

◀ 주제 3 ▶

환경농업에서 작물운작기술의 현대적 의의

서 종 호

(농촌진흥청 작물시험장 농업연구사)

1. 머리말

현대에 들어와서 지구환경문제의 심각성과 더불어 지금까지의 화학자재(농약, 비료)의 다량 투입에 의한 증산위주의 농업정책에서 자재저투입 및 생물의 다양성, 토양 및 수질보전, 자연경관을 중요시 하는 환경농업으로 농업정책이 전환됨에 따라 전통농업에서 사용되었던 유기물 이용 및 운작기술은 환경농업의 가장 중심 기술로 부각되고 있으며 국제적 유기농업의 기본규약에서도 두과작물 및 녹비작물이 포함된 운작체계를 유기농산물 생산의 핵심기술로 설정하고 있다. 미국 등 경지면적이 넓고 선진화된 농업기술을 보유하고 있는 나라에서는 식량작물의 생산에서도 운작의 원리를 철저히 지키고 있으며 원예분야에도 환경 및 농산물의 오염을 막기 위해 녹비작물(cover crop)이용 기술에 대한 전반적이고 지역적인 연구가 이루어지고 있다. 그러나 우리나라는 경지면적이 협소할 뿐만 아니라 경지면적 중 논면적이 차지하는 비율이 많아 작물운작에 대한 중요성은 크게 강조를 받지 못하였으며 밭에서의 작물운작기술보다 논을 밭 또는 시설재배지로 전환하는 답전유회원에 대한 연구가 일부 이루어 졌고, 식량밭작물의 감소에 따라 밭작물의 운작연구는 의미가

거의 없어져 갔다. 원예작물의 생산은 원예작물의 전업화 및 집단단지화에 따라 단작 및 연작 위주로 이루어지고 있고, 일반 밭작물과의 결합에 따른 윤작의 효과를 알고 있더라도 농가소득 측면에서 철저히 외면 당하여 왔으며, 시험장에서조차 윤작의 연구는 원예작물내에서 일부 이루어져 왔다. 그러나 진정한 의미의 윤작의 효과를 얻기 위해서는 윤작작물 중 식량작물이 윤작 사이클내에 도입되어야 하기 때문에 원예작물만의 윤작만으로는 연작으로 일어나는 토양의 부작용을 극복할 수 없다. 근래에 아주 모범적인 精農家를 위주로 노지원에 작물에서 동계 호밀, 춘계 연맥 등 토양의 물리성과 미생물상을 개선할 수 있는 화분과 녹비작물의 재배 및 시설 채소작물 재배농가에서는 연작에 따른 토양 염류집적 및 토양병해를 해결하기 위해 화분과 흡비작물을 이용한 cleaning crop 및 답수 후 채소재배 등 윤작기술을 원용한 인위적인 새로운 기술들이 이용되고 있다.

근래의 유기농산물의 수요증가 및 국가의 환경농업의 육성방침에 따라 농업화학물질 및 축산분뇨에 의한 농업환경 및 수질오염의 방지, 겨울철 푸른들 가꾸기, 자급사료 생산, 경사지 토양보전 등의 농업정책에 따라 밭윤작, 답전유환, 겨울철 녹비 및 사료작물 생산, 산간 경사지 피복작물재배 등 작물윤작과 관계된 기술의 연구가 다시 재검토되는 추세에 있다. 따라서 앞으로의 글에서는 합리적인 토양관리와 윤작기술의 기본적인 개념을 바탕으로 농업구조 및 작부체계의 상황변화와 현대 환경농업의 재배기술 개발의 관점에서 윤작기술을 재조명해 보고자 한다.

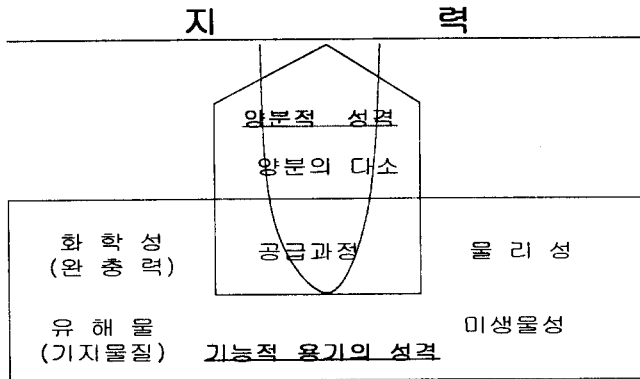
2. 지력 및 윤작의 개념

인간의 역사를 조망해 볼 때 경지의 이용방식은 역사발전 및 시비기술의 발달과 함께 일정한 단계를 거친다(그림 1). 동양과 서양 모두 인구가 적고 경작 가능한

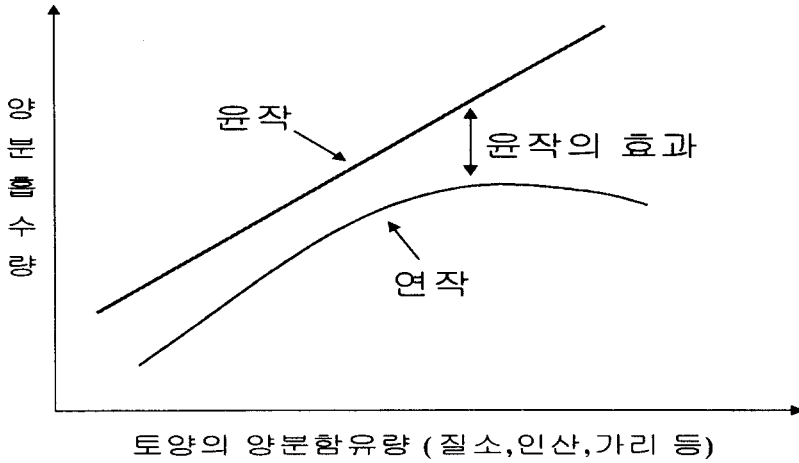
면적이 많았던 고대에서는 임목과 초원의 높은 지력을 이용한 火田式(林田輪換式) 작부체계가 처음으로 발달하게 된다. 인구가 증가하여 집단사회를 이루어 정착하게 되면 火田式의 이동식 경작에서 고정식 토지이용방식으로 바뀌어지게 되는데 그 고정된 토지를 이용하는 과정에서 지력을 유지하고 곡물생산에 따른 지력감퇴를 극복하기 위해 일정기간 토지를 쉬게 하는 休閒農法이 발전하게 된다. 이 고정식 경작에서 지력을 유지하고 작물을 지속적으로 생산하기 위해서 윤작기술이 발전하게 되는데, 동양 특히 중국, 한국, 일본 등에서는 인구에 비해 좁은 경지를 경작하는 단계에서는 같은 경지내 일부를 교대로 휴한하는 新代田法(區田法) 등이 나타나며 서양에서는 포장을 돌리면서 쉬게 하는 일종의 輪圃式농업이 발달하였다. 그리고 시비술의 발달에 따라 동서양 모두 常耕적인 輪栽식으로 발달하게 되는데 특히 서양에는 농지에서 가축의 사양과 관련하여 개량삼포식인 노오포크식 윤작으로 발전하게 된다. 이렇게 발전된 동서양의 윤작기술의 방식은 시비기술의 도움과 함께 작물의 특성을 이용한 경지내 지력의 자력평형을 이루고자 하는 농업의 오랜 역사적 발전과정이었다고 할 수 있다. 이런 전통적 농업에서 지력유지는 토양에 대한 인위적 유기물공급과 윤작기술의 발달에 기인한다고 보여 지는데, 지력이란 토양이 보유하고 있는 양분의 양과 뿌리가 활발히 활동하여 양분을 흡수할 수 있는 공간으로서의 토양 물리성과 미생물성을 포함하여 여러가지 요인이 종합화된 작물생산을 위한 토양의 능력이라고 할 수 있다. 지력은 단순히 토양에 존재하는 양분의 량에 국한되는 것이 아니고 토양의 기능적 용기의 성격 즉 토양화학성(양분보유 및 완충력), 토양물리성, 미생물성, 토양독성물질의 존재 등에 따른 양분의 공급과정까지 포함한 종합적인 의미에서의 지력을 의미한다(그림 2). 작물윤작은 토양 양분의 증가 및 균형화를 이루는 것과 동시에 토양에 존재하는 양분의 흡수증가를 위한 토양의 기능적 용기의 성질을 개량하는 것을 의미하기도 하며 실제로 작물의 윤작효과라고 할 때는 이를 지칭하기도 한다(그림 3).

동양	서양	지력회복방식	토지이동	지력유지단계
화전식 (林田輪換式)	화전식, 穀草式	자연에 의존	이동식 경작	약탈식 농법
↓	↓	↓	↓	↓
휴한식 (新代田法)	휴한식(삼포식)	↓	고정식경작	경지내지력평형
↓	↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓	↓
常耕輪栽式	개량삼포식, 노오포크식	인위적지력회복 (시비술발달)	↓	↓
↓	↓	↓	↓	↓
↓	↓	↓	↓	↓
자유식	자유식	↓	↓	↓

〈그림 1〉 토지이용 방식의 역사적 변화



〈그림 2〉 지력의 개념



〈그림 3〉 윤작에 의한 토양양분의 유효화(大久保, 1975)

윤작도 작부체계의 일부로 주로 작물의 시간적 배열을 의미한다(표 1). 1년 단위의 고정된 작물조합도 윤작(단기윤작 또는 일반적 의미의 작부체계)으로 부르기도 하지만 일반적으로 윤작이라 하면 작물의 1년 이상의 조합을 의미한다. 작물조합간에는 같은 작물종 내에서 특징이 다른 품종간 재배를 윤작의 범주에 넣을 수 있지만 일반적으로 작물윤작이란 다른 작물종(초종) 및 다른 작목간의 교호재배를 이야기하는데 일반적으로 윤작의 효과는 동일한 성격을 가진 작물보다는 다른 성격을 가진 작물을 조합했을 때, 또 다른 성격을 가진 작물조합보다는 다른 성격을 가진 작목간의 조합(답전유환 등)일 때 그 윤작의 효과가 더욱 뚜렷이 나타난다고 할 수 있다(표 2).

〈표 1〉 작부방식의 분류

작물의 배치	종 류
시간적 배열	-단작 : 1기작, 2기작, 연작 -윤작 : 단기윤작(1년2모작, 2년3모작), 년윤작, 장기윤작
공간적 배열	-단작 : 조파, 혼파 -혼작 : 조내간작, 조내혼작, 대상간작
시·공간적 배열	-間後作, 다층작, 그루같이

〈표 2〉 윤작의 종류

윤작의 분류		종 류
윤 작 기 간		- 단기윤작(1년2모작, 2년3모작, 2년4모작), - 년윤작(2~4년 단위 윤작) - 장기윤작(작물재배기간, 윤작주기)
작물조합	동일작물	- 동일작물내 품종간 윤작 및 혼작
	작 물 간 (밭작물)	- 동종간: 화본과(식량작물, 사료작물), 두과(식량작물, 사료작물), 뿌리작물(식량작물, 채소작물), 엽·과채류 - 이종간: 화본과↔두과↔뿌리작물↔엽·과채류
	작 목 간	- 논↔밭, 논↔과수원, 밭↔초지, - 논↔밭↔초지↔과수원

3. 윤작의 효과

합리적 輪作技術 體系는 작물의 특성에 따라 작물을 조합하므로 윤작기술체계 확립의 기본은 작물별 양분흡수 및 토양에 미치는 특성을 파악함으로써 시작된다. 〈표 3〉에서 보는 바와 같이 화본과작물은 두과작물 및 채소류보다 건물생산량이 많고 토양에 환원할 수 있는 건물도 많아 토양 중의 유기물의 유지에 다른작물보다 뛰어나다. 또 경지내 질소를 비롯한 양분을 흡수하는 능력이 뛰어나 토양내 과잉염류를 제거하고, C/N율이 높은 화본과의 유기물이 경지에 환원되었을 때 경지 밖으로 유출될 수 있는 무기태 질소를 유기화시키고 미생물상을 풍부하게 하여 사상균과 같은 병에 관련된 미생물을 억제하는 등 토양을 깨끗하게 하는 기능을 가진 작물이다. 따라서 작부체계 및 윤작에서 화본과 작물을 도입하는 것은 경지내 자기완결형 지력유지에는 필수조건이 되며, 전통농업에서 볼 수 있는바와 같이 화본과의 유기물이 가축과 연계되었을 때는 퇴비 및 구비로 다시 환원되어 토양의 지력을 더욱 높이게 된다. 콩을 비롯한 두과작물은 건물생산은 화본과 작물보다 적지만 다량의 유기물을 토양에 환원할 수 있으며, 그 유기물은 C/N율이 현저히 낮고 분해가 빨

라 그 중에 포함되어 있는 양분을 작물은 쉽게 이용할 수 있다. 또 근류균을 통하여 공중질소를 고정하는데 그 양은 초종에 따라 다르지만 7~20kg/10a 정도의 많은 질소를 생산하여 뒷작물 시비질소의 많은 양을 절감할 수 있다. 또 다른 작물에 비해 우점도가 높고 토양의 피복도가 커서 잡초억제능력이 다른 작물보다 크다. 그러나 연작에 의해 병해충 및 선충의 피해가 많아 연작에 의해 수량이 크게 감소한다. 서류 및 근채류는 잔사유기물이 대개 분해되기 쉬워서 토양유기물의 축적효과는 적다. 그러나 세균이 땅속 깊이 분포하거나 괴경, 괴근, 큰뿌리가 토중 깊이 뻗기 때문에 토양은 심경에 가까운 처리를 받으며 윤작에 서류와 근채류를 넣는 이유는 이 심경효과를 기대하기 때문이다. 또 서류 및 근채류는 가리의 흡수량이 다른 작물보다 많고, 비교적 연작장해에 강하고 윤작시 앞작물의 영향을 적게 받는 특징이 있다. 이에 반해 엽채류와 과채류는 환원되는 유기물이 적고 양분수지상 시비량에 비해 흡수량이 적어 토양에 축적되는 양분량이 많아 연작을 계속하면 토양양분이 불균형화되고 염류가 집적되고 토양물리성이 악화되고 유기물의 감소와 질소의 집적에 따라 병원성 사상균이 증가하여 토양병의 발생이 많아(표 5) 작물생산이 불안정해지게 된다. 토양의 양분특성은 비교적 두과작물의 토양에 가깝게 된다.

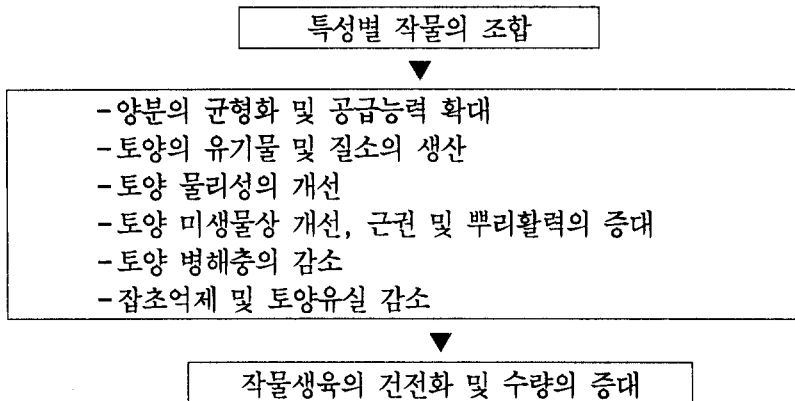
이렇게 재배되는 작물은 특성이 다르기 때문에 경지내에서 작물의 장단점을 보완하여 경지환경을 개선하고 작물 생육증대 및 안정화를 피하기 위해서는 특징이 다른(인연이 먼) 작물의 조합이 절대적으로 필요하다. 이상적인 작물조합은 유기물 환원 및 양분수지의 특성이 다른 작물과 共通의 토양 병충해를 가지지 않는 작물을 결합하여 健全한 生育과 안정적인 수확을 확보하는 것을 목표로 하는데 기본적으로 화본과 작물을 중심으로 한 화본과-두과(엽채, 과채)-근채류(서류)의 윤작조합이 가장 합리적이다. 이는 유럽에서의 전형적인 윤작방식인 노오포크식 윤작형태와 아주 유사한 것으로 서양의 윤작이 윤작의 전형적인 형태인 노오포크식으로 발전하게 된 기본적 이유이기도 하다.

이와 같이 특성이 다른 작물의 조합에 따른 윤작의 효과를 요약한 것이 <그림 4>이다. 첫째, 환원가능한 유기물의 생산을 통한 토양유기물의 증가 및 근류에 의한 토양질소의 생산이다. 윤작의 구성시 화분과 작물과 같이 환원 가능한 유기물을 많이 생산하는 작물이 경지에 포함될 때는 토양유기물 함량이 증가하고, 두과작물과 같이 근류균에 의한 공중질소를 고정시키는 작물이 포함될 때는 토양질소의 함량이 증가한다. 또 토양내 유기물과 질소를 증가시키는 데는 탄소와 질소가 균형있게 필요하기 때문에 화분과와 두과의 조합이 필요하다. 둘째, 토양은 윤작에 의해 토양의 물리성 및 생물상을 개선하여 토양양분의 유효화를 증가시키고 근계를 발달시켜 토양에 존재하는 양분의 흡수능력을 증대시킨다. 화분과 작물 및 두과목초는 토양을 입단구조로 만들어 토양수분보유력을 증대시키고, 근채류 및 서류는 뿌리가 토양 깊게 분포되어 하층토의 물리성과 미생물상을 개량시킨다. 물리성과 미생물상의 개량은 토양양분의 유효도와 작물뿌리의 기능을 향상시켜 양분의 공급능력을 향상시킨다. 셋째, 작물은 윤작에 의해 양분수지상 균형이 이루어지고 염기밸런스가 유지된다. 작물은 작물별 양분흡수 특성이 다르기 때문에 양분흡수 특성이 다른 작물을 조합함으로써 양분 및 염류의 토양내 균형이 이루어지고 시비량을 절약할 수 있다. 두과작물과 엽·과채류와 같이 질소를 고정하고 시비량에 비해 양분흡수량이 적어 토양에 양분과 염류가 집적된 토양은 양분을 많이 흡수하는 화분과 작물(맥류, 옥수수, 사료작물)을 조합하는 것이 필요하다. 넷째, 윤작에 의해서 토양 병해충을 경감시킬 수 있다. 토양 병해충은 주로 토양 전염성 眞菌類나 線蟲이 대부분을 차지하고 있는데 선충은 선충의 寄主特異性에 의해 遠緣間의 작물윤작으로 감소시킬 수 있다. 또 토양병은 유기물의 공급으로 감소시킬 수 있는데 토양유기물이 풍부하면 토양미생물상이 다양해지고 토양의 C/N율이 증가하면 병원성 미생물의 營養源이 감소하므로 토양병해가 감소하는 경향을 보인다. 결론적으로 윤작에 의해 토양은 양분의 균형화 및 토양의 유기물, 양분의 공급능이 증가하고 토양의 물리성

및 미생물상의 개선에 따른 근권 및 뿌리활력의 증대와 토양병해충의 비율의 감소에 따라 작물의 건전화 및 안정적 수량의 증가를 기대할 수 있다. 화학비료의 증대, 토양개량자재의 개발, 농약의 발달 등에 의해 윤작을 경시하는 경향도 있지만 지력의 발현 및 토양미생물의 조절에 대한 윤작의 기능은 현대과학으로도 대체할 수 없으며 아직도 작물에 대해 좋은 환경을 조성하는 주요한 기술로 남아 있다.

〈표 3〉 작물의 특성(大久保, 1975)

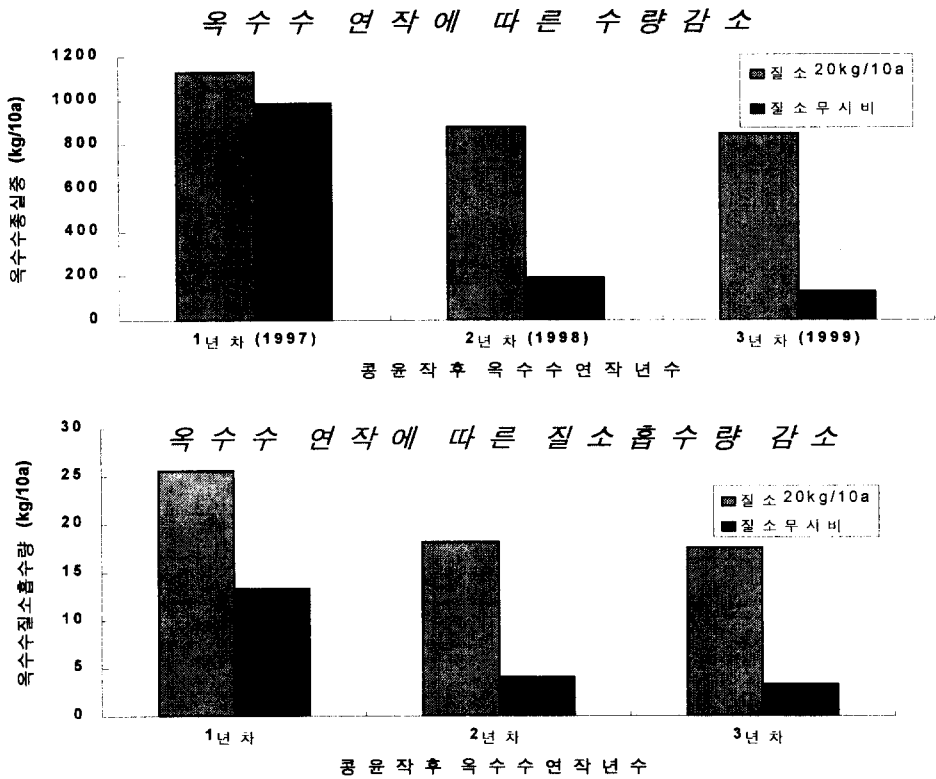
작 물	특 성
화 본 과	-양분수탈(특히 질소)이 심해 연작시 양분고갈 -건물(유기물)생산 및 토양환원유기물이 많음 → 토양구조개선, 토양양분조절, 토양미생물상의 개선
두 과	-공중질소고정에 의한 지력의 증진 → 토양에 유기물 및 질소공급효과 -강한 토양우점력 및 광엽형 초형에 따른 잡초억제 능력 큼 -연작에 의한 병충해(선충) 피해, 윤작시 앞작물의 영향이 큼
근 채 류	-뿌리의 심경효과 및 심토의 유기물 공급에 의한 토양하층의 개량효과 -연작장해에 비교적 강하고 앞작물의 영향이 적음 -양분중 가리의 흡수가 비교적 많음
엽채·과채류	-유기물생산이 적고 및 유기물의 탄질비가 낮음 -양분흡수량이 적어 토양에 양분축적(염류집적) -연작시 유기물 소모에 따른 토양물리성 악화 및 토양미생물상의 단순화에 따른 병해발생이 쉬움



〈그림 4〉 윤작의 효과

〈그림 5〉는 밭작물에서 두과작물인 콩에 대한 화본과 작물인 옥수수의 윤작효과 및 옥수수 연작시 수량감소를 작물시험장 포장에서 1997년부터 4년간 살펴 본 결과이다. 콩의 재배 후 년차간 옥수수의 수량변화를 보면 1년차는 질소표준시비구는 물론이고 질소무비구에서 2년차 및 3년차에 비해 종실수량이 약 700kg/ha 증가함을 알 수 있었고 연작 2년차 부터는 수량이 현저히 감소하였다. 옥수수의 질소흡수량의 변화를 보면 옥수수 연작 1년차의 표준질소시비구 및 무질소시비구에서 질소흡수량이 2년차 및 3년차 보다 약 10kg/10a 정도 증가하였다. 이는 앞작물 콩이 고정된 질소의 효과가 다음해의 옥수수에 아주 크게 나타나나 옥수수의 강한 흡비 특성 때문에 옥수수에 대한 콩의 윤작효과는 옥수수 연작 2년차 부터 현저히 감소함을 알 수 있었다. 따라서 미국에서 옥수수와 콩의 1년 윤작원리를 철저히 지키는 것도 위와 같은 이유가 있기 때문임을 알 수 있고 북한 등에서 옥수수의 수량의 감소는 화학비료의 부족뿐 만 아니라 오로지 옥수수(식량) 생산만을 위해 두과작물과 윤작을 하지 않는 것도 큰 이유라고 추측된다.

작물의 연작에 따른 피해가 가장 심한 곳은 채소의 연작재배지이다. 일본 및 한국의 부산원예시험장에서 보고된 바와 같이 연작의 이유로는 토양물리성이 악화되고 염류가 집적될 뿐만 아니라 미생물상의 단순화에 따른 토양전염병의 증가(표 5)와 기주식물의 연작에 따른 토양선충의 피해를 가장 대표적으로 들 수 있는데(표 4) 채소의 연작지에서는 채소작물만의 윤작으로는 그 토양병해의 연작장해를 경감하기는 어렵고 곡류작물 및 청정작물 도입, 유기물 투입, 담수제염 및 담전윤환 등의 윤작기술의 도입 없이는 그 효과를 얻을 수 없다. 곡류작물은 근권의 토양전염성 병원균의 주원인이 되는 곰팡이의 비율을 줄여 토양병의 발병률을 감소시키는 효과가 있다(표 6).



(그림 5) 콩의 윤작효과 및 옥수수 윤작시 수량감소(작물시험장, 1999)

(표 4) 채소작물의 윤작장해 요인별 구성비율(%)

요 인	한 국 ('89원시 부산지장)	일 본 (농립수산부)	일 본 (야채시험장)
병 해	35	35	59.9
공기전염성 병해	-	-	4.2
선 충	7	16	6.1
미량요소 결핍	-	12	6.0
토양산도	-	7	0.8
물리성 악화	-	5	3.4
염류집적	31	5	3.3
온도장해	14	-	-
생리장해	-	-	2.6
가스장해	2	-	-
기 타	1	3	3.2
불 명	-	18	2.2

〈표 5〉 연작시 문제가 되는 주요 작물의 토양전염성 병해

작 물	주 요 토 양 병
참 깨	풋마름병, 시들음병, 역병, 잘록병
인 삼	무름병, 뿌리썩음병, 균핵병, 역병, 잘록병
감 자	둘레썩음병, 무름병, 검은무늬썩음병
담 배	세균성마름병, 역병, 잘록병, 균핵병
배 추	무름병, 뿌리마름병, 밑동썩음병, 균핵병
오이, 수박	세균성시들음병, 덩굴썩김병, 잘록병, 역병, 균핵병
토 마 토	무름병, 풋마름병, 시들음병, 역병,
고 추	풋마름병, 역병, 시들음병, 잘록병
마늘, 양파	무름병, 균핵병, 시들음병, 잘록병
딸 기	시들음병(위황병), 눈마름병
생 강	세균성썩음병(부패병), 뿌리썩음병
구 근 류	뿌리썩음병, 줄기썩음병, 무름병

〈표 6〉 작물 종류에 따른 토양미생물의 변화('89, 농업과학원)

미생물종류	휴 한	벼	콩	감자↔배추
세 균($\times 10^6$)	10.2	11.0	23.5	9.5
방선균($\times 10^6$)	3.3	2.0	7.5	3.4
진 균($\times 10^6$)	11.4	4.6	10.8	23.6
세균/곰팡이(비)	179	354	386	165

작물윤작기술의 저자이신 大久保씨는 밭에서의 윤작은 논에서의 물에 필적하는 효과를 가진다고 하였는데 〈표 7〉에서 보는 바와 같이 밭의 윤작 및 논외의 물은 토양양분균형화, 토양독성물질의 해소, 토양물리성 개선, 병해충 및 잡초 경감 등에서 동일한 효과를 기대할 수 있는데 논외의 물에 의한 양분공급능력의 증가 및 염류 집적방지, 토양기질물질의 제거, 토양병해충 및 잡초의 억제 등에 의해 논에서 벼의 연작이 가능한 것과 같이 밭의 윤작은 밭작물의 연속적인 재배를 가능케 한다.

그러나 논외의 지속적인 담수상태에서 벼를 집약적으로 재배하면 벼도 연작피해를 받

는데 국제미작연구소에서 1960년대 초반부터 1990년까지 장기 연용시험에 의하면 수량이 연간 5~10kg/10a 썩 벼의 수량이 감소하였다(표 8). 밝혀진 원인으로는 담수환원 상태에서 벗짚 및 뿌리의 분해시 발생하는 독성물질(폐놀성 물질)이 토양의 유기물에 집적되고 이 폐놀물질이 미생물의 유기물의 분해에 따른 질소의 무기화를 억제할 뿐만 아니라 시비한 질소성분을 흡착하기 때문인 것으로 나타났다. 그러나 연속적인 담수상태의 논을 일시적으로 물을 말리거나 밭으로 환원했을 때 연작장해가 해소되었는데 우리나라와 같이 겨울철을 전후로 논의 물을 빼는 상태에서는 큰 문제가 되지 않지만 배수 불량한 습지에서는 벼의 연작장해가 발생할 우려가 있어 물관리에 유의할 필요가 있으며 벼에 대해서도 답전윤환(윤작)이 필요함을 알 수 있다.

우리나라는 경지면적 중 밭보다 논의 면적이 많기 때문에 작물윤작을 생각할 때 벼와 밭작물의 답전윤환 재배를 생각하지 않을 수 없다. 1970년대 까지만 해도 식량증산의 목적으로 동계에 맥류를 많이 재배하였지만 현재에는 맥류보다 소득성이 높은 특용작물 및 채소류를 벼 전후작으로 많이 심든지 아예 논을 시설재배지로 바꾸어 채소작물을 연작하는 양상을 띄고 있는데 논에서의 채소재배에서도 채소연작을 회피하기 위하여 벼(특히 수도재배)와의 윤작(답전윤환)이 필요하며 일부 농가에서는 수도는 수확을 위해서 보다는 동계 시설내의 채소연작피해를 줄이기 위해 일부로 재배하기도 한다. 이때의 윤작의 효과는 화본과 작물(벼)의 재배에 의한 윤작효과보다 담수에 의한 토양상태의 전반적 변화에 따른 그 윤작효과(답전윤환 효과)가 현저히 크게 된다. 논을 밭으로 전환하여 사용할 경우에는 벼는 3년 채소는 2년 윤작(답전윤환)하는 것이 이상적이다(그림 6). 토양을 논 또는 밭으로 윤환하면 토양의 성격이 현저히 바뀌고 윤작효과가 아주 커지는데 토양의 담수조건에 따라 토양의 병해충 및 선충 그리고 잡초의 비율(표 10)이 감소될 뿐만 아니라 유기물의 소모를 억제하여 양분의 유실을 억제하며 토양에 철과 알루미늄 등에 부착된 인산을 토양의 환원조건에서 유효화시키는 장점이 있으며 반대로 밭으로 환원하면 토양의 물리성이 현저히 좋아지고 논상태에서 축적된 지력을 바탕으로 밭작물의 증산 및 시비량의 절약이 가능하다(표 9).

〈표 7〉 밭의 윤작효과 및 논의 물의 효과 비교

효 과	윤 작 효 과 (밭)	물의 효과 (논)
토양양분	-윤작에 의한 양분공급능력 증가 (윤작효과) -윤작에 의한 양분의 균형화 -토양양분(염류)집적방지: 화본과 -토양유기물 유지: 화본과 -토양질소생산: 두과 -토양미생물 증가에 따른 뿌리의 활력증가 및 인산흡수능 증가	-관개수에 의한 양분공급능력증가 -물에 의한 양분농도의 균일화 -유거수에 의한 염류의 제거 -담수에 의한 토양비옥도(유기물, 지력질소) 유지 -담수에 의한 토양인산의 이용효율 증대
토 양 독성물질	-작물다양화에 따른 토양기질물질의 생성억제 및 해독	-담수에 의한 독성물질제거
토 양 물 리 성	-윤작에 토양 易耕性 증대	-물에 의한 토양의 굳어짐 방지, 씨레질 및 중경제초작업 용이
병 해 충	-식물기주 및 미생물상의 다양화에 의한 충(선충) 및 병의 발생억제	-담수에 따른 충(선충) 및 병의 발생억제
잡 초	-재배작물의 다양화에 의한 잡초의 발생억제	-담수조건에 따른 잡초초종의 감소
환경보전	-질소 및 인의 유출억제	-토양환원에 따른 질소의 정화

〈표 8〉 논의 집약적인 담수 재배상태에서 벼의 수량감소(Cassman, 1995)

실험 / 장소	기 간	작 기	수량경향 (kg/10a/year)	
			Zero N 또는 -NPK	+N 또는 full NPK
LTFE/IRRI	1964-91	건 기	-6	-10
		우 기	-6	NS
LTFE/PRRI	1968-91	건 기	-5	NS
		우 기	-5	-7
LTFE/BRIARC	1968-91	건 기	NS	NS
		우 기	NS	NS
LTCCE/IRRI	1968-91	건 기	-13	-13
		이른우기	-10	-7
		늦은우기	-7	-7

는데 국제미작연구소에서 1960년대 초반부터 1990년까지 장기 연용시험에 의하면 수량이 연간 5~10kg/10a 썩 벼의 수량이 감소하였다(표 8). 밝혀진 원인으로는 담수환원 상태에서 벗짚 및 뿌리의 분해시 발생하는 독성물질(폐놀성 물질)이 토양의 유기물에 집적되고 이 폐놀물질이 미생물의 유기물의 분해에 따른 질소의 무기화를 억제할 뿐만 아니라 시비한 질소성분을 흡착하기 때문인 것으로 나타났다. 그러나 연속적인 담수상태의 논을 일시적으로 물을 말리거나 밭으로 환원했을 때 연작장해가 해소되었는데 우리나라와 같이 겨울철을 전후로 논의 물을 빼는 상태에서는 큰 문제가 되지 않지만 배수 불량한 습지에서는 벼의 연작장해가 발생할 우려가 있어 물관리에 유의할 필요가 있으며 벼에 대해서도 답전윤환(윤작)이 필요함을 알 수 있다.

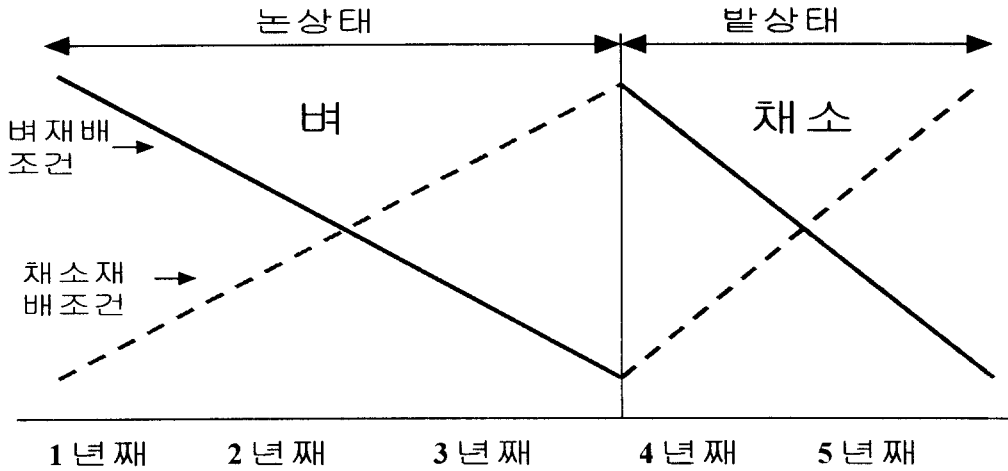
우리나라는 경지면적 중 밭보다 논의 면적이 많기 때문에 작물윤작을 생각할 때 벼와 밭작물의 답전윤환 재배를 생각하지 않을 수 없다. 1970년대 까지만 해도 식량증산의 목적으로 동계에 맥류를 많이 재배하였지만 현재에는 맥류보다 소득성이 높은 특용작물 및 채소류를 벼 전후작으로 많이 심든지 아예 논을 시설재배지로 바꾸어 채소작물을 연작하는 양상을 띄고 있는데 논에서의 채소재배에서도 채소연작을 회피하기 위하여 벼(특히 수도재배)와의 윤작(답전윤환)이 필요하며 일부 농가에서는 수도는 수확을 위해서 보다는 동계 시설내의 채소연작피해를 줄이기 위해 일부로 재배하기도 한다. 이때의 윤작의 효과는 화분과 작물(벼)의 재배에 의한 윤작효과보다 담수에 의한 토양상태의 전반적 변화에 따른 그 윤작효과(답전윤환 효과)가 현저히 크게 된다. 논을 밭으로 전환하여 사용할 경우에는 벼는 3년 채소는 2년 윤작(답전윤환)하는 것이 이상적이다(그림 6). 토양을 논 또는 밭으로 윤환하면 토양의 성격이 현저히 바뀌고 윤작효과가 아주 커지는데 토양의 담수조건에 따라 토양의 병해충 및 선충 그리고 잡초의 비율(표 10)이 감소될 뿐만 아니라 유기물의 소모를 억제하여 양분의 유실을 억제하며 토양에 철과 알루미늄 등에 부착된 인산을 토양의 환원조건에서 유효화시키는 장점이 있으며 반대로 밭으로 환원하면 토양의 물리성이 현저히 좋아지고 논상태에서 축적된 지력을 바탕으로 밭작물의 증산 및 시비량의 절약이 가능하다(표 9).

〈표 7〉 밭의 윤작효과 및 논의 물의 효과 비교

효 과	윤 작 효 과 (밭)	물 의 효 과 (논)
토양양분	-윤작에 의한 양분공급능력 증가 (윤작효과) -윤작에 의한 양분의 균형화 -토양양분(염류)집적방지 : 화본과 -토양유기물 유지 : 화본과 -토양질소생산 : 두과 -토양미생물 증가에 따른 뿌리의 활력증가 및 인산흡수능 증가	-관개수에 의한 양분공급능력증가 -물에 의한 양분농도의 균일화 -유거수에 의한 염류의 제거 -담수에 의한 토양비옥도(유기물, 지력질소) 유지 -담수에 의한 토양인산의 이용효율 증대
토 양 독성물질	-작물다양화에 따른 토양기질물질의 생성억제 및 해독	-담수에 의한 독성물질제거
토 양 물 리 성	-윤작에 토양 易耕性 증대	-물에 의한 토양의 굳어짐 방지, 씨레질 및 중경제초작업 용이
병 해 충	-식물기주 및 미생물상의 다양화에 의한 충(선충) 및 병의 발생억제	-담수에 따른 충(선충) 및 병의 발생억제
잡 초	-재배작물의 다양화에 의한 잡초의 발생억제	-담수조건에 따른 잡초초종의 감소
환경보전	-질소 및 인의 유출억제	-토양환원에 따른 질소의 정화

〈표 8〉 논의 집약적인 담수 재배상태에서 벼의 수량감소(Cassman, 1995)

실험 / 장소	기 간	작 기	수량경향 (kg/10a/year)	
			Zero N 또는 -NPK	+N 또는 full NPK
LTFE/IRRI	1964-91	건 기	-6	-10
		우 기	-6	NS
LTFE/PRRI	1968-91	건 기	-5	NS
		우 기	-5	-7
LTFE/BRIARC	1968-91	건 기	NS	NS
		우 기	NS	NS
LTCCE/IRRI	1968-91	건 기	-13	-13
		이른우기	-10	-7
		늦은우기	-7	-7



〈그림 6〉 답전윤환시 토양의 활력곡선(武川滿夫, 1981)

〈표 9〉 답전윤환에 따른 토양변화

토양성격	논 ◀-----▶ 밭	논 ◀-----▶ 밭
물리성	저하 ◀-----▶ 양호	입 단: 분산 ↔ 형성 통기, 투수성: 小 ↔ 大 加水性: 大 ↔ 小
생물성	단순 ◀-----▶ 다양	미생물상: 小 ↔ 大 선 충: 小 ↔ 大 잡 초: 小 ↔ 大
화학적 (비옥도)	양호 ◀-----▶ 저하	유기물소모: 小 ↔ 大 양 분: 집적 ↔ 유실 인산유효화: 大 ↔ 小 pH: 상승 ↔ 저하

〈표 10〉 논과 밭의 잡초발생량(1994, 김동수)

잡 초 종	잡초건물중(kg/10a)	
	논 (답 수)	밭 상 태
습, 수생잡초	960	427
건 생 잡 초	117	5,994
계	1,077	6,441

4. 현대농업의 윤작기술 이용

1) 유기 및 환경농업 기술로서의 윤작기술

근대농업과 같이 에너지의 흐름이 개방된 농업생태계에서는 생산된 농산물의 경지생태계 밖으로의 유출과 다시 토양에 환원되는 농산부산물 및 유기물의 감소에 따라 토양내의 양분은 소모되고 그 부족분을 농약과 비료 등 화석에너지로 대체하게 된다. 따라서 토양에 양분을 공급하고 토양미생물이 살아가는 원천인 토양유기물이 감소하고, 병충해의 증가에 따른 농약과 화학비료의 과용과 염류 및 중금속의 토양내 집적에 따라 경지의 환경부하는 가중된다. 이 때문에 선진농업각국은 농업의 지속적 생산에 관심을 두게 되어 미국은 저투입지속농업(LISA), 일본과 유럽 등 농업선진국은 환경보전형 농업, 생태계 조화형농업, 유기농업 등의 새로운 개념의 농업방식을 추구하게 되었다. 농업정책도 환경보전형으로 전환하여 유럽공동체는 생산투입재의 과세, 집약적 농지이용의 규제, 환경보전적 토지이용의 조성, 농약 및 비료 등의 생산자재의 시용을 행정적으로 규제하고 있는 추세이다.

이런 생태적 지속농업방식은 지역적 자연자원을 적극적으로 이용하고 자연생태계에 인위적인 자원을 투입하여 형성된 농업생태계의 폐쇄적 물질순환방식을 회복하면서 농업생태계 내외의 물질순환을 적정화하고자 하는데 있다. 토양의 지력을 유지하고 최대한 에너지의 유출없이 지속적으로 농업을 유지하고자 하는 폐쇄적 순환 농업에서는 그 첫째의 조건으로 농가 및 지역의 자원(특히 유기자원)을 최대한 효율적으로 이용하고자 한다(표 11). 전통적인 농업에서는 윤작 및 구비 등을 주축으로 한 경지내 순환을 위주로 한 폐쇄적 농업이 주축이었지만 현대와 같이 산업과 교통이 발달하고 농업자체도 전문화되어 가는 상황에서는 지속적 농업을 위한 유기적 자원의 확보를 위해서는 농가간, 지역내 및 지역간의 유기자원의 상호교환 및

복합농업을 새롭게 구축할 필요가 있다. 또 환경보전형 농업에서 지향하는 기술은 퇴비 및 유기질 비료, 녹비작물의 환원, 생태계에 잘 적응된 재래의 품종이용, 양분공급과 병해충 방제를 위해 윤작과 간작, 경지에 부하를 주지 않는 양분 및 유기물의 폐쇄적 순환 이용, 비료의 효율적 시비 등 순환적 세계관에 기반을 둔 재래적 농업의 현대화된 기술이라고 할 수 있다.

이런 새로운 개념의 농업에서 기술의 주축을 이루는 것은 토양에의 유기물시용과 윤작기술의 도입이다. 채소연작 및 시설재배지 등에는 토양자재, 화학비료 및 농약의 다량 시용 그리고 작물의 단작 및 연작에 따른 염류집적 및 병해충 발생 등의 연작장해에 따라 윤작기술의 도입이 절실히 요청되고 있으며, 일부 유기농업 농가에서도 토지생산력 유지를 위해 저질의 퇴비 및 가축분뇨 및 인산비료 등을 다량 투입하여 경지에 양분을 집적시키고 있어 윤작을 이용한 양분조절이 필요하게 되었다.

〈표 11〉 순환농업의 유형과 방법(保田 茂, 1989)

순환유형	Subsystem	농 법	농업형태
농가내 순환	경지내 순환	- 벧짚환원, 녹비환원 - 윤작, 혼작, 공영식물 - 천적, 미생물제	개별복합 농업
	작목간 순환	- 구 비 - 답전윤환	
	농가생활내 순환	- 가정잔사, 분뇨	
지역내 순환	경지-비경지간 순환	- 산야초, 개토 - 방목과 휴한지의 윤환 - 산림과 나무의 이용	지역복합 농업
	농가간 순환	- 구비-벧짚, 왕겨의 교환	
지역간 순환	농업지역간 순환	- 경종-축산부문의 교환	지역간 복합 및 순환농업
	농공간 순환	- 유기성 폐기물의 퇴비화 - 톱밥, 수피의 이용	
	농촌도시간 순환	- 음식물쓰레기의 퇴비화	

우리나라의 '60년대에서 '90년 후반까지 경지이용면적의 변화를 보면(표 12) 논에서 벼 재배면적이 다소 감소한 반면 논외 시설재배에 의한 원예작물의 재배면적이 증가하였고 밭에서는 식량생산을 위한 일반 밭작물(맥류, 두류, 서류, 잡곡)의 면적이 현저히 감소한 반면 상대적으로 소득이 높은 특용작물, 채소, 과수의 재배면적이 현저히 증가하여 우리나라의 식량의 자급율이 현저히 감소하였을 뿐만 아니라 원예작물의 다량생산에 의한 과잉공급이 문제가 되고 있으며, 특히 채소 중에는 고추, 마늘, 파, 양파 등 조미채소가 전체 밭면적에서 약 20%를 차지하여 밭 작부체계상 정책적으로 조정할 필요성이 많음을 알 수 있다. 특히 윤작기술의 측면에서 지력유지를 위해 꼭 필요한 화본과 곡류작물(맥류, 잡곡), 두과 곡류작물, 뿌리작물(서류) 등의 감소와 양분흡수능력과 유기물의 공급이 적은 채소류의 연작은 토양염류집적 및 양분유출, 토양병해충 및 선충의 다발 등으로 인한 과다농약 사용으로 인한 농작물의 오염 등의 심각한 국민건강 및 환경문제를 일으키고 있다. 그러나 우리나라의 경우 워낙 경지면적이 좁아 소득성이 높지 않은 밭작물의 윤작재배 및 합리적 작부체계를 농민에게 강요할 수는 없고 환경농업, 식량확보의 측면에서 국가가 농업정책상으로 해결해야 할 사안으로 보인다.

윤작장해의 경감을 위한 대책으로서는 病蟲害防除와 肥培管理의 개선을 들 수 있는데, 병충해방제는 遠緣간의 작물 윤작을 통해 병의 발생을 경감시키는 대책을 말하고, 비배관리는 유기물을 많이 경지에 환원함으로써 양분의 밸런스를 맞추고 토양의 미생물상을 다양하게 만들어 양분공급과 토양병해의 발생을 억제시키는 地力管理를 말한다. 일본농림수산성에서 조사한 농민의 채소윤작장해(병해, 염류제거) 회피기술(표 13)로서는 토양소독의 비율이 가장 높지만 유기물투입 및 답전유환 등 윤작기술의 원리를 이용한 기술도 상당수 보인다. <표 14>는 시설채소 토양에서의 토양의 윤작기술의 원리를 이용한 환경농업 기술을 나타낸 것이다. 토양화학성 개선기술로서는 옥수수, 수단그래스, 호밀 등 cleaning crop의 재배, 담수 및 장마철 비닐피복제거, 수피, 톱밥 및 왕겨 등 거친 유기물의 공급, 두과녹비에 의한 화학

질소비료 대체, 토양검정에 의한 적정시비 등 양분(염류) 집적예방에 주안점이 둔 기술(윤작에서 화분과작물 및 두과작물의 역할)을 들 수 있고, 토양물리성 개선기술로는 심경, 객토, 심토 벗짚 및 폐목 매설 등 하층토의 개선기술(윤작에서 뿌리작물의 역할), 토양미생물성 개선기술로서는 토양미생물상의 개선에 따른 병해방제를 위한 태양열소독, 유기물공급, 미생물제재 및 목초액시용 등의 기술을 들 수 있다. 연작피해가 심한 노지 채소작물(배추, 고추 등) 및 특용작물(참깨 등)에서는 재배시에는 채소의 비작기에 토양물리성 및 미생물상의 개선을 위해 호밀, 연맥 등 화분과 녹비작물과 토양유기물 및 질소비료절감을 위한 헤어리베치 등 두과 녹비작물의 재배의 윤작(단기윤작)기술 등도 현대적 환경농업의 윤작기술이라고 할 수 있으며 앞으로 확대 보급되어야 할 것이다.

〈표 12〉 우리나라 경지이용 면적의 추이(천ha, 농림수산부)

년 도	벼	맥 류	두 류	서 류	잡곡	특 작	채 소	과 수	시 설
1965	1228	932	365	213	215	61	151	43	-
1970	1203	835	365	181	123	89	254	60	-
1975	1218	761	324	146	73	118	244	74	-
1980	1233	360	244	92	53	118	359	99	-
1985	1237	242	196	65	40	133	337	109	26
1990	1244	160	188	40	37	130	277	132	45
1995	1056	90	132	40	28	122	322	172	92
1997	1052	70	122	40	30	108	285	174	92

〈표 13〉 채소연작장해에 대한 일본의 구체적 대응책(일본 농림수산부 조사)

대 책	비 율 (%)	대 책	비 율 (%)
토양소독	24.0	답전윤환	8.1
미량요소 사용	15.9	윤 작	-
적정시비	-	약제살포	-
유기물 투입	10.8	심 경	7.1
다 비	10.8	담수제염	6.8
내병성 대목/품종	8.4	기 타	6.4

〈표 14〉 시설채소 토양의 윤작기술 원용 사례

토양관리	토양 화학성	토양물리성	토양미생물상
윤작기술 원용사례	- 청정작물재배(옥수수, 수단그라스, 호밀 등) - 담수, 장마철비닐피복제거 - 거친유기물(수피톱밥퇴비, 왕겨) 및 양질퇴비 - 두과녹비 재배 - 액비 및 가축발효퇴비 소량 시비, 토양검정 및 적정시비	- 심경 - 심토반전, 심토 파쇄, 객토 - 암거배수 - 심토 벗짚 및 폐목매설 - 고휴재배	- 태양열소독 - 유기물공급(벗짚, 녹비) - 미생물제재(광합성세균, 유산균) - 목초액 사용

2) 녹비작물의 단기윤작 재배

다음은 현대 환경농업의 윤작기술의 하나로 동계 두과작물인 헤어리베치와 하계 화분과 옥수수를 조합한 단기윤작 재배기술에 대해 간단히 소개하고자 한다. 동계 헤어리베치는 하계의 벼, 옥수수, 참깨와 원예작물로서 노지의 배추, 고추, 토마토 등과 또 시설채소작물과 결합할 수 있는 작물로 헤어리베치의 유기물 및 질소의 뛰어난 생산능력에 따라 녹비로 이용시 윤작의 효과를 상당히 볼 수 있다. 특히 비작기에 경지에서 생산된 녹비작물의 토양환원은 우선 중금속에 오염되지 않는 깨끗한 유기물과 질소에 의해 토양병해를 억제하고 무화학 질소비료 작물재배도 가능하여 화학비료 무사용, 토양 및 작물의 중금속 및 농약오염을 방지하고자 하는 유기농업 농가에서는 헤어리베치의 녹비재배는 절대적으로 필요하다.

헤어리베치는 일명 winter vetch, Siberian vetch 등이 나타내어 주듯이 내한성이 강하여 대관령 등의 혹한지에서도 월동이 가능하며 일제시대에 우리나라의 함경도 지방에서도 재배되었다는 보고가 있다. 또 다른 두과 녹비작물에 비해 질소함량이 현저히 높아(N 4%, C:N을 10) 토양 투입 후 쉽게 분해되고, 녹비의 토양 혼입시에 기계에 의해 식물체가 잘 절단되어 녹비의 토양 혼입작업이 쉬운 등 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그러나 헤어리베치는 일명 sand vetch라고 하여 잘 자라

는 곳은 배수가 양호한 사질양토이며 물빠짐이 안 좋은 점질의 논 토양에서는 생육이 불량한 단점을 가지고 있다. 헤어리베치는 질소생산능력이 뛰어나 9월 상중순 파종으로 월동 후 4월 하순에 건물중 500~600kg/10a, 질소 20~24kg/10a 상당량을 생산할 수 있어 녹비로 이용시 뒷작물에 필요한 대부분의 질소를 공급할 수 있고, 그 녹비질소는 질소화학비료와 달리 토양의 지력을 (토양미생물, 전탄소, 전질소, 유효태 유기질소)를 증가시킬 뿐만 아니라(표 16) 토양에서의 질소 유실량을 줄일 수 있어 환경농업의 기초가 될 수 있다. 또한 헤어리베치는 질소와 칼리의 함량이 높기 때문에 인산함량이 높은 가축분뇨(표 17)와 조합하여 작물에 시비하면 무화학비료 작물재배도 가능하다. 또 헤어리베치가 유기물 형태로 공급되기 때문에 녹비의 토양 혼화 후 토양미생물이 현저히 증가하여 헤어리베치의 녹비질소 중 토양미생물태로 유기화된 질소의 비율이 증가하는데 이 토양미생물태 질소의 증가는 토양에 투입된 질소의 유실을 현저히 감소시키고 토양의 작물에 대한 가급적인 질소의 유기태 질소를 증가시키는 효과가 있다. 이렇게 증가된 미생물상의 증가에 따라 토양병의 발생도 적어진다.

헤어리베치 녹비의 옥수수에 대한 수량의 증가 및 질소흡수량을 질소비료와 비교하여 본 작물시험장의 시험결과에 의하면 질소비료를 무시용한 순수 헤어리베치 녹비만으로 질소비료(요소)의 질소 160kg/ha에 해당하는 수량 및 질소흡수량의 증가, 질소시비량의 절감효과가 나타나(그림 7) 장기적 측면에서 녹비의 토양유기물 공급 등 지력증진 효과적인 면을 제외하고 오로지 옥수수에 대한 무기태 질소의 공급측면에만 비교하여도 일반 화학질소비료 재배와 경쟁력이 있다고 할 수 있다. 이와 같이 질소의 생산력과 화학질소비료 대체능력이 뛰어난 헤어리베치를 이용할 때 화학비료를 전혀 사용하지 않는 유기농업에서의 질소양분의 공급문제가 해결되며 특히 농업직불제의 환경농업에서 가장 유망한 재배 및 시비기술로 기대된다.

〈표 15〉 단기윤작 녹비작물로서의 헤어리베치의 특성 및 이용

구 분	내 용
작물특성	일년생 월동 두과작물, 내한성 강함(Siberian vetch), 질소고정능력 높음 (질소함량 : 4%, C/N : 10), 경운시 cutting 쉬움
이용방법	사료작물, 녹비작물, 피복작물, 초생작물
윤작체계	하계화분과(벼, 옥수수, 수수), 특용작물(참깨, 들깨), 원예작물(배추, 고추, 토마토, 감자), 시설원예작물, 과수와 혼작,
토양효과	지력증진(유기태 및 가급태질소, 인산흡수), 질소비료의 절감, 잡초방지, 토양유실방지, 토양수분조절, 토양생물상의 증가
재배조건	사질양토(일명 Sand vetch), 밭 > 논
재배면적	2만ha(1950년대)

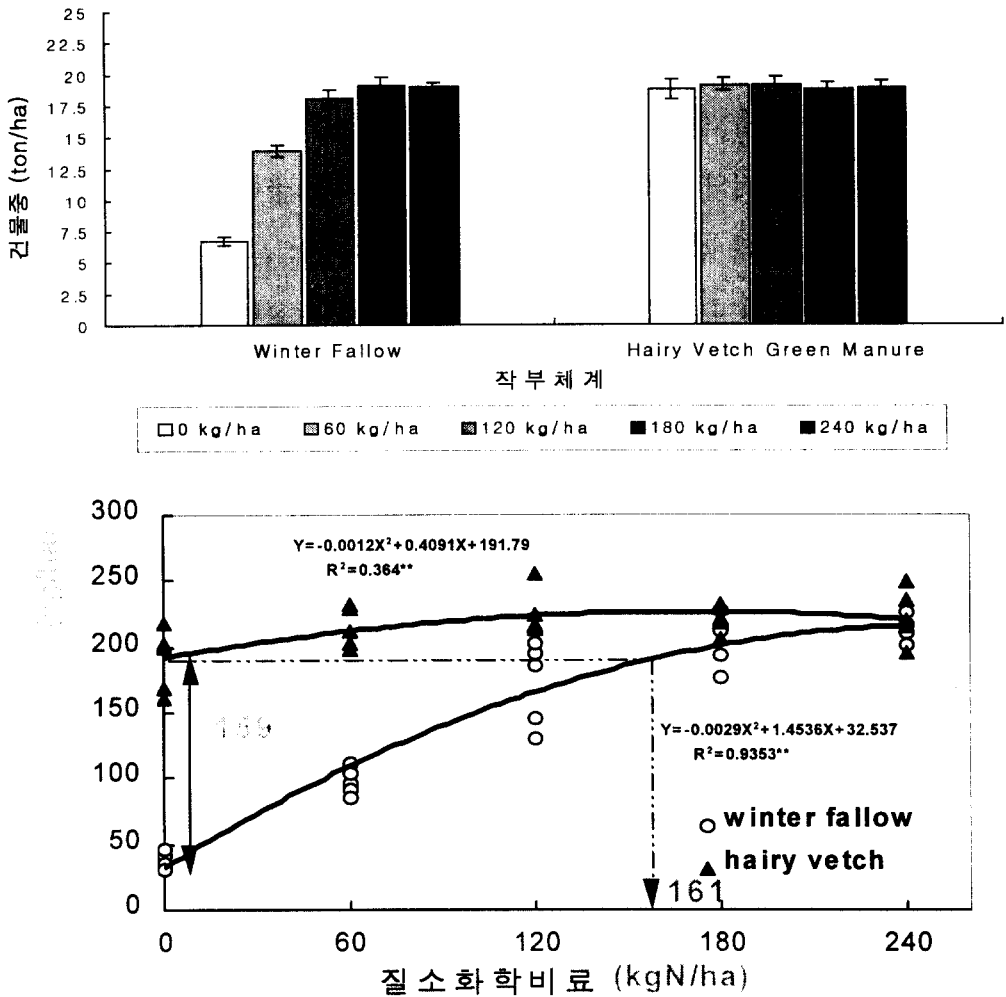
〈표 16〉 헤어리베치녹비 3년 재배에 의한 토양지력 변화(1999, 작물시험장)

질 소 원	가밀도 (g/cm ³)	전 탄 소	전 질 소	C : N 율	미생물태질소	가급태질소
		--- mg/kg ---	--- mg/kg ---		--- mg/kg ---	
헤어리베치	1.44	9124	862	10.7	30	21
질소비료	1.47	8355	786	10.6	13	11

〈표 17〉 헤어리베치 및 가축분뇨의 양분함량(건물) 비교(농업과학기술원, 1999)

(단위 : %)

양 분	헤어리베치	가 축 분 뇨			
		계 분	돈 분	우 분	가축분퇴비
질 소	4.0	1.73	0.90	0.41	1.01
인 산	1.0	1.65	1.49	0.56	2.03
칼 리	2.3	0.47	0.19	0.09	0.65



(그림 7) 헤어리베치의 녹비의 옥수수 수량증가 및 질소비료 절감효과(1998, 작물시험장)

5. 결 론

서구의 전형적인 노오포크식 윤작은 유기물 환원 및 양분수지의 특성이 다른 작물, 공통의 토양병해충을 가지지 않는 작물결합의 화분과-두과(엽채·과채)-근채류의 기본으로 하여 발전하여 왔다. 그러나 전통적인 농업과 같이 생존을 위하여

복합적 농업에 기반을 두는 식량생산의 농업에서 현대와 같이 시장을 매개로 한 수익적 전문산업으로 농업구조 및 개념자체가 변함에 따라 농업도 생존하기 위해서 작부체계 및 윤작방법을 현대에 맞게 변형 적용시킬 필요성이 대두되었다. 그러나 현재의 식량작물의 면적의 감소와 고소득의 경제작물(채소중심)의 재배면적의 증가는 국가의 식량자급율의 감소와 과잉생산에 따른 가격하락 그리고 전전치 못한 농산물의 생산 등 여러가지 면에서 부작용을 노정하기에 이르렀다. 따라서 국가 및 환경농업단체는 국가의 식량증산 및 환경농업을 위해서는 정책적으로 식량작물의 도입과 식량작물 도입에 따른 윤작체계의 재확립이 꼭 필요하다는 것을 강조하여야 한다.

우리나라는 전체 농경지에서 논이 면적비율이 높으므로 논이 기반정비에 따라 관배수가 자유롭게 하여 시대의 흐름에 따라 논을 자유롭게 밭으로 전환할 수 있게 하여 벼와 밭작물(채소작물) 또는 사료작물의 건전한 답전윤환 생산이 이루어지도록 해야 할 것이다. 특히 논이 시설재배에서 염류제거 및 병해충의 연작장해를 없애기 위하여 화분과 청정작물을 도입하든지 하계에 담수 벼를 재배하는 것이 꼭 필요하다. 밭에서도 채소 및 두과작물과 같이 연작장해를 받기 쉬운 작물은 동계에 맥류와 단기 윤작하든지, 맥류를 녹비로 이용하여 포장 자체에서 유기물을 생산하고 토양병해 및 잡초를 방제하는 것이 좋을 것이다.

우리나라와 같이 경지가 한정되어 경지간 이동 및 연간 교호에 따른 작물윤작이 어려운 곳에서는 주작물의 비작기에 화분과 및 두과의 녹비작물을 생산하여 윤작효과가 최대한으로 발휘될 수 있는 대체기술의 개발과 지금 유기농업의 유기자원 및 토양개량 물질, 미생물제재 이용기술도 윤작의 원리에 기반을 둔 대체기술로의 개발유도가 필요하다. 작물양분의 공급과 경지에서의 균형을 위해 질소는 두과녹비의 환원과 작물잔사의 경지환원, 가축사양에 의한 구비 및 퇴비의 포장환원에 의한 유기질소의 무기화를 기본으로 하고, 윤작 및 작부체계간 잔류양분을 이용한다. 인산

과 가리는 지금까지 토양에 축적되어 식물의 흡수에 따라 토양입자간 양분평형에 의해 치환되는 부분과 가축분뇨 및 유기물의 무기화 및 무기물에 의존하는 방향으로 기술을 개발할 필요가 있으며, 간단한 토양진단 및 분석시설은 이를 위해 기본적으로 갖추어져야 할 것이다.

윤작 및 윤작의 원리를 현대농업에 맞게 재구성한 영농기술의 개발은 앞으로 환경농업 및 유기농업에서 절실히 요구될 것이며, 따라서 이 새로운 농법에 대한 지도와 적응시험은 확대되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 金榮鎭. 1985. 農書를 통하여 본 朝鮮時代 主要作物의 作付體系. 農村經濟 8 : 69~89.
2. 農林中金研究センター. 環境保全型農業の展望. 1989. 農文協.
3. 농림부. 1999. 농업관련 주요통계.
4. 농진청 농업과학기술원. 1999. 가축분뇨 퇴비·액비제조와 이용.
5. 농진청 농업과학기술원. 1999. 환경보전형농업기술.
6. 농진청 표준영농교본-88, 시설재배지 연작장해대응기술.
7. 농촌진흥청 농업기술연구소. 1994. 유기농업의 현황 및 발전방향에 관한 심포지움.
8. 閔成基. 1988. 朝鮮後期 旱田輪作農法の 展開, 朝鮮農業史研究. pp.169~177. 一潮閣.
9. 서종호. 2000. 헤어리베치 녹비사용에 따른 토양질소 증진 및 후작옥수수의 질소비료 절감연구. 서울대학교 박사학위 논문.

10. 大久保 隆弘(서종호 역). 1995. 작물윤작기술론. 광일문화사.
11. 채제천. 1999. 우리나라의 작부체계의 변천과 발전방향. '99 농업과학기술 학술회의, 환경친화형 농경지 고도이용기술. pp.145~171.
12. K.G Cassman et al. 1995. Yield decline and the nitrogen economy of long-term experiments on continuous, irrigated rice systems in the tropics. *Advances in Soil Science*. 181-222.
13. 武川滿夫 등. 1981. 現代農法百科. 富民協會.
14. 함영수. 1974. 식량증산을 위한 작부체계개선방안. 작부체계개선강습회의자료, pp.189~240. 농촌진흥청.