

농업생태계와 자연보전¹⁾

노 기 안²⁾

농업과학기술원 농업환경부 환경생태과

머리말

이 지구상의 수많은 생물들은 각자의 생활에 필요한 에너지를 다양한 방법으로 획득하며, 그 방법에 따라 녹색식물이나 조류(藻類)와 같이 태양 에너지와 각종 무기물들을(H_2O , CO_2 , HCO_3^- , NO_3^-) 활용하여 유기물을 합성하여 생활을 영위하는 독립영양생물(Autotroph)과 동물이나 인간과 같이 독립영양생물이 합성한 유기물을 흡수함으로써 에너지를 획득하는 종속영양생물(Heterotroph)로 나누어진다.

농업의 가장 중요한 역할은 종속영양생물인 인류의 생존에 절대적으로 필요한 에너지원인 식량을 생산·공급하는 산업으로 세계 65억 인구에게 개인에게 연간 평균 100만 칼로리의 에너지를 제공하며, 인류는 예로부터 지금까지 그리고 앞으로도 식량을 농업에 의존해야만 할 것이다.

농업생태계란 농업이 이루어지는 지역에서의 생태계라고 정의할 수 있으며 본고에서는 농업생태계의 특성과 역할, 바람직한 농업생태계 활용 및 자연보전 방안들을 살펴보고자 한다.

농업의 특성

농업은 서언에서 언급한 바와 같이 인류의 생존에 절대적으로 필요한 에너지원인 식량을 생산하는 산업이며, 많은 사람들은 농부가 작물과 농토를 잘 관리하는 영농활동을 통하여 곡물을 생산한다고 생각한다. 하지만 농업은 태양 에너지, 이산화탄소, 무기질소를 고정하여 곡물의 유기화합물로 전환시키는 작물, 농경지에 투입된 유기물이나 무기비료들을 분해하여 작물이 이용 가능하도록 하고 유해한 오염물질들을 분해하는 미생물 등 무수한 종류의 생명체가 각자의 역할을 수행한 공동의 결과로 이루어지는 것으로 이들의 역

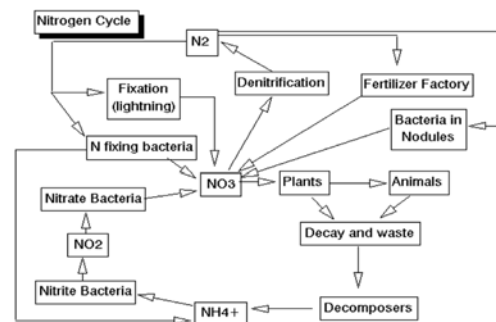


그림 1. 농경지에서의 질소순환.

1) Agro-ecosystems and Nature Conservation

2) ROH, Kee-An, National Institute of Agricultural Science and Technology; E-mail: karoh@rda.go.kr

할과 비교할 때 인간의 역할은 미미하다고 밖에 말할 수 없을 것이다.

그림 1은 식물생육에 가장 필요한 양분중의 하나인 질소가 여러 경로와 단계를 거쳐 생태계 내에서 순환하는 과정을 보여주고 있다. 이 모든 과정의 단계마다 수많은 생물군들이 자기의 역할을 다하여 순환과정이 지속되도록 한다. 이 외에도 생물체를 구성하거나 생활 기능에 관여하는 물질원소(C, H, S, Ca, Fe, Mg, P 등)들 역시 여러 단계의 생물군집-무기적 환경계를 거쳐 순환하고 있다.

우리에게 눈에도 보이지 않아 하찮게 여겨질 수 있는 작은 미생물이라도 제 역할을 수행하지 못한다면 이 순환과정은 어려워지며, 결과적으로 우리의 농업은 지속될 수 없다.

또한 농업은 흙과 물 등 자연환경과 밀접한 관계를 가지고 있다. 흙은 작물과 생명체의 삶의 터전, 즉 농업의 터전이다. 일반경제학자이나 법률가들은 “흙”과 “땅”을 “토지” 즉 부동산이라는 개념으로 보기 때문에 흙의 가치는 오직 경제활동 즉 지대(地代)로서 평가될 뿐이다.

토목학자나 건축학자들도 흙과 땅을 엄밀히 구별할 필요가 없다. 단지 지반(地盤)과 경사면(傾斜面)의 안정성, 골재로서의 가치, 물의 걸 흐름(流去)과 유출(流出)특성 등만 고려하면 된다.

그러나 농업이나 생태학 측면에서 보면 흙은 “살아있는 생명체”이며 조화롭고 끊임없이 변화하는 동적인 자연체이다.

흙은 생태계 내 생산자와 소비자의 삶의 터전이며, 태양에너지와 대기중의 질소와 탄소 등 무기물을 흙 속으로 끌어들이어 저장한 후 식물체에 공급하는 저장고이며, 생물이 먹고 남은 찌꺼기와 버려 놓은 쓸모없는 모든 것들을 원형으로 되돌려 놓는 정화작용을 함으로써 생명의 순환이 가능하게 하는 정화공장이다. 또한 흙은 커다란 완충력으로 수많

은 물질과 세상의 변화를 포용하는 역할을 한다.

물은 생명의 근원이자 바로 생명 그 자체로서 물의 존재여부로서 외계 별들의 생명체 존재여부를 판단한다. 물은 무기·유기물질을 용해시키는 우수한 용매로서, 물질의 운반매체의 기능을 수행하여 각종 양분들을 녹여서 작물과 미생물이 이용할 수 있게 하고, 물질의 순환이 일어나게 한다. 또한 커다란 비열을 가진 완충체로서 열을 흡수 또는 방출하여 지구의 온도를 일정하게 유지시켜 지구와 생물의 온도가 갑작스럽게 변화하는 것을 막아 생명체의 생존이 가능한 기후가 유지될 수 있도록 하는 역할을 수행한다.

이처럼 농업은 인간을 비롯한 수많은 생명체들과 환경의 밀접한 관계 속에서 유기생명체의 자연생명력의 전개과정과 생물과 무생물사이 자연생태계의 물질순환을 통해 이루어진다.

근래 들어 인간들은 토양이나 물에게 완충력의 한계를 벗어나는 짐을 지우면서 고유의 기능 수행을 어렵게 하는 경우가 종종 발생하고 있는데 이 경우를 우리는 환경오염이라고 표현한다. 농경지에서의 환경오염은 자연생태계의 물질순환에 관여하는 생명체들의 역할을 어렵게 하여, 결국 농업이 지속될 수 없게 된다. 이러한 점에서 농업은 기계와 인간의 노력만으로 물품생산이 가능한 2차 산업과 구별되며, 깨끗한 환경과 건전한 생태계의 보전이 농업에 왜 필요한지를 설명해준다. 아울러 근래 들어 우리나라의 거의 모든 농과대학이 생명과학대학으로 명칭을 바꾸는 이유가 설명될 수 있을 것이다.

농업생태계의 특성

오늘날 가장 자주 사용되는 말 중의 하나인 ‘생태계(Ecosystem)’는 1935년에 Tansley

가 제창하였으며 어느 지역(일정한 구역)에 성립된 생물군집과 그들을 둘러싼 무기환경이 상호 의존적이고 또는 상호 규제적인 관계를 가지며 항상성을 갖춘 자연의 단위적인 존재를 하나로 묶어 칭하는 용어로서, 생태계가 필요로 하는 크기의 한도는 특별히 없으며 물질순환이 완결되는 안정된 물질계라는 관점에서 유일한 생태계는 지구이다.

일반적으로 생태계는 성질에 따라서 아래와 같이 나눌 수 있다.

- 육상생태계(Terrestrial Ecosystem)
- 수계생태계(Aquatic Ecosystem)
- 자연생태계(Natural Ecosystem)
- 인위생태계(Artificial Ecosystem)

육상생태계는 산림, 초원, 황무지 생태계 등 육지의 생태계, 수계생태계는 해양, 호수, 하천 생태계, 자연생태계는 말 그대로 성립 및 유지가 자연 상태인 것으로 인간의 손길이 미치지 않은 생태계이며, 이와 반대로 인위생태계는 인간에 의해 관리되는 생태계로 농업생태계는 여기에 해당된다.

생태학적인 측면에서 농업은 그림 2와 같이 농업생태계 내에서 에너지 흐름, 물질순환의 과정을 효율적으로 활용하여 이 과정에서 발생하는 에너지의 일부를 인류의 식량으로 이용하는 산업이다.

하지만 이 지구상에서 인류는 경험이나 생

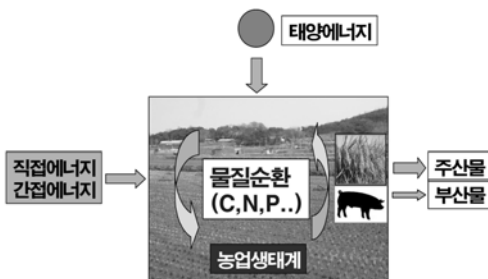


그림 2. 농업생태계에서의 에너지의 투입과 산출.

각(사상) 등을 전승하여 고유의 문화와 문명을 구축한 극히 특이한 존재로서 65억 세계 인구의 생존을 유지하려면 엄청난 에너지를 필요로 한다. 따라서 농업생태계의 자연적인 순환과정만으로는 인류의 생존에 필요한 에너지를 공급하기는 불가능하여 농업생태계내의 물질순환과 에너지흐름을 인류가 관리하여 필요로 하는 식량의 증산을 추구하게 되었다.

농업생태계를 관리하는 방안으로는 비료와 같은 보조에너지를 투입하고, 경운, 물 관리, 비닐멀칭 등을 통해 농업생태계 내 물질순환의 속도를 빠르게 하고 아울러 병충해 방제, 제초, 품종개량을 통해 인류의 에너지 확보에 유리하도록 물질순환과 에너지흐름의 방향을 조절하였다. 이와 같은 관리의 결과 농업생태계는 표 1과 같이 자연생태계보다 순 생산성이 높고, 생태계 내부의 물질순환은 폐쇄형인 자연생태계보다 농업생태계는 개방형이며 속도도 빠르다. 품종개량과 제초, 병해충 방제의 결과 영양사슬이 단순하며, 종 및 유전적 다양성이 낮다. 결과적으로 농업생태계는 자연생태계보다 엔트로피가 높고 안정성은 떨어져서 농업생태계를 유지하기 위해서는 인간에 의한 지속적인 관리가 필요하다.

표 1. 농업생태계와 자연생태계의 특성비교

특성	농업생태계	자연생태계
순 생산성	높다	중간
물질순환	개방계	폐쇄계
물질순환속도	빠르다	느리다
영양사슬	단순	복잡
종다양성	낮다	높다
유전적다양성	낮다	높다
엔트로피	높다	낮다
안정성	낮다	높다
인간에 의한 제어	필요	불필요
서식지의 이질성	단순	복잡

생물서식지로서의 농업생태계

식량을 생산하는 농경지는 일반적으로 알려진 것보다 훨씬 다양하고 많은 생물들이 서식한다. 이들은 생산자, 소비자, 분해자로서 물질순환의 연결고리와 에너지 흐름의 경로로서 농업생태계 유지를 위한 각자의 역할을 성실하게 수행한다.

농경지에 서식하는 미소동물들은 유기물 또는 영양염류를 분해하여 작물의 성장에 필요한 양분을 공급하고, 동물과 식물에 피해를 가해하는 해충의 밀도를 줄여주는 천적의 역할을 수행하여 궁극적으로 생태계의 평형을 유지하고 지속적인 먹을거리 생산을 위한 건전한 환경을 제공해 주고 있다. 눈에 서식하는 수서무척추동물을 종류별로 보면, 절지동물문의 갑각강이 긴꼬리투구새우(*Triops Longicaudatus*) 풍년새우(*Branchinella kugenumaensis*), 등근조개벌레(*Lynceus dauricus*), 칼날물벼룩(*Cyclops vicinus*) 등 22종, 곤충강이 연못하루살이(*Cloeon dipterum*), 청실잠자리(*Lestes sponsa*), 자색물방개(*Noterus japonicus*), 물땡땡이(*Helochares anchoralis*), 애반딧불이(*Luciola lateralis*), 게아재비(*Ranatra chinensis*), 물자라(*Muljarus japonicus*) 등 156종, 연체동물문의 복족강이 애기물달팽이(*Austropeplea ollula*), 논우렁이(*Bellamyia*

quadrata), 삼각산골조개(*Musculium japonicum*) 등 14종, 환형동물문의 질강이 참거머리(*Hirudo nipponia*), 녹색말거머리(*Whitmania edentula*) 등 4종 외 선충류를 포함 총 5문 7강 216종이 서식하고 있는 것으로 조사되었으며 앞으로 연구가 더 진행된다면 많은 종들이 추가 발견될 것으로 생각된다.

토양동물은 아메바, 섬모충을 비롯한 원생동물, 와충류, 지렁이류, 톡토기류, 응애류, 선충류 등이 있으며, 1m²당 산림토양에서는 33,300마리, 과수원에서는 35,100마리, 밭토양에서는 20,600마리, 목초지에서는 43,000마리정도가 서식하고 알려져 있다. 종류로는 8문 18강 82목으로 정확한 종수는 알려져 있지 않지만 지렁이 경우를 보면, 뉘지렁이과(*Lumbricidae*), 염주위지렁이과(*Moniligastridae*), 지렁이과(*Megascolecidae*), 미백지렁이과(*Enchytradae*)로 크게 4과(Family)가 있으며 102종이 서식하고 있는 것으로 조사되었다. 밭토양에 서식하는 지렁이의 종류는 지렁이과(*Megascolecidae*)에 속하는 밭지렁이(*Amynta agrestis*)와 왕지렁이속에 속하는 2종(*Amyntas* sp.1~2), 염주위지렁이과(*Moniligastridae*)에 속하는 참염주위지렁이(*Drawida koreana*), 염주위지렁이(*D. japonica*), 뉘지렁이과(*Lumbricidae*)에 속하는 줄지렁이(*Eisenia fetida*), 갈색뉘지렁이(*Aporectodea*

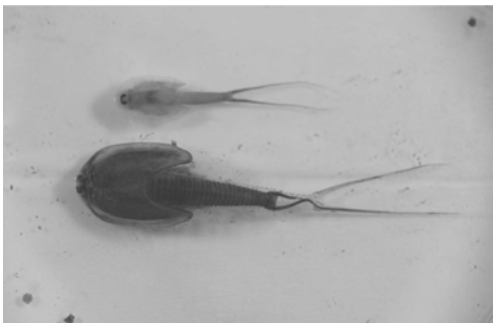


그림 3. 긴꼬리투구새우 (상: 유생, 하: 성체).
※ 멸종위기 야생 동·식물 II급



그림 4. 지렁이(Megascolecidae).

trapezoides) 등이 있다. 우리나라 논에 서식하는 지렁이는 3과(Megascolecidae, Moniligastriidae, Lumbricidae) 5속(Amyntas, Drawida, Aporrectodea, Dendrobaena, Eisenia), 약 12종(Amyntas sp.1~7, Drawida koreana, D. japonica, Aporrectodea trapezoides, Dendrobaena rubida, Eisenia fetida)이 있다.

농업생태계의 보전

농업이 자연환경과 생명체의 공동노력으로 이루어지는 산업이므로 지속적인 농업활동을 위해서는 자연환경과 농업생태계의 보전은 필수적이다. 하지만 증가하는 인구를 부양하기 위해서는 보다 많은 식량을 생산하여야 하고 보다 많은 식량을 얻기 위해서는 농경지의 확장이 없는 한 토양에 부족한 양분을 인위적으로 공급하여야 한다. 우리나라는 토양의 모체인 암석의 70% 이상을 산성암인 화강암과 화강편마암이 차지하고 있다. 이러한 암석을 모암으로 하는 토양은 산성을 띠게 된다. 또한 우리나라의 기후는 여름철에 덥고 비가 많아 유기물은 빨리 분해되어 부식함량이 적고 빗물에 의해 K, Ca, Mg 등 식물영양분이 용탈되어 토양은 척박하게 된다. 따라서 우리나라의 자연토양은 산성이 강하고 유기물이 적고 척박한 토양이 대부분이다.

이러한 토양은 비옥도가 매우 낮기 때문에 비료를 주지 않으면 작물 수량이 형편없이 낮을 수밖에 없다. 우리나라 농업은 60년대에는 이와 같은 척박한 토양을 개량하기 위해, 70년대에는 식량증산을 위해, 그리고 80년대에는 식생활문화의 고급화에 따른 소비자의 요구에 부응하는 농작물의 생산을 위해 과다한 양의 비료를 농경지에 투입하였다.

하지만 과다하게 공급된 양분은 식물이 전부를 흡수하지 못하고 농경지에 집적되어 오히려 작물의 생육을 저해하고 물과 함께 농

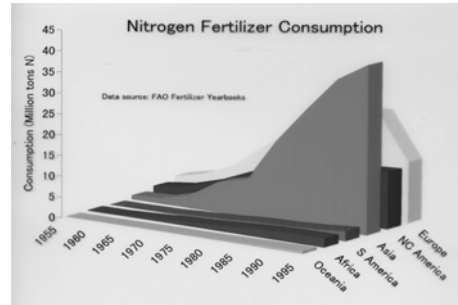


그림 5. 질소비료 소비량 변화.

경지를 빠져나가 주변의 수질을 오염시킬 수 있다. 또한 병해충을 방제하기 위하여 사용한 농약은 제대로 분해되지 않아 물의 흐름을 따라 다른 지역으로 까지 이동하여 유익한 곤충들을 죽이는 등 생태계를 파괴하여 농업이 환경오염의 원인으로 평가받기도 하였다.

표 2는 우리나라 농경지에서 유효인산의 함량 및 분포비율을 보여주고 있으며, 많은 농경지가 화학비료나 가축분퇴비 등의 과다 시용에 의해 과량의 인산이 토양 중에 집적되어 있음을 알 수 있다.

생태계는 평형을 유지하려는 특성이 있지만 한계를 넘는 요인이 작용하면 평형이 깨어진다. 홍수, 산사태, 귀화 동물 등에 의해서 생태계의 평형이 깨어지는 경우도 있는데, 이들에 의한 생태계의 붕괴는 일시적인 것으로 대부분 얼마 지난 후에 다시 회복된다. 그러나 인간에 의한 파괴는 생태계를 황

표 2. 우리나라 농경지의 유효인산 함량분포

구분	평균 (mg kg ⁻¹)	적정 (mg kg ⁻¹)	분포비율(%)		
			적음	보통	많음
논	128	80~120	38.3	21.3	40.7
밭	577	300~500	21.0	27.4	51.6
시설재배	1,092	350~500	12.7	7.4	79.9
과수원	780	200~300	42.4	38.0	18.7

2006, 농과원

폐화시키고 회복 불능의 상태로 만들 수 있다. 특히 환경오염에 의한 파괴는 생태계 평형에 심각한 문제를 일으키고 있으며, 나아가 인간 자신의 삶마저 위협받는 사태에 이르게 된다.

80년대까지의 고투입·집약농업에 대한 자성으로 90년대부터 등장한 친환경농업은 생산성 생산성 유지와 함께 농업생태계의 보전과 안전한 농산물 생산을 목표로 하고 있다. 친환경농업은 화학비료나 농약사용량 저감, 적절한 비배(肥培) 관리, 부존 유기자원의 활용, 작물의 간작(間作) 및 윤작의 적극적인 도입 등 다양한 방법을 사용하고 있으나 수익성과 환경보전을 양립시키는 것이 쉽지 않다는 문제점이 있다.

건전하게 관리·유지된 농경지는 식량생산 이외 다양한 공익적 기능을 가지게 된다. 농업생태계는 도시생태계와 자연생태계의 중간으로서 건전한 농업생태계는 식량생산 이외에 환경측면에서 무한한 가치를 지니고 있다. 생활오수 등에 다량으로 함유되어 있는 질소와 인은 하천의 부영양화를 초래하는 수질 오염원이지만 작물재배에서는 가장 필요한 영양분이다. 우리 국민의 주식인 쌀을 생산하는 논은 거대한 인공습지로서 시비량을 적절하게 조절할 경우 관개수를 통해 유입된 영양물질을 이용함으로써 수질을 정화하는 능력을 가지고 있으며, 관개수중 영양물질의 함량이 높을수록 정화효과는 커지게 된다.

필자가 연구한 결과에 의하면 전국 관개용수중의 질소함량이 평균 1 ppm이 증가할 경우 우리나라 논에서의 질소 정화능력은 연간 2,616 ton이 증가하는 것으로 밝혀졌다. 또한 최근 우리나라의 반기문 유엔사무총장은 “과거 냉전시대에는 핵겨울이 인류에게 가장 큰 위협이었지만 지금은 기후 위기와 온난화가 전쟁 못지않은 큰 위협이 되고 있다”며 지구 온난화 문제는 더 이상 불편한 문제가 아니

라 피할 수 없는 현실이며, 전 세계 모든 국가들이 환경문제에 대해 보다 깊은 관심을 가져야 한다고 했다. 근래 들어 이 같은 지구온난화의 해결책으로 농업생태계를 활용하여 대기중의 이산화탄소를 biomass로 고정하여 화석연료를 대체하는 방법이 가장 현실적인 대안으로 제시되고 있다.

따라서 앞으로의 농업은 단순한 식량 생산 기능보다는 식량생산과 아울러 농업생태계를 활용한 환경보전 방안 등에 관심을 두어야 할 것이며, 이를 위한 전제조건으로서 건전한 농업생태계의 유지 보전이 필수불가결의 전제조건임은 너무나 당연한 것이다.

맺음말

도가사상에서 자연계는 거대한 순환체계이고 그 속에서 만물은 끊임없이 순환하며, 서로 간에 평형과 조화를 이루고 있다고 하며 이는 생태학의 원리와 너무나 일치한다고 볼 수 있다. 환경문제는 인간이 과학적 지식과 기술로 자연계를 조작하여 평형과 조화를 깨트림으로써 생태계가 파괴되어 발생한다. 농업생태계는 인류가 생존하는데 가장 필요한 식량을 공급할 뿐만 아니라 무한한 가치를 가진 생명산업인 농업의 터전으로 인류의 생존과 환경보전을 위해 건전한 농업생태계의 보전은 너무나 필연적인 것이다.

노자는 자연(自然)을 무위자연(無爲自然)의 줄임말로써 인위(人爲)적으로 무엇인가를 변화 시키려는 것이 아니라 저절로 되게 하는 것이라고 했다. 우리가 자연을 보호 또는 보전한다는 것 자체가 자연이라는 말과 맞지 않는 인간의 자만심이 아닌지 생각되며, 자연의 한 구성요소로서, 겸허한 마음으로 자연의 흐름에 순응하면서 사는 것이 가장 현명한 농업생태계와 자연보전 방법이 아닐까 한다.

참고문헌

- 김동수, 엄기철, 윤순강, 윤성호, 황선웅. 1994. 노, 왜 지켜야 하는가?. 도서출판따님.
- 농촌진흥청. 1998. 농촌환경변동 대책연구. pp. 3-32.
- 정연태. 1999. 흙도 재테크를 한다. 한림저널사. pp. 10-31.
- 한민수, 나영은, 김성필, 오영주, 김명현, 고문환, 홍혜경. 2006. 논생태계 수서무척추동물도감. 농촌진흥청.
- Mdsae, S., Y. Eizi, K. Hiroshi, A. David A. and H. Nobuhiko. 1992. Ecological processes in agro-ecosystems. National institute of agro-environmental sciences. pp. 173-187.
- Eugene P. Odum. 1993. Ecology and our endangered life-support systems (second edition). Sinauer Associates, Inc., Sunderland Massachusetts. pp. 38-67.
- 서명철, 강기경, 윤홍배, 엄기철. 2001. 논농업의 생산환경조건별 공익기능 평가. 2001 농업환경연구. 농업과학기술원. pp. 355-378.