境汚染이나 自然破壞에 의해 生態系의 energy의 흐름과 物質의 循環이 방해된다는 것은 뚜렷한 생산의 저해가 되는 것이다. 그러기 때문에 옛부터 농업은 食糧生産 뿐 아니라 그 生態系의 energy의 흐름과 物質의 循環에 의해 環境을 保全하기 위한 각가지의 역할을 지니고 있는 것이다.

環境을 保全하는 일은 국민의 생명을 지키며 인간성의 회복을 꾀하는 일임과 동시에, 농업의 기반을 지키며 농업의 생산력을 유지하는 것이다. 또한 농업의 발전 없는 환경보전은 성립될 수 없다. 그것은 농업발전의 구상을 망각한 성과는 놀라운 環境汚染과 自然破壞를 불러 일으키기 때문인 것이다.

현재 우리 나라와 같이 공업의 급속한 발달과 도시의 과밀화로 환경의 오염과 자연의 파괴가 급속도로 진행되고 있는데에서는 농업이 가지는 環境保全的 役割은 무엇보다도 중요하다. 따라서 본론에서는 保全발

* 韓國放送通信大學 (*Korea Tele-communication College, Seoul*)

아야 될 環境은 무엇이며, 그 環境은 生物과 어떤 關連性을 가지고 있는가를 제시함으로서 環境農學의 범주를 이해하는데 보탬하고자 한다.

Ⅱ. 環境과 生物

環境없이 生命은 存在할 수 없는 바와 같이 생물은 지구상의 환경, 즉 환경을 구성하는 물질과 환경조건에 의해서 생겨나고 길러진다는 것은 너무나 명백하다. 따라서 생물의 생명현상은 그것을 둘러싸고 있고 환경조건에 지배됨으로, 조건이 좋으면 생물(작물)은 정상적인 건전생육을 하여 결과로서 높은 수량이 생산될 것이다.

지구상의 주요한 環境要因에는 氣象, 土壤, 生物등의 자연적 환경요인과 인문적 환경요인(예를 들면 도시환경)이 있는데, 여기서는 주요한 자연적 환경요인을 중심으로 생물의 생명현상과의 관계를 고찰해 보고자 한다.

1. 氣象環境

기상환경은 다른 환경요인 보다 인위적으로 제어하기가 어렵고, 현재 대부분의 작물은 자연환경하에서 재배되고 있다. 온실·유리실·비닐하우스등은 인위적으로 기상조건을 제어하기 위한 목적으로 이용되고 있으나 그 규모는 작고 집약적인 관리가 필요하며, 또한 작물자신도 식물체에 의한 피복에 의해 토양온도를 저하하는 등의 영향을 줌으로 실제 인위적 제어는 일부분에 지나지 않는다.

1) 太陽光

작물재배에 있어서 光은 기상조건중에서 가장 중요한 인자의 하나로, 그 근원은 太陽이다.

太陽光은 生命現象의 energy源으로서, 지구상에 있는 생물권속에서의 energy轉流의 첫단계인 식물의 光合成作用에 관여하여 제 1 차의 有機物質 生産의 原動力이 된다.

녹색식물의 光合成作用에 의해 太陽光의 物理的 energy가 化學的 energy로 변하여, 무기물(CO_2)에서 유기물(탄수화물)이 된 탄소(C)가 만들어 진다. 이 유기물로 된 C는 생물간의 먹이 連鎖를 통해서 각각의 생물의 생명을 유지하는 energy源이 된다.

인간은 생명유지를 위해 인간보다 低次의 營養段階의 식물 또는 동물을 식량으로 이용하는데, 이는 곧 그 생존을 위하여 光合成生産物質에 함유된 太陽 energy를 이용하는 것이다. 그 밖에 직접, 간접으로 光合成産物을 衣類·연료·건축용 목재 등의 생활물자로서 이용한다. 더구나 인간 생활에 사용되는 막대한 energy源의 대부분은 石油·石炭·天然까스 등의 化石燃料에 의존하고 있는데, 이들 化石燃料도 먼 옛날 식물의 光合成에 의해 생산된 것으로 地下에 埋沒 貯藏된 太陽 energy인 것이며, 水力發電도 太陽熱에 의해 증발된 물의 energy를 이용한 것이라고 생각한다면, 현재 인간의 생존과 생활에 사용되는 energy源의 대부분은 太陽光이라고 하겠다. 이와 같이 일체의 生物의 生存의 基本인 生命活動의 根源은 太陽 energy이기 때문에 太陽光과 生命과의 관계는 지극히 직접적인 것이다.

(1) 太陽 energy의 光合成 利用

太陽 energy의 光合成에의 利用은 생물 생존의 출발점으로 光의 光合成에의 利用率, 즉 光合成의 能率에 의해 지구상의 생물의 생존가능 허용량과 나아가서는 인구증가의 허용량이 결정될 수 있다고 본다.

녹색식물의 광합성에 있어서 太陽光의 物理的 energy가 化學的 energy로 바뀌는 光 energy의 利用効率에 대하여는 많은 의론이 있으나[5,9,11,12], 믿을만한 실험에 의하면 흡수된 光 energy의 50%정도가 最終生産物(糖 및 炭素)의 化學的 energy로 얻어진다고 한다. 바꾸어 말하면 광합성 생산물중의 化學的 energy의 2배 이상의 光 energy에 의해 광합성이 진행되며, 光 energy의 50%이상이 주로 열로서 소실된다. 이것은 실험적인 조건하에서 측정한 것으로, 자연상태에서 생육하는 식물은 식물체에 照射된 全 energy 중 1%정도가 동화물질중의 化學的 energy로서 축적되는데 지나지 않는다. 즉 자연 조건의 식물에서는 照射된 energy의 대부분이 잎에 의해 흡수되지 못한채 그치거나 흡수되어도 여러가지 環境條件, 예를 들면 光의 세기, CO_2濃度, 溫度 등이 광합성의 制限因子로 작용되어 생리적으로 무효가 되기 때문이다. 따라서 지구상에 내려 쬐이는 太陽 energy의 양은 자연환경조건에 의해 결정되게 됨으로, 한정된 지표면에서 보다 많은 食糧을 생산해서 보다 많은 인구를 수용할 수 있도록 작물의 光合成能力을 촉진하여 光合成 生産量을 높이는 栽培環境造成에 깊은 관심을 기울여야 할 것이다.

① 光의 세기(强度) : 작물의 생육에 미치는 光의 영향은 光의 세기(light intensity)·光의 지속시간(light duration)·光의 성질(light quality) 등이다. 光의 세기에 관계하는 요인으로는 緯度·標高·季節·大氣의 淸濁·水蒸氣量·오존層의 두께·光의 入射角·식물의 相互遮光등이 관여한다[1,2].

식물은 생육에 알맞는 溫度와 CO_2濃度條件(0.03%, 300 ppm) 하에서는 光合成速度는 대개의 경우 光의 세기에 의해 규제된다. 광합성은 光이 약했을 경우에는

光의 세기에 비례하여 光合成速度가 증가하여, 그 결과 생장량이 커지게 된다. 한편 光의 세기가 강해지면 光合成速度의 증가는 완만해져서, 어느 세기를 넘게 되면 光合成의 증가가 일어나지 않는 光飽和點(light saturation point)에 달하게 된다. 이같은 光飽和點은 열대원산인 사탕수수·옥수수·수수와 같은 C_4植物이 온대원산인 벼·보리·담배등 C_3植物보다 높으며[10], 포장의 생육상태에서는 생육시기별 작물 個體群의 繁茂度와 受光態勢에 따라서도 다르며[13], 수도의 경우 50 Klux의 光度下에서 온도와의 관계를 보면 18.5～33.5°C 사이에서는 光合成量에 거의 차가 없으나, 弱光下에서는 온도에 의한 영향이 크고 高溫下에서 光合成量이 크다[16](그림 1).

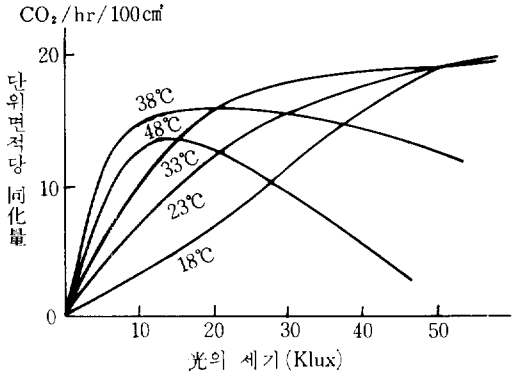

Fig. 1. 同化量에 미치는 光과 溫度와의 관계(Yamada *et al*, 1955)

또한 光合成은 光의 세기 뿐 아니라 光의 質, 즉 波長에 따라서 영향을 갖는데 紫外線(0.2～0.4 μ)은 90～99%가 잎에 흡수되나 생리적인 의의는 극히 적으며 光合成에 유효한 波長은 可視域(0.4～0.76 μ)의 범위에 있으나 波長에 의한 光合成速度의 차이는 光飽和點 이하의 비교적 낮은 光의 세기에서만 인정된다. 고등식물의 光合成 spectrum에는 적색부와 청색부에 둘의 peak를 갖는 예와, 적색부에만 peak를 갖는 예가 있어 그것보다 단파장측에서는 파장이 짧을수록 光合成速度는 낮아진다는 예도 보고되고 있다.

② 식물군락의 energy吸收率과 利用效率 : 식물에 投射된 太陽 energy의 일부는 群落表面部로부터 反射되는데, 그 비율은 入射光의 17～21%에 달하며 생육시기에 따라 달라짐은 말할 나위도 없다.

群落의 energy吸收率은 생육이 진전됨에 따라 증가하여 벼의 경우 출수기경에는 최대의 70%에 달한다. 한편 透過率은 吸收率과는 逆의 관계에 있어 경엽이 번무한 때에는 入射光의 20%이하의 光이 群落속을 통과한다고 한다[8].

식물군락상에 투사된 太陽 energy 및 군락에 흡수된 光 energy 중 光合成에 의해 고정되는 energy 비율은 각각의 energy利用效率(식물군락에 투사된 태양 energy 전부에 대해서, 광합성에 의해 고정된 energy비율) 및 energy轉換效率(투사한 전 energy 중 반사나 투과에 의해 잃은 energy를 제하고 식물체중에 흡수된 energy에 대하여, 광합성으로 고정된 energy의 비율)로 표시한다.

$$E_u=\frac{K\cdot\Delta W}{\sum S},\qquad E\phi=\frac{K\cdot\Delta W}{\sum\alpha\cdot S}$$

(Energy利用效率) (Energy轉換效率)

K는 건물 1 g당 연소열(수도 약 3,760 cal/g), ΔW는 건물증가량(g/m²), α는 energy흡수율, S는 일사량(cal/m²·day)임.

주요작물의 전생육기간에 있어서 전건물생산량을 대상으로 한 energy利用效率은 콩 0.81, 사탕무우 1.18, 벼 1.26, 옥수수 1.36임을 JIBP(1970)는 보고하고 있으며, 곡류 수량으로는 높은 기술 수준의 생산지에서 불과 0.1%의 energy利用效率을 보이고 있어, 결국 太陽 energy의 불과 0.1%만이 人間의 食糧으로 이용되고 있다는 것이다.

그런데 작물을 식량으로 하여 사는 畜産의 경우의 energy利用效率은 훨씬 낮아서 우유는 0.04%, 돼지고기는 0.015%, 계란 0.002%에 지나지 않는데, 이는 작물생산물의 칼로리가 사료로서 가축의 생존을 위해 소비됨으로 당연히 저하할 수 밖에 없다. 일반으로 營養段階가 1段階 진행됨에 따라서 energy利用效率은 거의 1/10로 저하 한다고 알려져 있다.

③ 種, 品種에 따른 光合成能率 : 단위면적당의 光合成能率(식물잎의 단위면적당 단위시간에 어느 정도의 CO_2의 고정을 하였는가로서 소비한 CO_2양으로 표시되며, 광합성속도와 같은 의미로 사용됨)은 種間에는 현저한 차이가 인정되나 品種間의 차이는 작다. 그러나 개체나 집단에서는 光合成能率에도 品種間 차이가 큰데 이것은 環境條件이 다르다는 이외에 葉面積의 크기나 葉의 配列등의 受光態勢의 차이가 있기 때문이다. 즉 受光態勢를 변화시킴에 따라서 品種의 光合成能率을 높일 수 있다.

陰生植物은 陽生植物에 비해서 강광하의 光合成速度는 작으나 극약광하에서는 커서 光補償點이 낮다. 또한 C_4植物은 C_3植物보다 강광조건하에서의 光合成能率이 높고 光合成의 적온도 높다.

④ 光合成과 環境 : 光合成速度는 식물이 생육하고 있는 環境條件에 크게 영향을 받는다. 온도는 작물이 생육하는 적온 부근에서는 영향하지 않으나, 극단의 저온이나 고온에서는 Fig. 1에서와 같이 저하한다.

CO_2는 일반으로 대기중의 함량(0.03%)이 적기 때문

에 光合成의 制限的要素로 작용하나, CO_2농도가 증가함에 따라 光合成은 촉진하며 强光下에서는 0.08~0.246%농도에서 CO_2飽和點에 달하며, 0.4~0.7%가 넘게 되면 저하한다고 보고되고 있다 (Fig. 2).

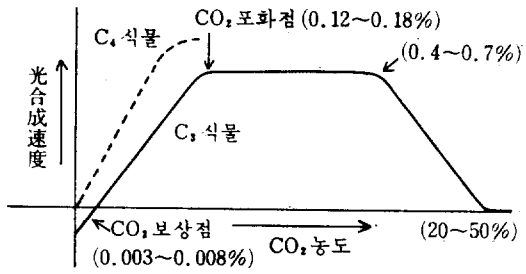

Fig. 2. CO_2농도와 光合成速度와의 관계(Kumura, 1973)

大氣汚染중 mist, fume의 증가는 光의 세기와 파장에 영향하여 光合成을 저하시킨다. 光化學 smoke·기타 유독물질은 氣孔으로 부터 흡수되어 세포에 장애를 주어 光合成機能을 잃게한다. 病原菌의 침입은 엽록소 등을 분해하여 光合成을 현저히 약하게 한다. 기타 잎의 수분함량, 질소의 함량등도 光合成速度에 영향한다.

(2) 생명현상을 지배하는 光 rhythm

지구상의 생물은 지구의 자전에 의한 24時間 周期의 光 rhythm속에서 생존하기 때문에 그 생명 현상은 그 rhythm에 지배되는 일이 많다.

다시 말해서 식물의 세포분열, 발아, 휴면, 화아의 유도, 잎의 광합성·호흡, 물질의 전류, 성숙 등의 행동은 光의 rhythm에 영향하는 일이 크다. 화아의 분화에 관해서는 光週律(photoperiodism)이 있어서, 단일식물, 장일식물등은 그들의 지리적 분포나 계절적 분포가 光週律에 지배되고 있다.

동물의 생육도 光週律에 지배되는 일이 많아서, 온대에 사는 새의 털갈이(換羽), 기름끼의 침적, 철찾아 옮기기, 번식등이 日長時間에 지배되며, 곤충의 휴면변태, 가축의 발정등도 光週律을 가지고 있음이 알려져 있다.

2) 溫 度

지구상의 모든 생물은 생활 energy를 태양으로 부터 받는데, 태양 energy의 일부가 녹색식물에 흡수 이용되고 대부분은 대기중으로 잃게 된다. 北半球에서의 년평균으로 본 태양 energy의 再配分은 47%에 해당하는 0.228 cal/cm²·min가 지표면에 도달하고 34%가 우주에 반사되며 19%는 공기중에 흡수된다고 한다[2].

온도는 위도나 표고에 의해 변화함과 동시에 계절적 추이에 따라서도 변동하는데, 이와 같은 온도의 변화는 작물의 분포와 생육을 지배한다. 우리나라는 남북으로 길고 동서로 표고차가 커서 기온의 변동폭이 크며, 년간의 계절적인 변화도 분명한데, 이는 우리나라 농업에 큰 영향을 미친다.

(1) 생명현상을 지배하는 온도

생물의 생명현상은 복잡한 生化學反應의 連鎖임으로 온도의 영향을 크게 받게 된다. 세포분열과 신장·양분의 흡수·동화와 호흡등의 대사작용은 溫度의 函數로서 표현되나, 일정한 한계보다 낮은 온도 및 높은 온도에서는 대사작용이 현저히 떨어져 드디어는 죽게 된다.

① 생물의 적온 : 생명현상이 가장 순조롭게 이루어지는 適溫과 죽을 수 밖에 없는 最低·最高溫度는 생물의 종류 즉 種과 品種에 따라 다르다.

동물은 이동하거나 보온하는 기술이 있어 適溫을 유지할 수 있어서 지리적 분포에 의해 적온을 달리하는 일이 적다. 그러나 같은 人間이면서 熱帶에 사는 黑人, 溫帶에 사는 黃·白色人, 寒冷地에 사는 에스키모人등의 사이에는 적온 또는 온도에 대한 反應性이 다르다.

식물은 그 자체가 생존하는 환경의 온도의 영향을 받기 때문에 그 지리적 분포에 따르는 遺傳的 適應性에 의해 適溫을 달리하며, 또한 계절에 의해 그 생존양식을 달리한다. 예를 들면 온대의 식물로 適溫이 높은 種은 추운 겨울에는 種子나 地下莖등 低溫抵抗性이 강한 生育相으로 경과한다. 하작물과 동작물과는 適溫·最低溫度가 다름은 물론이고, 같은 작물이라도 생육단계, 組織, 器官에 따라서도 適溫이 다르다.

작물에 의해 생육에 적합한 온도의 범위가 다르다는 것은, 온도에 의해 작물의 地理的分布가 지배되며, 동일지역에 있어서는 栽培時期가 결정되게 된다.

벼는 湛水條件下에서 재배되기 때문에 기온·수온 및 지온에 영향을 받게 되는데, 營養生長期間은 주로 수온과 지온에 좌우되며 生殖生長期間에는 주로 기온에 지배된다. 그 이유는 각각의 시기에 있어서 生長點의 위치가 水中이냐 地中이냐 아니면 空氣中이냐에 따른 것으로, 生長點 周邊의 온도조건이 그 시점의 생육과 밀접한 관계를 가지기 때문이다[7].

작물이 생장해서 成熟하기 위해서는 시간적인 길이와는 관계가 없이, 一定한 熱單位(heat-unit)가 필요하다는 이론에서 Abbe(1905)는 積算溫度의 槪念을 제창했다. 表示法에는 時間에 日, 溫度에는 日平均氣溫을 사용하는 방법으로 단위는 degree days이다. 최초는 생육기간중의 평균기온의 合을 사용했으나, 그 뒤 작물이 생육 가능한 온도만을 합한것으로 이를 그 작물의 有效溫度라고 하며, 작물이 생육하는 최저온도를 基準溫度라고 하는데 冷涼作物(cool season crops)은 5°C, 溫暖作物(warm season crops)은 10°C, 熱帶作物(tro-

pical crops) 15°C로 하고, 이들 有効溫度를 그 작물의 생육기간중의 것을 적산한 것이 積算溫度이다.

積算溫度는 異品種間의 생육기간의 길이를 알아 수확기를 예측하여 늦고 빠름이 없이 파종하여 수확까지의 일련의 작업기술을 정하는 指標가 되는 것이다.

② 작물의 생육과 變溫 : 작물의 환경조건으로서의 온도는 일정하지 않고, 계절적변화와 日變化가 있다. 이 같은 온도의 주기적 변화에 따라서 작물의 생육도 변화한다.

Went(1944)[15]는 토마토의 생장과 온도와의 관계시험에서 식물의 생장은 恒溫下에 두는 것 보다도 적당한 變溫下에 두는 편이 양호함을 구명하고 이 사실을 溫度周期効果(thermoperiodicity)라고 했으며, 反田(1949)은 기온의 日較差가 큰 지역에서 재배한 벼는 그렇치 않은 벼보다 玄米의 무게가 무겁고 겨층도 얇다는 것을 인정 했으며, Sato(1969)는 오처드그래스를 9~28°C 범위내에서 기온과 지온을 여러가지로 조합한 조건에서 생육시킨 바, 恒溫에서 보다 기온과 지온의 차가 큰 것이 초장·분얼·수주간 엽수 및 건물중이 좋았다고 보고하고 있다.

많은 작물은 冷夜溫에 의해 생육이 촉진되지만, 밀·보리·완두등은 반대로 夜高溫에서 생장이 촉진되기도 한다.

越年生作物은 늦가을이 되어 최저기온 5°C 이하가 되면 低溫에 대한 抵抗性이 생기는데, 이것을 얻는 과정을 hardening이라 한다. Bonner and Galston(1952)는 알팔파와 양배추를 수일간 1일 24시간중 수시간만 0°C에 둠으로서 인위적인 hardening을 부여할 수 있음을 보고 하였다. Hardening의 과정은 작물의 생리작용이나 물질의 저장등에 변화가 일어나나 그 주된 것은 含水量의 감소, 세포액의 참투가 및 원형질의 투과성의 증대, 당류나 수용성단백질의 증가에 의한 것이다.

3) 물

물은 작물체의 원형질의 구성물질로서 生體重의 80~90%를 차지하고 있고 모든 生命現象은 물과 결합한 가운데 이루어지고 있어, 生體에서 물을 제거한다면 生命現象은 정지되고 죽음에 이르게 된다. 지구상의 생물은 물의 존재에 의해 발생하고 물의 존재에 의해 유지 되고 있는 것으로 물이 없는 곳에 生命은 존재할 수 없는 것이다.

전세계의 물의 공급량은 165,000 acre-feet로서 그 중 93%는 바다, 7%는 淡水量이라고 한다. 농업상 관계있는 물의 cycle은 降水 cycle로서 년평균 89×10^9 acre-feet의 비가 지구상에 내리고, 그중 4/5는 직접증발산수로서 대기로 되돌아가고 나머지 1/5이 흐르는 물이 된다. 농업상 실제로 이용되는 것은 그 지역의 강우량에 의해 결정된다고 하겠다.

(1) 식물생육에 있어서 물의 役割

식물체를 구성하고 있는 물질중에서 물이 차지하는 비율이 가장 커서, 건조한 종자와 같이 불과 10~15%의 함수량을 갖는 예도 있으나 활동하고 있는 식물의 生體에는 앞에서도 기술한 바 80%이상이 물인 것이다. 물은 식물체의 중요한 構成要素로서 溫度나 光등의 경우와는 달리, 그 외부의 수분보다 체내의 수분상태가 중요하다. 그러면서도 식물체 내의 수분상태는 외부에 있는 물, 특히 土壤中의 水分狀態에 강하게 영향을 받으므로 환경요인으로서의 물은 식물체의 內와 外의 물의 관계, 그리고 물과 식물의 생육과의 관계를 검토하지 않으면 안된다.

① 光合成의 원료 : 식물은 물과 CO_2를 원료로 하여 光을 energy源으로 糖을 합성하며 그것을 기본으로 하여 생명활동에 불가결한 유기화합물인 아미노酸이나 蛋白質등을 합성한다. 이 光合成이야말로 모든 생명활동의 근원이며, 물은 이때의 原料의 하나이다.

② 溶媒 : 식물체에는 물 이외에 많은 물질이 생명활동에 참여한다. 이때 다른 모든 물질은 물에 용해되어 식물체내로 들어가 물과 함께 체내를 이동하며, 식물체내에서의 모든 화학반응은 물에 녹은 상태에서 이루어진다.

물은 식물체에 들어가 체내를 흘러, 그 대부분은 잎을 통해 나가게 된다. 일반으로 체내를 흐르는 물의 양이 많을수록 식물의 生理活性은 높다. 예를 들면 다른 조건을 무시하고 蒸散速度와 光合成活性과의 관계를 보면, 蒸散作用이 왕성할때 光合成活性도 높아서 이들간의 관계는 一次函數的이다. 이 경우 물은 光合成의 원료뿐 아니라, 溶媒로서의 물의 역할도 생각하지 않으면 안된다.

③ 體制의 維持 : 식물의 세포질은 많은 물질을 녹여서 지니고 있어, 외부로부터 물을 흡수하고자 하는 힘인 滲透壓을 지닌다. 그 때문에 주위에 있는 세포벽을 압박하게 되는데 이를 膨壓이라 한다. 식물, 특히 싱싱하게 활동하고 있는 조직이나 기관은 이 膨壓에 의해 體制를 유지하고 있다. 물이 부족하면 滲透壓은 높아져도 膨壓이 작아져서 공기를 뺀 공과 같이 쭈굴쭈굴하게 시들어 體制維持를 하지 못한다.

④ 體溫의 調節 : 뜨거운 여름낮 직사 일광을 쬐는 돌과 나무는 손으로 만질 수 없을만큼 뜨겁다. 예를 들면 오이나 토마토의 어린묘를 이돌에 접촉시키면 그 부분은 데여서 죽고 만다. 그것은 식물체온이 돌이나 나무조각과 같이 고온으로는 되지 않기 때문이다. 이같은 뜨거운 여름 햇볕에서 식물의 체온조절에 물이 중요한 역할을 한다. 즉 잎에서 蒸散에 의해 물을 내보낼때,

동시에 잎에서 熱이 나가게 된다. 1 g의 물이 蒸氣로 되는데는 약 539 cal의 熱量이 필요하며, 蒸散에 의해 1 g의 물을 잃게 되면 잎에서 539 cal의 熱量이 뺏기어 葉溫이 低下하게 되는 것이다.

⑤ 생육과 재배 : 물은 식물의 1次生産過程에 영향할 뿐 아니라, 再生産過程에 영향하여 器官의 形成, 生長, 穀粒의 生産, 器官分配率 등에도 관계하며, 生育期間의 장단, 식물체의 형태, 수량등에 크게 영향한다.

또한 작물재배에 있어서 灌漑水의 조절이 중요한 의의를 갖는데, 관개수의 농업적 역할은 위에 기술한 물의 生理作用 이외에 양분의 공급, 잡초발생의 방지, 보온작용, 유해물질의 제거등 여러가지 효과도 있다.

(2) 水分環境의 生育限界

수분환경이 適正의 限界를 넘으면 식물은 旱害·溫害 및 水害를 입게 된다. 건조에 강한 식물은 cuticular 蒸發이 작고, 致死飽和가 크며 表面發育度가 작은 등의 형태적 생리적 구조를 갖는다.

致死飽和란 잎의 飽和時 含水量과, 잎이 생명을 잃을 때의 含水量과의 差이다. 表面發育度란 식물의 단위 중량당의 表面積을 둘로 나눈 것이다.

수종의 식물을 비교하면 致死飽和는 옥수수>해바라기>채송화의 순이며, cuticular蒸發은 채송화<옥수수, 表面發育度는 채송화<해바라기<뽕나무의 순이다. 옥수수는 건조저항성이 강하고 잎이 엷게 넓혀져 있어 생산력도 높으나 表面發育度가 커서 耐乾性에 한계가 있다.

空氣溫度가 높으면 밀이나 벼가 穗發芽가 생기며, 土壤溫度가 높으면 發芽障害가 생긴다. 식물체가 冠水되면 呼吸障害가 일어나 수일간 계속되면 고사하게 되는데, 이때에는 水質·水溫·流速등이 관계한다.

최근 크게 문제되고 있는 것이 水質汚染의 害인데, 有機物이 過多할 때에는 O_2不足으로 水中 微生物이 죽어버리는 이외에 식물의 뿌리가 호흡장해를 받아 생육이 저해되며, 重金屬 등에 의한 汚染이 길을 경우에는 대부분의 생물은 죽음을 면치 못하게 된다.

4) 大氣

(1) C의 循環과 CO_2

CO_2는 大氣중에는 0.03% 밖에 포함되어 있지 않으나 生物圈에 있어서의 炭素(C)循環의 저장부분으로서 극히 중요한 의의를 갖는 것이다.

① 지구상에서 炭素(C)의 循環

현재 대기중에 6×10^{11} t의 C가 CO_2의 형태로 존재하고, 바다물속에는 약 10^{11} t의 C가 CO_2 및 炭酸鹽의 형태로 존재하고 있다. 년간 光合成에 의해 고정되는 C의 량을 4×10^{11} t이라고 한다면 그 25배에 해당된다.

년간 陸上植物의 光合成에 의해 고정되는 양은 C로서 약 2.6×10^{10} t, 海水 및 淡水中의 녹색 플랑크톤등에 의한 고정량이 1.8×10^{10} t, 계 4.4×10^{10} t이다. CO_2량으로하여 1.6×10^{11} t이 소비되어서 생산되는 有機物이 년간 1.2×10^{11} t이 된다. 식물의 光合成에 의해 고정된 C는 식물체·동물체를 구성하고, 그들 존재의 energy源으로서 소비되어서, 호흡 및 식물체·동물체 腐敗·燃燒등에 의해 CO_2가 되어 공기중으로 환원된다[5](Fig. 3).

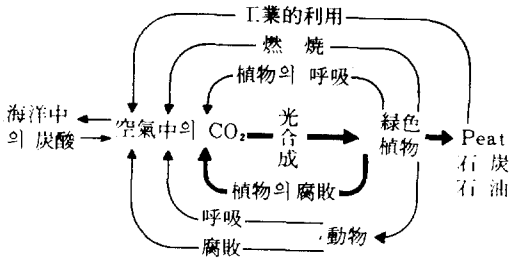

Fig. 3. 지구상의 C의 循環圖 (Loomis, 1949)[5]

② 대기중의 CO_2농도와 生命現象

光合成의 素材로서 끌어들이는 CO_2源으로서는 ①잎을 둘러싸고 있는 공기중의 CO_2 ⑪뿌리에서 흡수된 CO_2 ⑪잎조직의 호흡에 의해 생긴 CO_2등이다.

잎을 둘러싸고 있는 공기중의 CO_2농도가 현저히 낮은(CO_2≒0에서 보상점까지) 때에는, 역으로 잎속에서 밖으로 CO_2가 빠져 나오게 된다.

양호한 기상조건하에서는 무성한 작물군락은 1일당 150~300 kg의 CO_2를 흡수한다. 한편 공기중의 CO_2농도는 불과 300 ppm이기 때문에 단위면적당 작물군락이 흡수하는 CO_2량을 생각하면 부족하다. 이 부족분을 보충하기 위해 낮에는 군락을 향해 지면으로 부터 CO_2가 방출되며, 야간에는 식물의 호흡에 의해 CO_2는 공기중으로 방출된다.

작물의 光合成活動은 주기적으로 작용하여 경지의 CO_2농도는 크게 변화한다. 1일 중의 농도변화는 약 800 m의 높이까지 미치며, CO_2농도는 겨울에 높아 약 350 ppm이 되고 여름에는 낮아서 약 310 ppm이 된다. 낮에는 작물군락에 가까울수록 농도가 낮고, 밤에는 군락내일수록 높다. 지면 가까운 공기중의 CO_2농도는 밤이나 아침에는 400 ppm이상이 되나 태양이 나와 光合成이 시작되면 급속히 저하하여 대낮에는 250 ppm이하가 된다. 이 때문에 光合成의 晝寢現象이 생기게 된다.

(2) 기타 대기의 성분과 生命現象

① 산소(O_2) : 대기중의 O_2의 공급원은 식물의 光合成作用이다. 光合成作用과 呼吸作用이 균형을 유지하는 한 대기중의 CO_2와 O_2는 balance가 유지된다. 대기

중의 O_2농도는 높아서 일시적으로 O_2가 부족해도 다른 대기중에서 유동 보급되어 급속한 생명현상에는 영향이 없겠으나, 급격한 공업화로 대기중의 CO_2농도가 현저하게 높아지게 되면 그에 따라서 O_2농도가 부족되어 생물, 특히 동물의 생명에 이상을 일으키게 된다.

흙이나 물속에는 O_2농도가 낮은데, 공기로부터 보급이 이루어지지 않아서 O_2부족이 생명현상에 현저한 영향을 주는 경우가 때때로 있다. 호수나 하천의 물이 오염에 의해 각종 무기물이 증가하여 풍부한 영양화가 되면 플랑크톤의 발생이 극도로 증대함과 동시에 물속에 O_2농도가 저하하여 고기류가 죽게 된다.

② 질소(N_2) : 공기중 N는 박테리아에 의한 고정, 공중방전에 의한 고정, 비료 공업에 의한 고정등에 의해 고정되는 한편, 미생물에 의한 유기물분해, 탈질 현상 등에 의해 토양에서 공중으로 방출된다. 비는 공기중의 窒酸·암모니움등을 녹여, 년간 약 10 kg/ha의 N를 토양에 공급한다.

③ 바람의 역할 : 바람은 대기중의 운동이나, 물의 증발, 구름의 형성·이동 등을 통해서 기후를 지배 함과 동시에 직접적인 생물의 환경 요인으로서 각종 작용을 갖는다.

풍속은 공기중의 CO_2의 확산을 통해 식물의 光合成速度에 크게 영향한다. 강한 바람은 식물에 건조해를 주며, 태풍은 물리적 장해를 준다.

옥수수밭(Lemon, 1963)에 풍속 200 cm/sec일때의 光合成에 있어서 enengy利用効率은 4%였으나, 120 cm/sec일때는 2%였다고 한다.

새·곤충·알·꽃가루·미생물등의 생물체는 공기중에 날아 움직이므로 바람의 영향을 받게 된다. 우리나라에 飛來하는 멸구류는 바람에 의해 西南方으로부터 운반되므로, 국내 발생이나 그 피해는 바람에 의해 좌우되는 것이다.

④ 大氣汚染物質 : 최근의 大氣環境은 공장배출물 자동차의 배기까스, 도시폐물 및 먼지에 의해 심하게 汚染되어가고 있다. 대기중의 이들 mist나 fume의 증가는 지구의 기상을 변화시킬 위험성을 내포하고 있다.

2. 土壤環境

토양은 陸地의 表層을 만들고 있는 팽연한 물질로 주로 암석의 풍화물로 되고, 거기에 동식물의 遺體의 分解産物인 유기물과, 거기서 생활하고 있는 무수한 미생물이 포함되어 있다. 또한 토양은 식물이 생육하는 장소로서 양수분을 주게 된다. 비나 기온등 기상조건이 달라지면 식물의 종류나 생육이 변해지는 것과 같이 그 생활의 기반이 되는 토양도 변하게 된다.

작물은 경지의 토양에 재배됨으로 양호한 토양에서는 생산성도 높다. 그러나 작물의 재배는 반드시 토양이 필수의 것은 아니다. 근년 채소재배에 실용화되고 있는 液耕, 砂耕, 礫耕에서는 토양이 필요없다. 벼의 기계이앙용 상자육묘에서도 각종의 인공배토에 합성재료가 일본에서 사용되고 있는 것으로도 이해가 된다. 그러나 아직도 경제성을 생각한다면 작물재배는 금후에도 토경에 의존할 수 밖에 없다고 생각된다.

(1) 작물생육과 토양수분

물은 작물생육에 불가결의 것이다. 이 물은 거의가 토양에 의해 공급되며 작물의 뿌리에서 흡수이용된다.

토양수분은 작물이 생리적으로 필요로 하는 물을 공급할뿐 아니라, 작물의 뿌리나 토양미생물의 활동과 관계가 있으며, 토양중의 양분의 변화와 유효성에 중요한 역할을 가지며 토양의 물리성과도 깊은 관련을 가진다.

토양수분은 강우나 관수에 의한 공급과 지면으로 부터의 증발작용에 의한 소실 및 하층으로의 참투 등의 소비에 의해 항상 증감하며 이동한다. 토양수분은 토양입자와의 결합력의 대·소에 의해 작물에 흡수상 난이가 있으며, 작물은 그 종류나 생육시기에 따라 수분의 요구도가 다르다.

(2) 작물생육과 토양공기

토양공기는 대기에 유래하는 것으로 대기와의 사이에 擴散에 의한 까스 교환이 이루어지고 있다. 토양입자간의 공극은 공기 또는 물에 의해 채워지는 것으로 氣相의 용적은 液相의 그것과 逆比例하여 증감한다.

토양공기는 대기와 같이 질소와 산소가 대부분을 점하나 CO_2는 대기에 비해서 10~100배 이상의 농도로서 O_2가 현저히 낮고 수증기로 포화되어 있다. 이같은 차는 작물의 뿌리와 토양미생물의 활동에 의한 것으로, 이들 활동이 왕성하게 이루어질 수 있는 조건하에서는 CO_2가 증가한다. 따라서 토양공기의 조성은 土性·氣溫·雨量·土壤水分·作物의 종류와 생육시기·유기물의 시용·경운 등 많은 조건에 의해 변동한다. 또한 토양공기의 조성은 토양의 토층깊이, 공극의 크기에 의해서도 다르다.

토양공기의 유통이 극단으로 저해될 경우에는 CO_2 이외에 硫化水素, 메탄까스등이 발생된다. 벼는 湛水狀態에서 재배되나 벼뿌리로의 O_2의 공급은 토양수에 용해된 O_2와 稻體內에 발달된 通氣系에 의해 地上部 잎의 氣孔으로 부터 뿌리로 공급되고 있다. 토양공기중 CO_2가 증가하고 O_2가 결핍되면 토양미생물의 종류가 변하여 嫌氣性의 것이 증가하여 化學的으로는 還元的反應이 支配的이 된다. 이 같은 상태는 작물에게 있어 바람직한 것이 못되어 물과 무기염류의 흡수가 현저히 저해된다.

작물의 뿌리 생장에는 O_2가 필요하나 그 要求度는 작물의 종류에 따라 다르다. 濕水狀態에 적응하는 水稻도 O_2가 극히 결핍하면 根腐現象이 일어나 생육장해를 입게되지만, 밭작물의 뿌리는 水稻보다 O_2 要求度가 높아서 토양이 습하게 되면 크게 감수하고 있음은 잘 경험하는 사실이다. 보리의 濕害를 피할 수 있는 토양공극량은 30~35%이며 30%이하에서 수량의 감수가 오며 10%이하가 되면 현저히 감수한다.

3. 生物環境

작물재배에 있어서 생물환경으로서는 雜草, 病害, 虫害, 土壤生物이 있으며, 이들과 작물과의 共生·競爭 등 生物相互間의 환경적 접촉은 生命現象에 깊은 관련성을 가지고 작물의 수량 품질에 크게 영향한다.

(1) 雜　草

농업은 잡초와의 싸움이라고 말하고 있으며, 온난다습한 우리나라에서는 특히 잡초의 번무가 왕성하여 작물재배에서 잡초방제대책이 점하는 비율이 대단히 크다. 그러나 지금까지는 우리나라의 농업은 多勞를 당연한 것으로 생각하여 除草는 인력이나 제초기를 사용하여 왔으나 최근 급격한 공업화와 경제성장으로 노동력의 격감과 함께 제초제의 개발보급으로 큰 성과를 올리고 있다.

잡초가 작물에 미치는 장해는 ⓘ 양분·수분·光·온도·산소에 대한 작물과의 경합에 의한 감수 ⓘⓘ 농작업의 노임. 관리비의 증가 ⓘⓘⓘ 생산물의 불순과 품질저하 ⓘⓥ 병충해의 서식증가 등이다.

이들 잡초에 의한 손실을 정확히 평가하기는 어려우나, 미맥의 경우 무제초에 의한 감수는 30~40%로서 그 피해는 막대하다.

(2) 病　害

병해란 많은 경우 질병에 의해 작물이 받는 피해를 의미하는 것으로, 병은 작물이 病原에 대하여 나타내는 반응으로 symptom에 중점을 둔 경우 사용되는 말이다.

병해가 발생하는 것은 작물측에는 질병에 침입하기 쉬운 성질이 있고, 병원측에도 발생의 요인이 갖추어졌을 때 양자가 조우되어 성립한다.

발병은 환경조건과 깊은 관계가 있으며, 환경조건은 공기전염성 질병, 토양전염성 질병의 어느쪽에도 영향한다. 공기전염성의 질병은 병원균이 작물에 침입하는 데는 胞子가 작물체 표면에서 발아하는 것을 전제조건으로 한다. 즉 水滴의 존재와 適溫이 필수조건이다. 도열병균의 分生胞子의 발아적온은 25~30°C이며, 35°C에서는 도열병균이 벼잎에 침입한다는 것은 거의 불가능하다. 또한 空中濕度는 100%가 최적으로, 91%이하가 되면 발아는 현저히 억제된다고 한다.

벼는 동일 환경에서 생육해도 출수후 1주간 저온 하에 두면 도열병에 극히 쉽게 침입당하게 된다. 冷害年에 목도열병의 피해가 큰 것은 이때문이다.

일조부족은 光合成作用을 억제함으로 탄수화물 함량을 저하하고 반대로 가용성 질소화합물의 함량을 증대하여 발병을 유발하는 원인이 되기도 한다.

토양수분도 작물생육에 큰 영향을 미치며 아울러 발병과도 깊은 관계가 있다. 도열병과 토양수분의 관계는 토양수분이 충분하면 잎조직의 珪質化가 양호하게 되어 발병이 적으나, 早期落水는 도열병을 유발함으로 발병의 우려가 있을 때에는 10~15일 낙수를 연기함으로서 도열병의 발생을 크게 감소시킬 수 있다.

(3) 虫害

지구상에 서식하는 昆虫은 약 100만종으로, 이들 곤충중에는 인간에게 유익한 益虫과 직접·간접으로 해를 주는 害虫과 전혀 무관계의 곤충도 있다.

해충의 加害樣式은 直接害와 間接害가 있으며, 전자는 작물의 食害, 汁液吸收, 虫瘿形成과 같은 직접적인 해를 주는 것이며, 후자는 병을 옮기거나 食害에 의해 병원균의 침입구를 만드는 등의 간접적인 해를 주는것이다.

直接害에 의한 피해의 크기를 결정하는 요인은 해충의 개체수, 가해시기, 작물의 생육상태등이다. 해충이 대발생하면 피해가 크게 되며, 가해시기가 작물에 있어서 중요한 시기와 일치하면 수량에 크게 영향한다. 해충의 가해시기나 가해 정도가 같아도 작물이 건전하게 생육하면 충해로 부터 회복력을 가지며, 연약한 생육상태의 경우는 피해가 크게 된다. 해충에 의한 피해에는 품종에 따라서도 차가 있어 품종선택에 있어서는 저항성을 고려하는 일이 매우 중요하다.

해충의 번식, 발육, 활동은 환경조건과 밀접한 관계가 있다. 환경조건으로서는 기상, 가해식물의 질과 양, 天敵등이 주요요인이며, 토양중에서 서식하는 해충은 토양의 이화학성도 주요 인자가 된다.

기상은 환경조건중에서도 중요하며, 특히 온도는 해충에 직접 큰 영향을 미친다. 해충의 활동적온을 알게 되면 이를 해충방제에도 이용할 수 있다. 食草의 질과 양도 해충의 발육이나 번식과 밀접한 관계가 있다. 해충에는 食性이 한정된 것도 있으며 雜食性의 것도 있다. 벼에 있어서 병충해의 피해는 해에 따라서 다르나 대체로 14%전후의 감수로 추정하고 있다.

최근에는 병충해의 방제대책으로서 農藥이 대량 사용되어 크게 효과를 올리고 있다. 그러나 농약의 잔류독성이나 작물에 대한 藥害의 문제가 발생되는 등 農藥過用이 反省되고 있다. 금후의 병충해 방제에는 작

물의 저항성 강화, 품종의 組合栽培에 의한 피해회피, 작물을 건전하게 생육시키는 재배법을 통한 저항성의 부여등 폭넓은 재검토가 고려되지 않으면 안될 것이다.

Ⅲ. 結 論

장차 우리나라 農業의 方向은 세계적인 農業의 方向, 즉 地球生態系의 관리의 一環으로서 생각해야 할 것이다. 生態系의 調和가 있는 運行에서 보면 우리나라의 현재 직면하고 있는 農業은 反省해야할 많은 문제를 안고 있다.

경제의 高度成長 政策下에서 우리나라의 農業은 生產性이 낮기 때문에 自給政策을 버리고 外國으로부터 輸入에 의존하고, 農業속의 노력과 자원을 보다 생산성이 높은 공업부문에 투여하여 온 것이 사실이다. 그 결과 우리 국토에 내려쬐는 太陽 energy의 많은 부분이 농업생산에 이용되지 못하고 放散되고 있다. 太陽의 光과 물이 풍부한 우리국토는 인구밀도가 크다고 해도 필요한 食糧은 自給生產할 潛在的 生產能力을 가지고 있다.

농업의 생산성이 낮다고 하는 경제적 이유만으로 농업생산을 제한하는 일은 세계적 식량부족상황 및 장래로 보아서도 인류의 생존에 대한 큰 죄악이다.

현재 우리의 農業 生產技術은 농약 비료등 多投에 의해 生態系를 파괴하는 방향에 있다는 것은 명백하다. 生態系의 調和속에서 현재보다 가일층 크게 農業生產力을 높이는 방법은 무엇인지? 이것이 環境農學에 맡기어진 금후의 과제일 것이다.

경제발전에 봉사하기 위한 農業의 近代化는 농업을 쇠퇴시킬 뿐이다. 경증하는 세계인구에 대해서 飢餓로부터 탈피하고 平等하고 豊富한 營養을 공급하기 위해서는 農業의 飛躍的인 發展이 필요하다. 그러기 위해서는 지구상에 있어서 耕地의 擴大, 단위면적당 생산량의 증대가 요망되는데 이를 위한 科學技術은 資源을 多量 投入하여 環境汚染과 自然破壞를 촉진시키는 것이 되어서는 아니된다.

인간을 포함한 生態系의 調和있는 運行을 기반으로 하여, 太陽 energy와 大地의 生產力을 合理的으로 利用하는 農業으로 發展시키는 農學, 環境農學이 필요한 것이다. 地球生態系의 管理에는 人間性의 尊重을 기본으로 하지 않으면 않된다.

人間性[4]이란 개개의 人間의 生存과 幸福한 생활의 유지를 기본으로 하여, 人命의 尊重, 人間의 平等性, 文化的 慾求의 自由와 自主的 選擇 및 새로운 追求, 人間의 理性과 情念의 尊重, 自然과 다른 生物의 生命의 尊重 등을 내용으로 한다.

人間性을 잃은 지구환경관리가 이루어 질 때 그것은 무서운 결과를 초래하여 人間社會는 自滅을 면치 못할 것이다.

참 고 문 헌

1. 江源蕙 (1981)：栽培學大要, 養賢堂 pp. 89～100.
2. Gates, D. M. (1965)：*Energy Exchange in the Biosphere*, John Weathehill Inc., Tokyo.
3. JIBP/PP, Local productivity group (1972)：*Photosynthesis and Utilization of Solar Energy*, Level 1 Experiments Report V.
4. 桑原武夫 (1974)：人間性に ついて, 眞下, 大谷編「人間・科學・科學者」, 時事通信社, pp. 3～28.
5. Loomis, F. J. (1949)：*Photosynthesis in Plant*, Iowa.
6. 松尾孝嶺 (1982)：環境農學概論, 農山漁村文化協會
7. 松島省三, 田中孝幸 (1964)：水稻收量の 成立原理と その應用に 關する 作物學的研究, 日作紀, **33** (1), 53.
8. 村田吉男, 宮坂昭, 棟方研, 秋田重誠 (1968)：水稻個體群の エネルギー收支の 生育に 伴う 變化について, 日作紀, **37**(4), 685.
9. Murata, Y. (1975)： In *"Crop Productivity and Solar Utilization in Various Climates in Japan"*, Y. Murata(ed.), Univ. Tokyo Press, Tokyo, pp. 172～186.
10. 小田桂三郎, 田中市郎, 宇田川武俊, 棟方研 (1972)：耕地の 生態學, 築地書店.
11. Robinowitch, E. I. (1951)：*Photosynthesis and Related Process*, Vol. Ⅱ, part Ⅰ, New York.
12. 武田友四郎 (1969)： 松尾孝嶺編,「稻の形態と機能」, 農業技術協會.
13. 田中孝幸 (1972)：水稻の 光一同化曲線に 關する研究——特に 受光態勢 制御に 關する 研究, 農技研報告, A-19：1.
14. 戶苅義次 監修 (1971)：作物の 光合成と 物質生產, 養賢堂.
15. Went, F. W. (1944)：Plant growth under controlled conditions. (Ⅲ). *Amer. J. Bot.*, **31**, 135.
16. Yamada, N., Murata, Y., Osada, A. and Iyama, J. (1955)：Photosynthesis of rice plant(Ⅱ). *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*, **24**(2), 112.