

農業生態系の 構造와 機能的 特性

玄 在 善*

(1984년 7월 18일 접수)

The Structure and Function of Agroecosystems

Jae-Seon Hyun*

緒 論

農業은 生物을 對象으로 하는 産業이며 農學은 對象 生物의 生産을 높이기 위한 管理方法의 改善에 관한 學問이라고 할 수 있다. 따라서 農學은 作物이나 家畜과 같은 對象生物과 이들과 直接 間接으로 關係가 있는 無生物的 環境條件과 病 害虫, 雜草를 비롯한 여러가지 生物的 環境 要素를 研究의 對象으로 하고 있다.

어떤 生物의 遺傳的 特性은 그를 둘러싸고 있는 環境으로 부터 供給되는 energy와 物質의 制約을 받아 表現型으로 具體化한다. 即 어떤 生物의 增殖, 生存, 生長 기타의 生態學的 具顯은 環境條件의 質이나 量的 變化에 의하여 그 生物의 遺傳的 特性이 具體化된 것으로 生態學的으로는 遺傳型과 그와 關聯된 環境要因을 個體群의 共同決定因子라고도 한다. 이와 같이 生物과 環境은 密接한 關係를 갖고 있다.

生態系란 이와 같은 生物과 環境과의 相互作用相을 全體로 묶어 統一된 自然으로 把握하려는 概念이다.

生態系라는 말은 英國의 初代 生態學會長인 Arther Tansley가 1935년에 最初로 사용하였으며 生態學的 系(ecological system)의 준 말이다. Webster 辭典에 의하면 生態學이란 “生物群과 그의 環境要素간에 存在하는 相互關係의 總體(totality) 또는 組織相(pattern)에 관한 學問”이며 系란 “어떤 實體들의 集合體로 各構成實體는 一定한 相互作用相을 갖거나 相互間에는 機能的인 連關을 갖는 동시에 變化하는 實體”라고 定義하고 있다. 따라서 生態系란 生物을 中心으로한 自然

의 한 單位로 그 構成要素들은 一定한 機能的인 連關下에서 全體의 統一性을 維持하고 있다.

農生態系는 作物이나 家畜과 같은 生産을 目的으로 飼養 또는 管理하는 “馴化된 生物”을 中心으로 한 生態系로 農業生産의 “場”이다. 農生態系와 自然生態系는 基本的으로는 同一하다 하겠으나 構成要素의 質的 量的 差에 따라 機能的으로 큰 차이가 있다. 農生態系의 特性은 無機環境, 作物, 病 害虫, 雜草, 空間的 時間的 隔離度, 어떤 時點에 있어서의 特定生物(例, 病, 害虫)과 作物이나 家畜과의 同時 共存性 등에 의하여 결정되는 均質性이 크고 人爲的 要因이 크게 作用하고 있는 生態系이다.

本論述은 農生態系와 自然生態系의 構造와 機能上的 特性을 安定성과 관련하여 論하러 한다.

1. 農業發展의 生態學的 背景

人間은 活動이나 種族維持에 필요한 物質과 energy를 動植物에서 얻고 있으며 이를 目的으로 하는 生産活動이 農業이다. 人間은 最初 이와 같은 것을 自然상태에서 棲息하고 있는 野生的 動植物에서 收集하여 利用하였으나 定居生活을 하면서 주변 가까이에서 栽培하거나 飼育하게 되었다. 이것이 作物이나 家畜의 由來이다.

사람과 作物과의 관계는 飼養對象生物의 種類가 多樣하여 그와의 관계도 複雜하고 多樣한 것이며 時代에 따라서도 많은 變化가 있어 왔다. 그러나 終局的으로 그들 간의 關係는 作物이나 家畜은 人間에게 보다 많은 物質과 energy를 供給하고 人間은 그들이 最大의 生

*서울大學校 農科大學 (College of Agriculture, Seoul National University, Suwon)

産이 可能하도록 管理를 強化하는 일이었다고 할 수 있다. 이러한 뜻에서 人間과 作物과의 관계는 生態學的으로 相互扶助的 共生關係의 한 例라고 할 수 있으며 作物과 家畜은 人間의 管理(에너지 補助)를 必須的 要件으로 하고 있음을 뜻한다.

Cox와 Atkins(1979)는 農業 體制의 歷史的 發展過程을 논하면서 農業 發達の 過程에 있어서 그 方向과 速度는 環境과 密接한 관계가 있다는 事實을 濠洲, 美大陸, 그리고 中東地方의 環境과 農業에서 例를 들고 있다.

人間이 濠洲大陸에 移動한 것은 약 16,000년전의 일이며 美大陸에 人間이 移住한 것은 약 30,000년전의 일이나 主가 된 移動은 약 13,000년전으로 濠洲에 비하던 약 3,000년이 늦다. 그런데 濠洲大陸에서는 白人이 移住하기 전까지 農業이라고 할 수 없을 정도의 原始的 收集狀態로 남아 있었는데 반하여 美大陸에서는 Mexico 계곡의 Chinampa 農業과 같은 高度로 發達한 農業形態가 있었고 찬란한 Mexico 文化를 형성시켰다.

濠洲大陸에서 農業이 發達하지 못한 理由는 이 大陸이 地理的 條件이 단순할 뿐 아니라 地質學的 條件이나 氣候的 條件이 단순하여 大陸 전체가 거의 沙漠에 가까운 環境條件 때문이라고 한다. 이 地域은 環境條件이 단순하기 때문에 生物의 進化가 多樣하지 못하여 生物의 種류가 적었으므로 初期 農業 發展 단계에서 收集의 대상이 될 수 있었던 生物의 種류가 적었다. 또 原始的 農器具는 單單한 火成岩이나 鑽石 또는 高等動物의 뿔이나 뼈를 이용하였는데 우리가 잘 알고 있는 바와 같이 濠洲 原産의 高等動物은 강가우類(有袋類) 뿐으로 農器具의 材料가 될 수 있는 資源이 적어 그 후의 農業 發展에 어려움이 있었다. 그러나 美大陸의 Mexico 계곡은 명백한 雨期과 乾期가 있고 地形이 多樣하여 이와 같은 環境의 特性을 利用한 農業이 잘 發達하였다.

한편 가장 많은 種류의 作物이나 家畜의 起源地이며 가장 多樣한 農業形態發達の 發祥地인 中東은 전반적 氣候條件은 半乾 내지 乾燥하나 高原地帶과 溪谷이 混在하여 局部的으로 多樣한 氣候的 條件이나 土壤條件을 포함하고 있어 生態學的으로 複雜하다. 이와같은 環境條件의 多樣성은 生物의 進化 方向을 多樣化시켰고 種分化가 잘 되어 收集 對象生物이 많았고 이것들이 作物이나 家畜으로 馴化되었다. 또 일단 馴化된 生物은 多樣한 環境條件 때문에 넓은 變異幅을 가진 野生的 近緣生物들과 交雜을 통하여 變異可能性도 컸던 것으로 생각된다. 그뿐 아니라 이와 같은 環境條件의 地域的 變異는 馴化된 生物들의 生産性 增大를 위한 각 環境條件에의 適應을 위한 管理수단(農業技術)의 多樣한 發

展에도 寄與하였다.

이와 같은 環境과 農業 發展과의 관계는 原始的 農業에 있어서 뿐만 아니라 近代 農業에 있어서도 科學文明의 發達과 國家經濟의 背景과 아울러 重要한 意義를 갖고 있는 것이다.

과거 10여년간의 우리나라 農業發展이 비닐, 肥料, 農藥, 機械 運送 기타 다른 產業分野의 發展에 直接間接으로 힘입은 바 크다는 것은 早期栽培나 高冷地菜蔬, 施設園藝 기타를 생각하면 理解가 쉬울 것이다.

2. 作物이나 家畜 馴化의 生態學的 意義

農業의 一次的인 對象은 作物이나 家畜이다. 그런데 作物이나 家畜은 人間이 長久한 時間에 걸쳐 生産을 目標로 野生 生物을 馴化하여 目的에 맞도록 선발한 것들이다. 이들은 選抜 過程에서 元來의 野生種과는 形態的으로나 生理的으로 상당히 큰 변화가 생겼다. 農業生産의 增大는 作物自體의 先天的 生産力 增大와 管理條件의 改善을 통하여 成就되는 것이며 育種學은 前者를 目標로 하는 學問이다.

作物育種學에서 草型은 表現形質로 중요한 意義를 갖는다. 即 作物의 光合成量을 增大시키기 위하여 受光量을 높이고 單位面積當의 個體數를 증가시킬 수 있는 形質을 갖는다는 것은 光合成量 增加의 一次的 目標가 될 것이다. 이와 동시에 生理的으로는 光合成 總量과 呼吸에 의한 消費量과의 관계에서 純生産量의 增加를 도모해야 할 것이다.

Dablen(1962)은 Netherland에서의 小麥 품종의 時代的 變遷 過程에서의 總生産量(粗穀+莖葉)과 粗穀量과의 關係를 비교하였다. 1900~1932년간에 널리 普及되었던 Wilhelmina品種과 1932~1953년간의 栽培品種인 HeinesⅦ를 비교할 때 總生産量은 12,600 kg/ha과 11,860 kg/ha 이었고 粗穀生産量은 6,426 kg/ha과 7,828 kg/ha로 總生産量은 감소하였으나 人間이 目標로 하고 있는 穀物量은 약 1,400kg/ha나 증가하고 있음을 보았다. 우리나라 벼品種에 있어서도 동일한 傾向을 볼 수 있다. 即 1900년대初까지 栽培하였던 우리나라 在來種의 粗穀比는 80정도이고 振興을 위시한 1960년대 栽培品種의 그것은 120정도이고 統一品種이나 方石벼의 그것은 각각 154와 168 등으로 多收系品種에서 粗穀比가 높다. 이러한 事實은 光合成量중 보다 많은 部分이 穀粒으로 移行하고 있음을 뜻한다. 統一系品種의 一般的 特性이 短稈穗重型으로 표현되는데 이것은 短稈임으로 生體量이 적어 그를 維持하는데 필요한 에너지의 消費量이 적고 單位面積當의 個體數(株數)가 많아질 수 있기도 하다. 우리가 目標로 하는 것은 個體當의 收量이 아니고 面積當의 收量으로 單位面積當의 個體數 증

가는 곧 수확물인 穗數의 增加를 뜻하는 것으로 短稈이라는 形質은 耐倒伏性과 같은 生態的 意義와 아울러 收量 증대에 중요한 뜻이 있는 것이다.

이와 같은 事實은 家畜에 있어서도 동일한 傾向으로 給與된 飼料中の 보다 많은 部分을 肉類, 卵, 乳類 생산으로 移行하도록 하는 方向으로 品種이 選拔되어 왔다.

野生生物도 馴化生物과 같이 同化 에너지의 一部分을 自體維持에 이용하고 殘餘分은 生長과 貯藏에 이용한다. 그러나 野生生物에 있어서는 보다 많은 部分을 自體維持를 위하여 消費者가 利用하기 어렵고 外的 stress에 대한 自己 保護에 相當한다. 即 野生生物은 環境의 不利益이나 다른 生物과의 競爭에서 살아남기 위하여 自體維持 機能을 強化하며 支持組織의 發達을 꾀하는 生存을 위한 에너지의 經濟的 活用이라는 方向으로 淘汰되어 왔다.

馴化生物에 있어서의 維持 에너지 分割分의 相對的 減少는 보다 많은 에너지의 維持에너지에의 分割로 특징지어지는 野生生物에 대하여 불리한 環境條件下에서 競爭의 劣位에 놓이게 한다. 우리가 作物과 野生植物이 같이 자라도록 放任하였을 때 항상 作物이 劣勢에 놓이게 되는 것은 흔히 경험하는 바로, 이때문에 人間은 作物을 保護하기 위하여 灌水, 施肥, 病, 害虫, 雜草의 防除 기타의 수단을 쓰고 있는 것이다.

3. 農生態系의 一般의 特性

生態系는 極地方의 永久 氷原과 같은 극히 單純한 것에서부터 熱帶雨林과 같이 극히 複雜한 것까지 여러 가지가 있다.

農生態系는 收穫量의 極大化를 도모하기 위하여 人爲的 管理가 크게 작용하고 있는 生態系로 遊牧農業, 火田農業, 人力中心集約農業, 機械化企業農業 등 여러 가지 形態를 볼 수 있으며 이들 農生態系는 자기 特異한 環境條件下에서 발달하여 왔으며 자기 特異한 生態學的인 特性을 갖고 있다.

그러나 世界 2次大戰後의 급격한 人口增加는 食糧에 대한 需要量의 增加를 必然的인 것으로 하였고 文化生活의 向上은 肉類를 비롯한 高級 食品의 要求量의 增加를 수반하여 農業生産 增加에 대한 要求를 더욱 부채질 하고 있다. 限定된 耕地에서 보다 많은 收量을 올리기 위하여는 고도로 發達된 生産技術의 適用이 필요하게 되었다. 이리하여 現代農業은 보다 粗放的이고 自然 依存的인 生計中心農業에서 보다 集約的이고 人爲的 管理가 強化된 企業農業으로의 轉換이 不可避하게 되었다.

이러한 前提下에서 集約化의 程度가 큰 農業形態에

서의 生態學的 特性을 들어보면 다음과 같다.

(1) 連續性

生態系의 連續性은 空間的 側面과 時間的 側面으로 분리하여 생각할 수 있겠다.

일반적으로 農耕地는 인접된 自然生態系와는 여러 가지 수단에 의하여 어떠한 形態든지 간에 명백히 구별되어 있다. 生態學에서 인접된 두 生態系가 중복되어 있는 곳을 生態的 推移帶라고 하는데 生態的 推移帶에는 隣接한 두 生態系의 生物과 共通된 種은 물론이고 그에 固有한 種을 갖을 수도 있어 種多樣度가 커지는 것이 보통이다.

推移帶의 生物에는 推移帶 居住者도 있고 一時的인 訪問者도 있으나 이들 生物은 隣接 生態系와 相互交流하면서 그곳의 生物과 相互作用하여 緩衝的으로 作用하기도 하고 物質과 에너지의 교환도 한다. 예를 들면 殺虫劑를 살포하거나 作物을 수확하면 害虫類가 포장에서 없어서 天敵數는 인접한 推移帶로 피하거나 이동한다. 圃場에 作物이 栽培되면서 害虫이 발생하면 推移帶에 있던 天敵數가 다시 돌아와 害虫群을 抑制하여 주게 된다. 이것이 天敵數 保護를 위하여 殺虫劑를 帶狀으로 처리하는 理由이다.

그런데 農耕地에는 이와 같은 推移帶가 거의 없거나 있어도 극히 좁고 단순하다. 農路나 水路가 農耕地에서의 代表的 推移帶이나 自然生態系에 있어서의 推移帶와는 複雜性的의 면에서 比較가 안될 정도로 간단하다.

이와 같은 空間的 連續性的의 缺如는 農生態系의 內的 變化(예를 들면 病害虫의 發生)에 대한 内部的 緩衝作用의 弱化로 系全體의 安定性을 잃게 하는 原因이 된다.

空間的 連續性 못지 않게 時間的 連續性은 生物群集의 遷移를 통한 安定性增大와 깊은 관계가 있다.

農生態系에는 農路나 水路, 農家 周邊, 기타 作物栽培에 부적당한 곳에는 作物 이외의 野生生物들이 살고 있으나 대부분이 單一作物 또는 極少數의 作物로 채워지게 된다. 그리고 이들 作物은 數個月內에 收穫되고 播種할 때에는 땅을 갈아엎고 남아있는 植物은 제거된다. 물론 果樹園과 같은 곳에서는 果木이 30~40년 殘存한다. 그러나 이때에 있어서도 果木은 그대로 두나 地上의 다른 生物들은 除草등으로 완전히 제거된다. 이와 같이 農生態系는 매년 破壞와 새 出發을 반복하게 되어 生物遷移는 1년간의 季節的 現象에 따치고 安定된 自然 極相에 達할 수 있는 時間的 여유가 없다.

Odum과 Pinkerton(1955)은 生態系 進化의 生態學的 意義를 에너지 流轉相을 중심으로 논하면서 Lotka(1925)의 “生物學的 系의 最大 energy의 法則”을 具體的으로는 “보다 많은 energy의 自體維持 energy에의 분

割"이라고 해석하였고 Margalef(1968)는 이 문제를 생물群集 遷移의 에너지論으로 擴大 展開하였다. Odum은 생물群集 遷移過程의 特性을 생물群集의 energy論, 構造論, 生活史, 營養物質 循環 回路, 淘汰, 그리고 恒常性등 6개 분야 24개항에 걸쳐 初期 遷移段階과 最終極相段階에서의 特性을 비교한 바 있는데, 그에 의하면 전체적으로 생물群集은 遷移가 진전됨에 따라 構成種의 種多樣度가 증가하고, 種間에는 共生관계가 깊어지고 無機, 有機의 營養物質은 보다 많은 量이 장기간에 걸쳐 생물群集內에 保存되면서 全體의 熵은 entropy가 낮아지고 內의 情報가 複雜 多樣해 지면서 外部條件의 變化에 대한 適應力의 強化로 系는 安定性이 높아진다고 하였다.

生物群集의 遷移란 시간의 경과에 따르는 構成種의 變化와 種상호간의 機能的 連關관계의 變化를 뜻한다. 일반적으로 生物群集은 遷移가 진행됨에 따라 構成種의 種多樣度가 증가할 뿐 아니라 群集內 生物 生體量도 증가하여 極相상태에서 群集의 現存量은 最大에 달한다. 遷移의 初期 段階에서는 總生産量에 대한 純生産量(生體重 增加)의 비율은 높으나 極相상태에서는 純生産量은 거의 없어지는 것이며 따라서 단위 에너지 量으로 維持할 수 있는 生體量은 極相상태에서 크다.

農生態系는 前述한 바와 같이 純生産의 極大化를 도모하기 위하여 管理되는 것으로 純生産比가 가장 높은 初期 遷移段階를 維持할 수 있도록 遷移의 進行을 억제하고 있다. 구체적으로는 生産者의 종류를 作物이라는 單一種의 生産者로 限定하기 위하여 雜草類를 제거하여 無機環境系의 可用資源을 作物에게로 집중시켜 一次生産은 最大로 하게 하고 害虫이나 病菌에 의하여 奪取되는 生産物의 量을 極少化시키기 위하여 防除를 하고 있다.

이와 같이 農生態系는 空間的 連續性의 缺如와 1년 또는 수개월 單位의 生態系 構成 要素의 파괴로 遷移 進行에 충분한 時間的 餘裕가 없어 系內의 構成種數가 적고 그들 構成要素간의 相互관계는 直線的이고 構成種은 自體維持 能力이 적은 것으로 되어있게 되어 外部로부터의 stress에 예민한 反應은 나타내게 된다.

(2) 構成種의 種多樣度

農業의 目的은 純生産 특히 可用部位의 生産을 極大化시키는 데 있다. 이러한 目的을 達成하기 위하여는 個體水準에서는 馴化生物의 項에서 說明한 바와 같은 戰略이 必要하고 群集水準에서는 첫째로 生態系內의 에너지와 物質을 될 수 있는대로 많이 作物이나 家畜에게 移轉되도록 해야하고 둘째로는 同化된 에너지는 다른 生物에게 이용할 수 있도록 系內의 다른 消費者를 제거하도록 노력해야 한다.

生態系內의 資源을 될 수 있는대로 많이 作物에게 移轉시키기 위하여는 競爭者(잡초)를 제거하여 土中의 養分이나 光線을 最大限으로 作物이 利用할 수 있도록 管理해야 하겠다. 이러한 理由로 農耕地內에는 作物 이외의 植物의 發生을 最大限으로 억제하는데 이것은 결과적으로 植物의 종류를 극히 單純化시키는 結果가 된다. 물론 이것은 管理의 便利라는 側面에서도 중요한 意義를 갖는다.

農生態系의 生産者(植物)를 單一種으로 限定한다는 것은 이를 먹이로 하거나 生活場所로 하고 있는 消費者群의 종류도 限定하게 되어 系內 生物相을 單純化시킨다.

더욱이 生産物을 最大限으로 人間이 利用할 수 있도록 하기 위하여 消費者(病이나 害虫)를 人爲적으로 제거하고 있어 生物相은 自然生態系에 비하면 극히 單純化되게 된다. 즉 病虫害의 防除란 人間과 먹이 連鎖上 동일한 營養단계에 속하는 競爭者의 人爲的 除去라고 할 수 있으며 病虫害의 防除는 集約化된 農業에 있어서 生産의 安定과 극히 重要한 관계가 있다. 특히 後述하는 바와 같이 遺傳의 脆弱性을 갖고 있는 多收性品種은 外的 stress에 약하여 이점이 強調되어야 한다.

同化 에너지 利用의 極大化를 위한 또 다른 方案은 먹이 連鎖上 보다 낮은 營養段階에 속하는 生物의 利用이다. 먹이 連鎖上 營養단계가 높아짐에 따라 可用 에너지 量은 熱力學의 第 2法則에 따라 감소한다. 따라서 人間이 수확할 수 있는 에너지의 量은 낮은 營養段階의 生物을 수확하는 것이 有利하다. 대체로 한 營養段階를 거쳐 다음 段階에서 貯藏되는 에너지 量은 10~20%에 불과하고 80~90%는 呼吸 에너지로 되어 系에서 떠난다. 이것이 우리가 植物에서 얻을 수 없는 肉類를 얻기 위하여 飼養하는 家畜이 一次消費者(草食性動物)인 理由이며 家畜으로서의 에너지 移轉量을 증대시키기 위하여 다른 競爭者들을 제거하고 있다.

이렇게 볼때 農生態系는 種多樣度가 本質적으로 낮으며 또 管理를 통하여 單純化시키고 있다고 하겠다.

어떤 生態系內의 生物의 種類數는 環境條件의 變異幅이 클 수록 可用 Niche의 多樣性의 증가로 많아지는 것이 일반적 傾向이다. 自然生態系는 地形의 屈曲이 심하여 整地된 農耕地에 비하여 微環境에 變異가 커서 植物의 種類가 많아지는 것이 普通이다. 이것은 먹이의 種類의 增加 뿐만 아니라 植物의 종류에 따르는 草丈이나 草型의 차이로 인한 空間的 可用性도 多樣化하여 生物의 種多樣度가 증가 한다.

生物 種多樣度의 증가는 空間的 配列相의 多樣化를 통하여 構造的인 複雜性을 증가시키고 機能的으로는 먹

이 連鎖相이 直線的이고 單純한 關係에서 複雜한 網狀으로 變化하면서 에너지와 物質의 流轉은 捕食 먹이 連鎖, 回路보다 腐食 먹이 連鎖 回路로 많이 流轉하게 된다.

生物群集은 時間의 經過에 따라 生體重이 큰 生物(例 나무)의 構成比가 커지는데 이들 生産者의 特性은 生産한 物質中 보다 많은 量을 支持組織으로 분할하는 동시에 消費者(動物이나 微生物)가 利用하기 힘든 cellulose나 lignin과 같은 消費에 抵抗性이 큰 化合物을 생산하고 單位 生體量當의 에너지 消費量을 效率化시킨다. 이리하여 捕食作用에 대하여는 抵抗性이 커지면서 보다 많은 에너지는 分解回路로 流轉하게 된다.

이와 같은 種構成의 特性은 生態系의 安定性과 後述하는 物質의 生物群集內 保存能力이나 土壤의 物理化學의 性質과 밀접한 關係를 갖고 있다.

(3) 種內의 變異

自然生物群集은 種多樣도가 클 뿐 아니라 한 種個體群內의 個體間의 遺傳的 變異가 큰 것이 보통이다. 그리고 이들 遺傳子는 이들 生物의 環境條件에 대하여 適應의 意義를 갖고 있다. 물론 野生生物이 不利한 環境要因에 의하여 타격을 안 받는 것은 아니나 이들의 廣範圍한 遺傳的 變異는 不利한 環境條件에 대하여 높은 適應力을 갖고 있어 外的 衝擊을 緩和시킬수 있는 潛在力이 크다.

作物이나 家畜은 收量이나 品質에 대하여 集中的이고 意圖的인 選擇이 장기간에 걸쳐 作用하여 왔다. 이러한 過程에서 生産性과 相關된 形質이외의 遺傳的 特性은 거의 無視되었으며 그 결과 個體間의 變異幅이 좁아지고 個體의 遺傳子群도 單純化되었다. 따라서 環境條件에 대한 適應幅도 좁아졌다. 이러한 예는 IRRI가 育成한 IR系 品種과 벼멸구의 發生과의 關係나 우리나라 統一系 品種과 稻熱病과의 關係, 밤나무순혹벌에 대한 抵抗性 品種의 밤나무순혹벌에 대한 感受性化 등 많은 例가 있다.

個體間 變異가 적고 個體의 遺傳子群이 고른 特性을 가진 作物을 栽培한다는 것은 넓은 면적에 대하여 規格化된 管理를 할 수 있어 편리하고 市場 出荷에도 도움이 되는 것은 사실이다. 그러나 이러한 內的인 均質化와 播種, 移植, 施肥, 기타의 栽培學的 現象의 規格化는 發芽, 生長, 開花, 結實 그리고 收穫 등과 같은 生物學的 現象이 넓은 面積에 걸쳐 동시에 이리나게 되어 어떤 不利한 環境條件이 이러한 作物의 生育段階와 일치하였을 때에는 그의 타격은 커지는 것이 당연하다 하겠다.

벼멸구는 우리나라에서는 越冬할 수 없으며 해마다 6월 하순~7월 중순에 降雨前線의 北上과 더불어 飛來한

다. 최근 벼멸구의 被害가 크게 증가하고 있는데 우리나라의 장마철은 過去나 現在나 그리 큰 變動은 없다고 할 수 있는 고로 벼멸구의 飛來時期나 飛來量에는 그리 큰 差는 없다고 볼 수 있다. 물론 中共大陸內에서 벼의 栽培時期나 栽培方法 그리고 品種등에 상당한 變化가 있어 이에 따르는 벼멸구 發生時期나 發生量과 같은 發生源에서의 質의 變化가 있었던 것은 사실이나 실제로 飛來世代의 密度는 극히 낮은 것이 보통이며 벼멸구의 물체는 그의 r-戰略的 增殖特性에 있다는 것을 생각한다면 최근의 被害增大原因은 飛來에 관한 問題보다도 飛來後의 增殖動態와 相關된 環境條件이 보다 중요한 意義가 있는 것이라고 생각된다. 1970년대 初期까지의 우리나라 벼의 移秧時期는 6月中旬이후로 벼멸구 飛來後 第1世代는 活着後의 어린 벼를 寄主로 하였다. 그러나 최근의 벼 移秧은 5月中旬에 시작되어 飛來後 第1世代는 分蘖最盛期의 벼에 寄生하게 된다. 이와 같은 害虫과 寄主의 生育狀態와의 맞남짐의 差는 그 후의 個體群 增殖에 중요한 意義를 갖는다. 그리하여 第1世代에서의 增殖力 差는 이 害虫이 指數函數의 增加力과 相關, 第3, 第4世代에서는 커다란 差를 가져온다. 더우기 현재 벼의 移秧時期는 灌溉水 事情이 좋아져 전국이 1개월 이내의 짧은 기간내에 完了되어 벼멸구의 主飛來時期에 全國의 벼가 고른 生育段階에 있다는 것도 發生量 增加에 도움이 되고 있을 것으로 생각된다.

이와 같은 作物의 遺傳的 均質性, 좁은 變異幅 그리고 管理의 規格化 등에 따르는 農生生態系의 構成種의 內部的 均質化는 外的條件 變動에 대한 感受性을 增大시키고 脆弱性을 갖게 하고 있다.

더우기 作物은 栽培 당시에 生長後의 크기를 고려하여 個體當 空間의 크기를 충분히 供與받고 있어 生育初期에 相互間 競爭이 거의 없다. 이것은 野生生物이 生育初期부터 심한 種內, 種間競爭을 거쳐 殘存한 個體들이라는 것을 생각할 때 이러한 個體群의 質의 差는 生態學的 現象의 表現方式에 있어서 自然生態系와 農生生態系는 큰 差가 있을 것으로 생각된다.

(4) 養分과 水分의 保存

自然生態系는 自體充足的 系로 獨立性이 강하다. 前述한 바와 같이 生物群集은 初期遷移段階에서는 生産量이 消費量(呼吸量)보다 많아 生體量이 증가하나 極相상태에서는 生産量과 消費量은 均衡을 유지하게 되며 生態系內 生物群集의 生體量은 最大值에 달하게 된다. 生態系內 個體水準의 生體量 증가와 群集水準에서의 種多樣度의 증가는 物質循環의 측면에서는 無生物系의 無機物을 生態系로 도입하여 生物系內에 保存 維持하는 能力의 增加를 뜻한다.

土壤中の窒素, 磷酸, 加里, 기타의 鹽類는 植物에 의하여 吸收되어 生長에 利用되고 그중 일부는 動物이나 微生物에게 利用된다. 自然生態系에서는 個體群水準에서는 生體重이 크고 生活史가 긴 種들이 늘고 群集水準에서는 種多樣度가 증가함에 따라 먹이連鎖相이 直線的인 것에서 網狀으로 되면서 生物相互間의 관계가 밀접해짐에 따라 土壤中에서 生物系로 도입된 物質은 無生物系로 돌아가기에 앞서 生物群集內에서 生物과 生物間을 移轉하면서 長期間 머물러 있게 된다. 이것은 資源의 利用이나 系에서 離脫하는 資源의 保存이라는 側面에서 重要な 뜻을 갖는다.

農生態系에서는 收穫物, 나아가서는 줄기나 잎과 같은 生物體의 일부분까지도 系에서 奪取하여 다른 곳으로 移動시킨다. 또 生物群集의 種多樣度가 낮고 特定種의 優占度가 높다는 것은 生態系內의 物質移動이 어떤 特定種을 통하여 대부분이 이뤄진다는 것으로 이러한 優占種의 動態는 系內 物質 流轉 樣相에 重要的 영향을 미치는 것이다. 따라서 收穫에 따르는 이들의 제거로 系內에서 離脫한 物質은 人爲적으로 보충할 필요가 있다. 즉 農生態系는 인공의 開放의 消費性 系이며 土中 物質의 生物系 保存을 위한 人爲的 補充이 없이는 系는 원래의 生産力을 維持할 수 없다.

또 土壤中 養分과 水分의 行動은 地被物, 耕耘과 같은 土層의 物理的 교란, 作物 生育初期단계의 裸地率, 기타에 의하여 크게 영향을 받게 된다. 土壤은 單純한 母岩의 風化物이 아니고 그곳의 氣候의 조건과 生物 그리고 地形등의 相互作用에 의하여 生成된 地質化學的 產物로 土壤粒子를 中心으로 한 또 다른 生態系로 高度로 組織화된 實體이다. 自然生態系는 高度로 組織化되어 있어 土中の 鹽類와 水分의 保存과 移動에 有用한 系이다.

실제로 土壤은 無生物的 要素와 生物的 要素로 되어 있으며 이들은 土壤生態系의 特性和 밀접한 관계가 있다. 生物體의 未分解殘體인 土中 有機物의 含量은 chelation이나 共有結合과 같은 현상에 의한 土壤中 無機鹽類의 保存力을 增大시키고 可塑性의 改善등 여러 가지 物理化學的 性質과 密接한 관계가 있음은 잘 알려져 있는 사실이다. 또 落葉이나 根系의 發達등은 土壤의 裸出을 막고 土粒을 結束시키며 土壤中 動物의 活動은 土層을 海綿과 같이 하여 水分이나 空氣의 流通을 좋게 하기도 한다.

이와 같이 自然生態系에서는 地被物量의 증대, 植物根系의 발달, 有機物의 持續的인 供給, 土中動物의 活動 기타 등으로 物理的으로 土中物質의 系에서의 流失을 防止할 뿐 아니라 먹이連鎖相의 複雜化, 捕食連鎖에서 腐食連鎖로의 物質回路 轉換, 多量の 腐植質 生

產 등으로 生態系內 物質의 系內 保存能力이 큰 것이 보통이다. 農生態系는 消費性 系로 人爲적인 物質의 탈취, 裸地率의 증대(특히 作物이 어리거나 過度한 放牧), 定期的이고 잦은 土壤層 교란에 의한 分解 촉진, 直線的인 먹이連鎖相 등으로 系內에 物質을 保存할 수 있는 能力이 적어 生態系內의 物質이 다른 系로 流失되기 쉽다.

4. 結 論

生態系는 生物을 中心으로 한 自然의 單位이다. 自然生態系는 그 地域의 地形이나 氣候의 條件과 長久한 時間에 걸쳐 進化過程을 통하여 適應한 高度로 組織化되면서 安定性을 증대시켜왔다. 그러나 農生態系는 人間의 欲求를 충족시키기 위하여 生産量, 精確하게는 收量의 極大化를 위하여 管理되고 있는 生態系이다.

Hooper(1976)를 비롯한 여러 學者들은 農業生産量의 增大를 위해서는 最新科學技術의 導入이 捷徑이라고 주장하고 있다. 이것은 社會 經濟學的 側面에서 人間의 欲求充足이라는 면에서는 妥當性이 있는 일이라고 할 수 있겠으나 이러한 農業技術 도입에 따르는 地球生態系의 變化에 관한 生態學的 妥當性의 檢討가 수반되어야 하겠고 人間을 포함한 地球生態系의 質的 向上을 위한 合理的 管理方案이 模索되어야 하겠다.

우리는 현재 病害虫防除, 畜産, 農産廢棄物, 기타 農業生産 活動에 수반하는 심각한 環境問題에 當面하고 있다. 이러한 環境問題의 惹起는 根本的으로는 自然界에서의 生産과 分解作用간의 不均衡에 있는 것으로 自然生態系의 立場에서 볼 수 있다.

自然生態系는 總生産의 極大化를 도모하는 方向으로 進化하고 있는 반면 農生態系는 純生産量의 極大化를 戰略으로 發展시키고 있다. 農業生産의 증대는 人間의 生存과 繁榮을 위하여 중요한 일이나 한편으로는 環境의 質的 低下를 수반하고 있다는 점을 깊이 認識해야 할 것이다. 이러한 自然의 戰略과 人間의 戰略 간의 相互 모순을 어떻게 調和시킬 수 있을 것이냐 하는 문제가 현재 우리의 當面 課題이다. 이러한 問題의 解決을 위하여 生態系의 概念은 基本이 되며 生態學的으로 合理的이고 圓滑한 機能이 維持될 수 있는 系의 總體的 管理를 위한 農學 各 分野간의 研究와 綜合이 크게 要求된다.

要 約

農業은 動植物을 대상으로 하는 應用生態學의 한 分野로 그의 發展過程은 環境과 密接한 관계가 있다. 環境條件의 多樣性은 對象生物의 種類를 풍부하게 하고 馴化된 生物의 飼養 과정에서 多樣한 農業形態를 발전

시켰다.

生態系는 自然의 한 단위로 構成要素들은 機能的으로 統一性を 유지하고 있다. 農生態系는 生産을 目標로 하는 動植物을 中心으로 하는 生態系로 自然生態系와 基本的 性質은 동일하나 人爲的 要素가 크게 작용하고 있는 特異한 生態系이다.

作物이나 家畜은 수천년에 걸친 生産力의 增大를 目標로 人爲的인 선발을 거친 것으로 自然條件下에서 심한 競争을 거치면서 進化한 野生物들에 비하면 先天的 脆弱性を 갖고 있어 人間の 保護(에너지補助)를 필요로 하고 있다.

農生態系는 空間的 隔離와 構成種의 單純化로 空間的 連鎖性과 種多樣度가 큰 自然生態系에 비하면 外的 충격에 대한 內部的 緩衝能力이 약하다. 더우기 農生態系는 時間的 連續性이 없어 極相遷移단계에 달할 수 있는 時間的 여유가 없어 生物相互間의 관계는 初期遷移단계의 特性인 種多樣度가 낮고 直線的이고 單純한 먹이連鎖相을 갖고 있다.

生物群集의 遷移進行에 따르는 種多樣度の 增加는 生物群集內 現存量 증가와 더불어 먹이連鎖相을 直線狀에서 網狀으로 변화시키고 주된 物質·流轉回路를 捕食먹이連鎖回路에서 腐食먹이連鎖回路로 전환시켜 生態系의 物質은 生態群集內에 保存하는 能力을 增大시키고 土壤의 物理 化學的性質을 개선하여 系內 物質의 流失을 억제하기도 한다.

農生態系는 生産性的 增大, 管理의 便宜 기타의 理由로 構成種數를 人爲적으로 制限하고 管理를 통하여 發芽, 生長, 開花등 여러가지 生物學的 현상을 극도로 均質化시키고 있어 어떤 生育段階의 生物이 넓은 面積에 동시에 존재하게 되는데 이것은 外的條件의 變動에

대한 感受性を 증대시킨다.

이와 같은 自然生態系와 農生態系의 生態學的 特性에 관한 理解와 認識은 農生態系의 生産性 增大와 永久的 維持를 위한 合理的 管理를 위한 基本이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Caspari, E. W. and Marshak, R. E. (1965): The rise and fall of Lysenko, *Science*, **149**, 275.
2. Cox, G. W. and Atkins, M. D. (1979): *Agricultural Ecology*, W. H. Freeman & Co., 721pp.
3. Goodman, D. (1975): The theory of diversity-stability relationship in ecology, *Quart. Rev. Biol.*, **50**(3), 237.
4. Harlan J. K. (1971): Agricultural origins; Center and noncenters, *Science*, **174**, 468.
5. Odum, E. P. (1969): The strategy of ecosystem development, *Science*, **164**, 262.
6. Odum, E. P. (1972): *The Fundamentals of Ecology*, Saunders, 574pp.
7. Southwood, T. R. E. and Way, M. J. (1970): Ecological background to pest management, In *Concepts of Pest Management*, Raleigh, pp. 6~29.
8. 趙伯顯, 李殷雄, 權容雄 (1972): 品種의 變遷에 따르는 水稻의 地上部 形態의 變化와 生産性에 관한 研究, 學術院 論文集, **10**, 77.
9. 玄在善 (1978): 品種 및 栽培方式의 變遷과 虫害問題, 農學研究 (서울대 農大), **3**(2), 39.
10. 玄在善 (1982): 氣象環境과 病害虫發生 및 그 對策 韓國作物學會誌, **27**(4), 361.