



농약 비료에 의존하는 다수확 중심의 농업에서 탈피하여 지속적인 친환경농업의 실천을 위해 농산부산물과 생태적 특성을 활용하여 잡초를 방제하면서도 관행농업에 떨어지지 않는 수량 확보에 성공한 일본 유기 벼 재배기술을 소개하고자 한다. 유기 벼 재배기술이 농업생태계 내 생물다양성 증진을 위한 이해가 한층 깊어지고, 환경보전에 도움이 되기를 기대한다.

- 최종편집 : 2017년 8월
- 수정이력 : 유기농기술지09(2017.8.30.)
- 집필자 : 박광래, 이상범, 홍승길, 이초룡, 안민실
- 편집위원 : 이상범, 고병구, 이초룡, 최현경, 유준재
- 주소 : 전라북도 완주군 이서면 농생명로166
국립농업과학원 유기농업과
- 전화번호 : 063-238-2575

-- 목 차 --

논 생물을 활용한 유기 벼 재배	1
가. 제초제를 사용하지 않는 벼 재배기술	1
나. 논 생물 다양성을 활용한 유기벼 재배기술 ·	2
다. 논 서식 생물의 잡초방제효과	3
생물다양성을 활용한 벼 재배기술 체계	6
가. 육묘 기술의 혁신	6
나. 기술체계 전체에 걸친 환경보존 기능 회복	7
참고자료	9

논 생물을 활용한 유기 벼 재배

가. 제초제를 사용하지 않는 벼 재배기술

제초제는 사람과 다양한 논 서식생물의 생존을 위협하고 환경에 미치는 영향이 매우 크다. 일본에서는 제초제를 사용하지 않고 벼를 재배하는 친환경 운동이 1975년도 후반부터 본격적으로 시작되었다.

친환경 벼 재배를 위한 논 잡초관리 기술은 큐슈지역의 후루노 다카오 씨 등이 시작한 오리를 이용한 방법이 시초가 되었다. 논 제초방법인 '오리농법'은 효과가 높고, 어린이에게 인기가 많아 일본 전역에 보급되었다. 한편, 우리나라와 중국 등 동남아시아에서도 친환경 벼 재배를 위한 제초기술로 확산되었다. 특히 우리나라에서는 친환경농어업육성법이 제정되고 정부가 친환경 유기농업을 적극적으로 장려하여 보급률이 매우 높아졌다. 논을 쌀과 오리를 재배하고 사육하는 장소로서 활용하고 있다. 그러나 논에 서식하는 많은 생물들이 오리의 먹이가 되어 다양성을 감소시킬 수 있다는 지적도 나오고 있다. 그 해결책으로 심수관리와 미꾸라지 공생, 투입하는 오리 수나 투입기간을 줄이는 개선책을 마련하고 있다. 한편, 올방개나 벼풀 등의 방제를 목적으로 겨울철 물

없는 논과 조기 담수와 함께 논 환경 전체를 고려한 방법의 개선이 있었다. 그래서 왕우렁이나 투구새우에 의한 또 다른 잡초방제 기술도 개발하였다.

나. 논 생물 다양성을 활용한 유기 벼 재배기술

논 생물의 다양성을 활용한 벼 재배기술은 논 잡초의 발아성장 특성을 활용한다는 점에서 기존의 모든 잡초를 박멸시키는 제초기술과 차이가 있다. 즉, 벼와 경합하여 피해가 큰 잡초에 초점을 두고, 그에 맞는 잡초 방제법을 벼의 생육과 연계하여 다음과 같이 4가지로 구분하여 활용하는 기술이다.

- 1) 습생잡초: 피, 방동사니 등
- 2) 수생잡초: 물달개비, 물옥잠 등
- 3) 숙근성 잡초: 벼풀, 올방개 등
- 4) 부유성 잡초: 그물말, 개구리밥 등

습생잡초인 피와 방동사니의 방제에는 심수관리를 기본으로 하고 있다. 쌀겨나 대두를 투입하기만 하면 발생하지 않는다고 생각하는 사람도 많지만 피나 방동사니에는 효과가 적고, 이양직후부터 5cm 이상의 수위를 유지하면서 상시 담수관리를 해주는 것이 더 효과적이다. 또한 토양표면이 물 위로 노출되지 않도록 물 관리를 해주어야 피가 발아하지 않고, 발아한다고 하더라도 뿌리가 발육되지 못하고 경엽만 신장되기 때문에 점차 부력을 받아 이양 후 25일 정도가 되면 부력을 이기지 못하고 물 위로 뜨고 만다. 즉 논에 들어가지 않고 방제가 가능하다는 것이 포장에서 확인되어 안전한 잡초방제 기술로서 보급되고 있다.

그 이외에도 생물다양성이 가장 높고 안정적인 효과가 기대되는 기술로서 쌀겨가 주재료인 발효퇴비를 투입하거나, 이양 전 30일경부터 물을 대주고 씨레질을 해서 담수관리를 유지하여 논 생물의 다양성을 풍부하게 해 잡초를 억제하는 기술이 있다. 이 기술에 의해서 숙근성 잡초인 벼풀, 올방개를 제외한 거의 모든 잡초가 방제되어 제초를 위해 논에 들어갈 필요가 없다.

숙근성 잡초 방제에는 대두 윤작법이 가장 효과적이거나 그 외의 기술로서 토양을 경운하여 건조 또는 동결 시키고, 2회의 씨레질을 해 논 잡초방제 기술이 거의 완성 단계에 이르렀다.

부유성 잡초는 벼의 생육에 문제가 되기보다는 오히려 논 표면을 피복하여 멀칭효과 때문에 물달개비를 억제하는 경우가 많아 생물다양성에 의한 잡초방제의 중심적 기술이라고 할 수 있다. 동시에 이 부유성 잡초는 관개수에 함유된 과잉 질소나 인산을 흡수하여 수질을 정화하는 기능과 송사리 등 어류의 산란 장소를 제공하므로 생물다양성 증진 효과가 있어 적극적으로 활용될 가능성이 높다.

다. 논 서식 생물의 잡초방제 효과

피는 물을 깊게 대어줌으로써 방제가 가능하지만 이로인해서 물달개비, 물옥잠 등이 많이 발생 할 수도 있다. 이들 잡초의 발아를 억제시킬 수 있는 다양한 논 생물(미생물 포함) 발생을 유도하는게 좋다. 그러나 그림 1과 같이 과학적으로 검증되진 않았지만 물달개비의 생육에 영향을 미치는 여러 생물군을 이용하고 있다.

조사대상	생물과 잡초와의 관계	발생 시기					
		4월		5월		6월	
유기산 (유산균 아세트산) 질소화합물 등	발아 억제 (pH저하, 물렁층형성) 발근저해 등						
원생생물	광 차단에 의해 잡초 발아 억제						
물벼룩	탁수 발생						
깔따구 유충	탁수 발생. 종자 매몰. 물렁층 형성						
실지렁이	종자 · 잡초매몰						
그물말	광 차단						
개구리밥	광 차단						
잡초발생	피 14°C, 물달개비 19°C						
주요 관리 작업	물관리	발효퇴비 살포	씨레질				

그림 1. 논 생물다양성에 의한 물달개비 억제방법

1) 유기물을 활용한 물달개비 방제 기술

유기물이 투입된 논에 물을 넣고 씨레질을 하면 유기산을 발생하는 미생물이 가장 먼저 활동한다. 예를 들어 쌀겨를 발효시킨 퇴비를 살포한 논에서는 유산균이 발생하여 토양 pH를 낮추고, 토양표면에 물렁층¹⁾이라고 하는 미생물 분해층이 형성되어 수면에 그물말 등 조류가 대량으로 발생하여 물달개비의 발아와 성장을 억제시킬 수 있다. 또한, 자운영이나 호밀 등 녹비를 토양에 환원할 경우 경엽에 함유된 전분이나 헤미셀룰로스 등이 낙산균에 의해 분해되어 낙산이 발생하여 물달개비의 발근을 억제시킨다.

1) 물렁층이란 쌀겨 등의 유기물이 논 표층에 투입되면 토양 발효가 일어나 미생물이나 작은 동물(실지렁이)이 증식하여 논토양 표면 수 cm 두께의 토양 알갱이가 끈적끈적한 미세 진흙층을 말함. 토양 입자는 미세할 뿐만 아니라 토양의 미네랄 성분이나 양분이 녹아 버와 미생물에 이용되기 쉬운 상태의 물렁층에서는 토양미생물 등이 만드는 유기산의 농도가 높고, 잡초의 씨앗이 매몰되기 쉬우므로 잡초방제에 도움이 된다.

동시에 토양표면에 부드러운 입자상의 물렁층이 형성되어 잡초가 발생되지 않지만 어떤 대사 작용에 의해 발생이 되지 않는지는 아직 규명되지 않았다. 녹비환원에 의한 낙산 발생은 벼 뿌리에 피해를 줄 수도 있기 때문에 녹비환원은 토양 표층 5cm 이하로 해주는 것이 중요하다. 늦어도 모내기 20일전에 토양에 넣은 후 즉시 써레질을 하여 담수상태를 유지시키고, 10일 후에 두 번째에 써레질을 하여 유기산 분해를 촉진시켜서 모내기 전에 발생한 물달개비를 완전히 제거한 후 모내기를 해야 한다.

2) 답전순환을 활용한 물달개비 잡초방제 기술

민간 벼 재배연구소에서 재배시험을 한 결과 대두를 재배한 논에서는 근류균에 의해 발생한 질소화합물의 작용으로 발아·발근의 저해가 일어나서 물달개비 등 잡초 발아가 거의 완전하게 억제 되었다. 습지환경을 좋아하는 속근성 잡초인 벼풀이나 올방개도 논을 답전순환하여 밭 환경 상태로 만들어 주면 제거된다. 따라서 밭 상태로 콩을 재배한 다음 다시 벼를 재배하는 방법은 녹비효과도 부가되어 누구나가 손쉽게 할 수 있는 저비용 유기 벼 재배기술이라 할 수 있다.

녹비인 자운영도 콩 재배와 마찬가지로 근류균의 활동과 지상부 환원에 의해 유기산이 대량으로 발생되어 물달개비와 물옥잠 등 논에서 문제 잡초를 완전히 제거할 수 있다. 다만 자운영이나 콩 등은 공중질소를 고정하므로 질소 과잉으로 도복을 초래하지 않도록 토양관리에 주의가 필요하다.

3) 논생물 다양성을 활용한 벼 연작논의 물달개비 잡초방제 기술

매년 벼를 재배하는 일반 논에서도 논 생물을 번식시켜 제초기술로 활용하기 위해 담수관리가 필요하다. 쌀겨 중심의 발효퇴비를 살포한 논에서는 써레질 후 담수하여 수온이 상승하면 깔따구 유충과 실지렁이가 특이적으로 많이 번식하게 된다. 모두 논 토양의 표층에 서식하면서 토양을 교반하거나 영양분을 토양 표층으로 퇴적하여 잡초 종자를 매몰시켜 발아를 어렵게 만든다. 저서성 토양 소동물 이외에도 무시할 수 없는 효과를 가져다주는 것으로 그물말과 개구리밥이 있다. 이들은 논 표면을 덮어 광을 차단하여 물달개비와 물옥잠의 발아와 생장을 현저하게 저하시킨다. 이처럼 다양한 논 생물을 잡초방제에 활용하여 안정된 효과보이기 위해서는 이앙 30일전부터 잡초의 발아생장에 불리한 환경을 조성하기 위한 담수관리와 써레질을 두 번 해주는 것이 중요하다.

일본에서는 "V자형 벼 재배²⁾"를 하기 위해 물대기가 가능한 시기가 동북지역에서는 눈이 녹는 시기로 5월 10일경에 물대기가 가능하게 되는 지역도 있다. 수온이 10~1

2) V자형 벼재배 원리는 1969년 마츠시마가 제안하여 매뉴얼화된 관행 벼재배 방법으로 모내기 직후 속효성 화학비료로 분얼을 조장하여, 모내기, 출수기에는 양분을 많게 관리하고 그 중간시기에는 적게 관리하여 "V자형 농법"이라고 한다. "V자형 농법"은 화학 비료와 농약, 그리고 섬세한 물 관리가 필수적인 재배법이다.

3°C로 낮으면 실지렁이나 그물말이 거의 발생되지 않는다. 그러므로 물대기와 동시에 첫 번째 써레질을 하여 누수를 방지하고 수온을 따뜻하게 해주는 것이 관리상 가장 중요하다.

5월에 들어서 수온이 14°C를 넘어서게 되면 피는 발생하지만 물달개비는 아직 발생하지 않는다. 깔따구 유충이나 실지렁이는 저온기 때부터 증식을 시작하고 유산균도 번식하기 때문에 논 표층토양에 물렁층이 형성되지만, 일반적으로 물달개비를 완전히 억제할 정도로 실지렁이나 깔따구 유충, 또는 그물말의 번식량이 충분하지 않다. 따라서 수온이 19°C를 넘는 5월 중하순이 되면 물달개비가 발생한다.

기비로 쌀겨나 쌀겨가 주원료인 발효퇴비를 투입한 논에서는 물달개비 발생과 동시에 그물말이 발생하여 논 표면의 절반 이상을 덮는다. 이러한 논 다양한 생물의 번식과 물달개비 발생 상황을 보고 물달개비나 피나 벚풀 등을 깨끗하게 제거하는 두 번째 써레질이 중요한 논 관리 작업이다. 두 번째의 써레질은 이앙 2~3일 전에 실시하지만 동경 이남에서는 수온이 상승하여 물달개비 발생이 시작되는 5월15일경에 두 번째 써레질을 하고 이앙하는 것이 더 효과적이다. 동경 이북에서는 5월 25일, 고랭지나 북해도 등에서는 6월 5일경이 되지 않으면 물달개비가 발생하지 않는 경우가 많기 때문에 육묘기간을 길게 하여 6월 상순으로 모내기시기를 조절하는 것이 잡초방제 성공을 위한 중요한 요소가 된다.

두 번째 써레질 후에 극히 일부 발생하는 물달개비는 이앙 직후에 쌀겨 또는 콩가루를 혼합한 펠릿 등 유기산을 발생시키는 잡초방제 자재를 살포하여 발아를 억제함과 동시에 그물말이나 깔따구 유충 실지렁이 등을 발생시켜 안정성을 높여주게 된다. 이앙 10일 후에 논 전체에 그물말이나 개구리밥이 많이 발생된다면 다소 물달개비가 발생한 논이라도 일부러 제초할 필요는 없다.

주의해야할 점으로는 그물말이 대량발생하면 어린모가 쓰러질 수 있으므로 이를 방지하기 위해 이앙 전에 발생한 그물말을 완전히 토양에 매몰시켜야 한다. 또한 초장 15cm이상이고 4~5엽 이상의 성묘를 이식하여 논 표면이 노출되지 않는 범위내의 얇은 물 관리가 필요하다.

이러한 잡초방제 기술의 핵심은 안정된 물의 확보에 있다. 특히 4월 상순부터 용수 확보가 필수조건이 된다. 논이 담수되고 수온이 상승하면 물벼룩, 깔따구 유충, 실지렁이 등의 토양 미소동물이나, 잠자리 유충, 물장군, 장구애비 등의 수서곤충, 미꾸라지, 송사리, 붕어 등의 어류, 개구리 등의 양서류, 거미나 잠자리 등의 곤충, 녹조류나 개구리밥 등이 많이 발생할 수 있도록 30일 이상의 담수관리를 계속해 주어야 한다. 특히 실지렁이, 깔따구 유충, 그물말, 개구리밥 등의 잡초방제 효과가 높은 생물군이 많이 발생하도록 쌀겨와 대두혼합 펠릿을 투입하고 유기산 등에 의한 잡초방제와 벼의 초기 생육이 확보되도록 노력한다. 그 구체적인 작업 수순의 흐름은 그림 2와 같다.

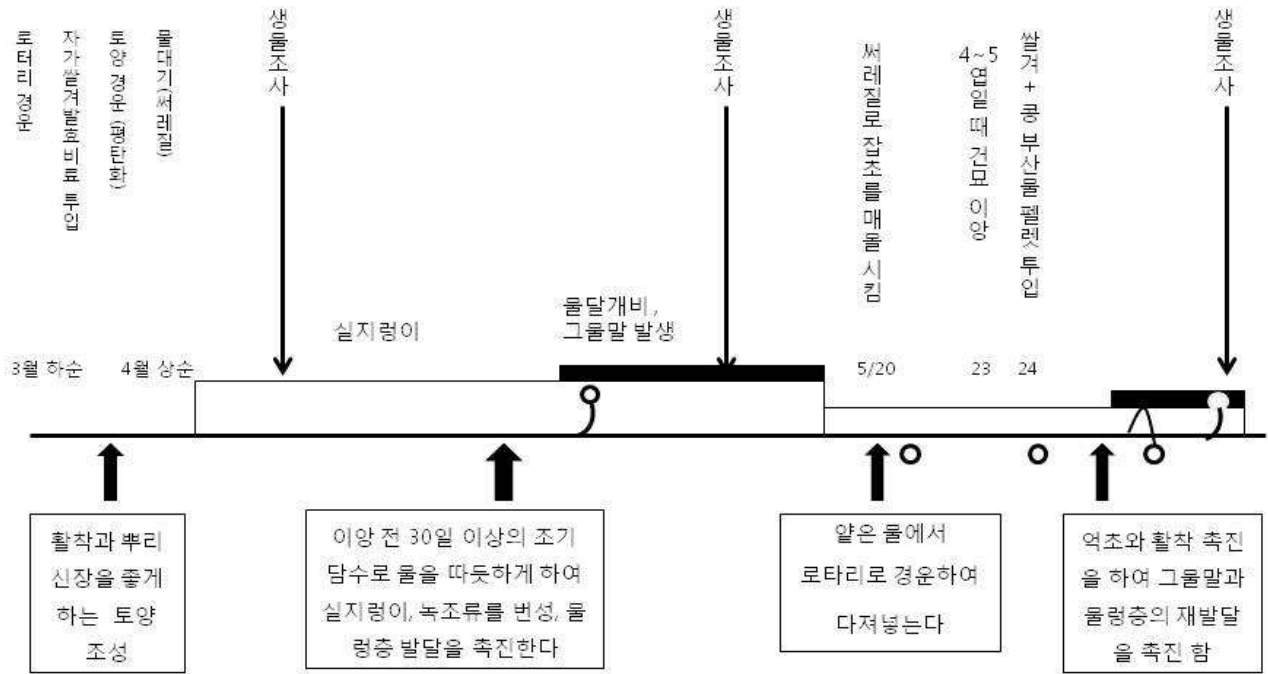


그림 2. 생물다양성에 의한 물달개비 잡초방제 순서

논 생물 다양성을 활용한 잡초방제 기술은 논 생태계에 많은 생물이 부활하는 계기가 되었다. 멸종 위기종인 은행이끼, 생이가래가 되살아나고 잠자리류, 개구리(산개구리, 참개구리)의 대량발생, 송사리와 미꾸라지 증가 등이 그 중요한 사례이다.

생물다양성을 활용한 벼 재배기술 체계

가. 육묘 기술의 혁신

생물다양성을 활용한 잡초방제 기술은 기존의 어린묘 육묘방법으로는 활용할 수 없다. 그 이유는 이양 전 30일간 담수기간이 반드시 필요하나, 물 이용 관행상 모내기가 5월 하순 이후에야 가능하기 때문이다. 출수시기를 관행재배와 같게 하거나 약간 늦게 하기 위해 4월 중하순에 파종하여 육묘기간은 35일 이상으로 한다.

이러한 장기육묘에서도 생육정체가 없는 건강한 모로 키우기 위해서는 모판당 60g 이하로 파종하고 노동력과 비용이 적게 드는 육묘법이 필요하다. 또한, 이양 초기에 발생하는 그물말에 의한 도복이 일어나지 않게 하기 위해서는 4~5엽령 이상의 건강한 성묘가 필요하다.

더욱이 물바구미가 발생되더라도 극복할 수 있는 건강한 묘는 4~5엽령의 성묘이다.

문고병이나 도열병의 발생을 미연에 방지하고, 도복이나 냉해를 피하기 위해서는 1주당 이양하는 묘수를 적게 하여 밀식이 되지 않도록 하는 것이 중요하다.

위와 같은 조건을 충족하는 육묘기술은 환경보전형 유기 벼 재배 기술로 4~5엽령의

성묘육묘 기술은 관동이남에서는 하우스 육묘로부터 노지 풀 육묘로 발전해 비용 절감과 동시에 유기벼 재배 기초기술로서 완성되어 크게 기여하고 있다. 특히, 노지 밭 육묘에서는 4월 중순부터 물을 넣어주는 경우가 많아 개구리, 미꾸라지 등의 산란이 일찍 되고, 상토로 유기질 퇴비를 사용하므로 토양미생물의 활성이 높아져 키다리병의 발생을 억제하거나 고온기에 도장을 억제하는 등 화학비료의 시비에서는 볼 수 없었던 우수한 효과가 나타났다.

그 밖에도 육묘 기술 중에 환경부하가 가장 문제시 되고 있는 종자소독에서도 농약을 대신하는 종자소독법이 확립되었다. 온탕처리가 현재 급속히 보급되고 있다. 이 기술은 유기 벼 재배 농가뿐만 아니라 관행재배 생산자들도 많이 사용하여 환경보존에 크게 기여하고 있다.

이러한 것을 종합하면 노지 풀 육묘는 에너지도 적게 들고, 자재비도 대폭 절감할 수 있을 뿐만 아니라 실제 환경회복에 도움이 된다는 점에서 적극적으로 보급 활용되는 것이 바람직하다고 생각된다.

나. 기술체계 전체에 걸친 환경보존 기능 회복

1) “V자형 벼 재배”에 의한 어린묘 이앙체계의 환경부하 요인

이앙기 도입에 의해 병·해충이 많이 발생하게 된 근본적인 원인은 “V자형 벼 재배” 기술의 보급과 함께 이앙기 기능상 2.5엽의 치묘, 도장묘를 1주에 5~7개씩 심는 방식으로 전환했기 때문이다. 분얼특성이 높은 벼는 1주당 여러 개를 심으면 초기부터 양분경합으로 스트레스를 받아 줄기가 가늘어 지고 병해충에 약하게 된다. 그러한 피해를 방지하기 위하여 6월 중순경에 분얼을 억제하고 잎을 직립화 시켜 도장하지 않도록 중간낙수를 하여 질소공급을 중단 시키는 방법이 이용되었다.

이러한 기술에 의해 아직 성충이 되지 않은 잠자리유충이나 올챙이는 멸종의 위기에 놓였다. 또한 화학비료로 재배된 논에서는 유기영양분이 적기 때문에 논외 수생생물이 생존하기에는 불리한 조건이라고 말할 수 있다. 이리하여 논 생물은 밀도가 낮게 되었으며 해충이 발생한 경우에는 그것을 억제할 천적생물이 없어지고, 벼가 좁은 공간에 밀식되기 때문에 문고병이나 도열병이 발생하는 등 농약의존 상태에 놓이게 되었다.

2) 줄기가 두껍고 수수가 큰 벼 재배에서의 환경복원기능

겨울철 담수가 가능한 지역에서는 11월부터 담수가 곤란한 지역에서는 이앙 전에 1개월 정도인 4월 중순부터 생물 다양성을 증진하고 안정된 잡초방제 효과를 내기 위해서 논에 물을 넣어준다. 이앙 후에 분얼수가 천천히 증가하고, 재식밀도가 낮기 때문에 무효경수를 줄일 노력을 기울일 필요가 없으며, 중간낙수는 7월 중순 이후에 하게 된다(그림 3).

이러한 점에서 잠자리유충이나 올챙이 등도 일생을 영위할 수 있게 되고 다양한 생물이 매년 증가하게 된다. 벼도 양분이나 광합성 경합이 일어나지 않기 때문에 줄기가 두

꺼워 지고 이삭이 크게 성장하여 수량이 관행재배보다 많은 경우도 생기게 된다.

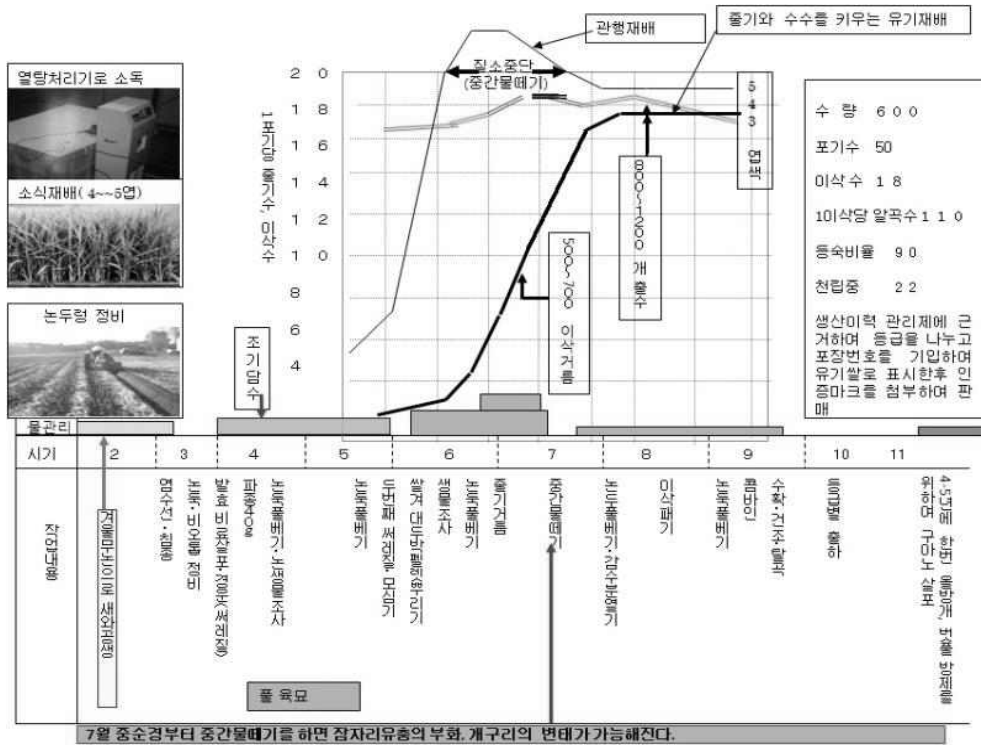


그림 3. 무농약, 유기재배 논 재배력

이러한 기술이 관행재배에 없는 환경보전 기능이 발휘하는 이유는 다음과 같다.

- 가) 쌀겨 중심의 발효퇴비가 투입되어, 유산균 또는 녹조류(유용미생물군)와 물벼룩, 깔따구 유충, 실지렁이가 대량으로 발생하여 잡초방제 효과를 발휘하면서 생물다양성 기반을 제공한다.
- 나) 겨울철담수 또는 조기담수에 의해 유용미생물이나 개구리, 미꾸라지 등의 월동 소동물의 활동시기가 빨라지거나 번식력이 증가한다.
- 다) 이앙 직후부터 7월 중순까지 심수관리에 의해, 안정된 둌병이나 늪지 환경을 제공하여 미꾸라지의 성장과 번식, 올챙이의 변태, 잠자리의 우화 등이 보장된다.
- 라) 논 안에 설치된 비오톱에 의해, 월동 동식물이 증가한다.

이상과 같은 환경보전 기능은 유기 논에 어도를 설치하거나, 논 안에 비오톱을 설치함으로써 효과를 한층 높일 수 있다. 2005년도에 간이 어도를 설치하고 유기논과 관행논을 비교한 결과 그림4에 나타난 것처럼 유기논에서 훨씬 다양한 어종이 관찰되었다.

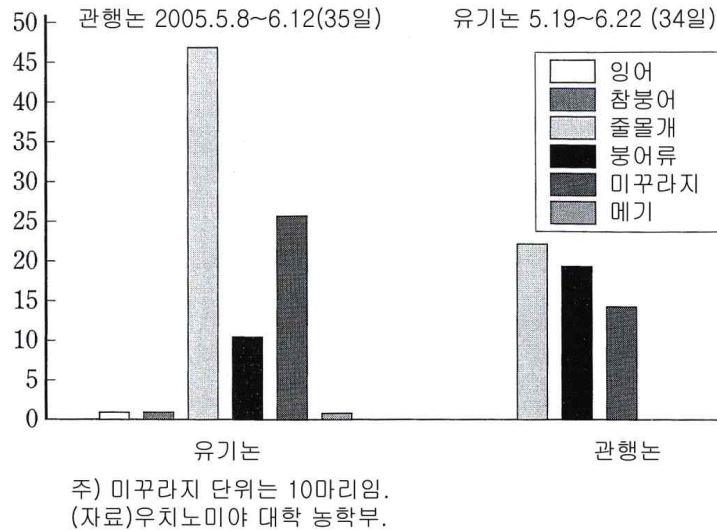


그림 4. 유기 논으로 유입하는 어류

특히, 줄물개, 미꾸라지의 유입은 관행논의 1.8~2.1배가 되었다. 관행 논이 6월 12일 이후 중간낙수에 들어 것과 달리, 유기 논은 7월 10일경까지 담수하기 때문에 재배 기간 중에 유입되는 어류가 더욱 많아진다.

생물다양성 방제법(IBM)이라는 기술은 유기논의 생태계를 보존함으로써 실현가능하다. 생물다양성 활용을 위한 주요 활동은 쌀겨 중심의 발효퇴비 투입과 겨울담수, 논 비오톱 설치, 4월 하순경부터 시작하는 조기담수 등이다. 이처럼 논이나 논 주변 지역의 생물관리에 의해 깔따구 유충, 실지렁이, 그물말 등의 생물층을 확대시키고, 그것을 먹이로 하는 개구리, 거미, 잠자리 등의 천적 증가로 해충 발생을 억제시키는 생태체계가 만들어진다.

그 중에서도 장기간에 걸친 담수관리, 논둑의 예초관리 등은 생물다양성 방제법으로 매우 중요한 기술이 되고 있다.

참고자료

- 지역과 환경이 복원되는 논 재생, 가광협회, 와시타니 이즈미 편저
- 줄기와 수수가 큰 벼 재배기술, 농문협, 이나바 미츠크니
- 제초제를 사용하지 않는 벼재배, 농문협, 민간벼재배연구소
- 유기벼 재배를 위한 육묘기술, NPO법인, 민간벼재배연구소