

최 종
연구보고서

동계 피복 작물로서 자운영의 내한성 증진을
위한 기술 개발

Development of Cultural Practices for Improving the
Overwintering Ability of Chinese Milk Vetch as a
Winter Cover Crop

연구 기관
경 상 대 학 교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “동계 피복 작물로서 자운영의 내한성 증진을 위한 기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005. 11. 15

주관연구기관명 : 경상대학교

협동연구기관명 : 고려대학교

총괄연구책임자 : 심 상 인

협동연구책임자 : 강 병 화

연 구 원 : 성 락 춘

연 구 원 : 홍 선 희

요 약 문

I. 제 목

동계 피복 작물로서 자운영의 내한성 증진을 위한 기술 개발

II. 연구개발의 필요성 및 목적

1) 기술적 측면

① 친환경농업 측면에서 피복작물과 녹비작물의 활용의 필요성이 점차 증가하고 있으나 아직까지 이에 대한 연구가 미진한 실정이다. 친환경농업의 발전을 위해서는 가장 시급한 기술 중 하나가 우리나라에 적합한 피복 작물의 개발이다.

② 친환경농업과 관련된 모든 연구의 기초이자 시작이 되는 피복작물 자체에 대한 연구는 거의 전무하다. 피복작물로 가능한 월동 작물인 유채, 토끼풀, 라이그래스류 등은 내동성과 식생 관리의 어려움이 기술적으로 해결되지 않아 문제가 있다. 우리나라에서 피복작물로 연구가 진행된 자운영은 월동력의 한계로 남부 지방에 국한되어 이루어졌다. 따라서 중부 지방에서 자운영이 도입된 작부체계를 개발하기 위해서는 자운영의 내동성에 대한 연구가 필수적이며 이와 더불어 내동성이 큰 유전자원의 확보가 반드시 필요하다.

본 연구는 녹비용 피복작물로 자운영을 개발하기 위해 월동력이 큰 자생 계통을 수집하여 개발하고, 월동력의 차이에 대한 재배적, 생리적 연구를 실시하여 월동력 증진 방안을 마련하고자한다.

2) 사회·문화적 측면

① 겨울철의 농지 녹화 기능

겨울철 농지의 피복은 우리에게 심미적, 감상적으로 만족감을 주고, 토양 피복을 통한 환경 문제 해소라는 주요한 측면이 있다.

② 친환경 산업으로서 농업에 대한 인식 제고

농업이 친환경적인 산업으로 나아가기 위해서는 수질과 토양 오염과 반환경적 요소들을 극복하여야 한다. 이러한 농약과 비료의 확산에 의한 오염 방지에 있어서 피복작물이 확산을 억제하는 효과도 인정되고 있어 환경 보호 측면에서 피복작물의 중요성은 크다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구를 통해 자운영 도입에 따른 농약 (제초제) 절감 효과와 비료 절감 효과에 대한 분석도 수행하고자 실시되었다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 우리나라의 자생 자운영을 발굴하고 이 자생 자운영의 월동능력을 평가하여 중부지방에서 자운영을 도입한 친환경농업을 위한 작부체계 개발에 기여하기 위하여 수행되었다. 중부지방은 남부지방에 비해 겨울이 길고 겨울철의 온도가 낮아 자운영의 월동이 문제가 되어 아직까지 자운영을 도입한 작부체계가 제대로 이루어지지 못하고 있다. 자운영을 작부체계에 도입하기 위해서는 자운영의 월동률 확인과 월동률과 연관된 형질을 확인하고 월동률에 따른 월동 후 생육 상태의 변화를 파악하여야 한다. 또한 월동 후 생육 정도의 차이에 따른 피복작물로서의 기능의 변화가 확인되어야 한다.

월동 후 자운영의 토양 혼입의 결과는 토양 내 양분의 변화, 토양 내 미생물상의 변화, 후작물의 생육, 후작물 재배지의 잡초 발생 및 생육에 대한 변화를 확인하여야 농약과 비료 절감을 위한 녹비작물 이용의 효과를 확인할 수 있다. 국내에서 이용되는 자운영은 거의 대부분이 중국에서 수입된 종자를 이용하고 있어 유기농업의 기본 원칙과는 거리가 있어 이를 위하여 국내 자생 자운영의 월동력, 녹비 능력 등을 검정하여야 한다. 더불어 자운영의 채종과 정선 및 파종에 소요되는 노동력과 에너지 절감을 위하여 자운영의 영속 재배를 위한 자가 재파 능력에 대한 고려도 있어야 한다. 자운영의 자가 재파 능력(self-reseeding)은 자운영의 파종기, 월동력, 후작물의 재배 시기 등에 복합적으로 영향을 받으므로 이에 대한 검토가 있어야 된다.

본 과제는 중부지방의 작부체계에 자운영 도입을 위한 기술 개발과 도입에 따른 효과를 확인하고자 수행되었다. 연구의 내용은 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 자생 자운영의 수집과 월동능력 평가

가. 자운영의 발아 및 출현 특성

- 1) 저온 조건에서 자운영의 발아
- 2) 수심별 산소 농도에 따른 자운영의 발아
- 3) 과중 조건에 따른 자운영의 출아 특성

나. 자운영의 월동 특성

- 1) 과중기별 월동률
- 2) 과중 양식별 월동률
- 3) 토양 조건에 따른 월동률

다. 월동 중 자운영의 체내 물질 변화

- 1) 월동 기간 중 자운영의 수분 포텐셜 변화
- 2) 월동 기간 중 자운영 체내의 물질 변화

라. 자운영의 월동률과 자가 재파 능력과의 관계

2. 피복 및 녹비 작물로서 자운영의 효과 검정

가. 녹비작물로서 자운영의 효과

- 1) 자운영 생육 단계별 체내 물질 변화
- 2) 후작물에 대한 효과 검정
- 3) 녹비로서 토양 내 질소양분 변화에 대한 자운영 혼입의 효과
- 4) 토양 미생물에 대한 자운영의 효과
- 5) 자운영 처리 후 토양의 질소원 용탈

나. 피복작물로서 자운영의 효과

- 1) 잡초 발생에 미치는 영향
- 2) 잡초에 대한 자운영의 allelopathy 효과

IV. 연구개발 결과 및 활용에 관한 건의

1. 연구개발의 결과

본 연구는 친환경농업을 위한 동계 피복 작물로서 자운영의 내한성 증진을 위한 기술 개발을 목표로 수행되었으며 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

가. 자생 자운영의 수집과 월동능력 평가

나. 피복 및 녹비 작물로서 자운영의 효과 검증

2. 연구개발의 활용

본 과제의 연구 결과는 중부지방에서 친환경 농업을 위한 작부체계 개선에 필요한 피복 녹비 작물로서 자운영을 이용하는데 활용할 수 있다. 지금까지의 결과는 파종을 비롯한 재배 방식의 개선으로 자운영의 월동능력을 향상 시킬 수 있으며 여기에 특히 중요하게 작용하는 것은 파종기와 파종 방식 및 토양의 수분 관리라 할 수 있다.

본 과제를 통해 자운영의 녹비 및 피복 작물로서의 효과가 인정되었으므로 농가에서 직접적으로 자운영을 도입한 작부체계를 활용하여 친환경 농업을 수행할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 물론 국가기관의 실증연구가 보장되어야 하므로 연구기관에서는 본 연구의 결과를 바탕으로 하여 보다 효율적인 자운영 도입 작부체계 확립을 위해 1) 월동력이 향상된 자운영 품종 개발, 2) 녹비효율이 증진된 자운영 예취법 개발, 3) 자운영 이용 효율을 높이기 위한 수분 관리법 개발, 4) 자운영을 이용한 효율적인 잡초 관리법 개발, 5) 자운영을 도입한 최적의 양분 관리법 개발에 활용할 수 있을 것이다.

SUMMARY

Environmentally friendly agriculture is becoming a new paradigm in Korea due to the increasing concern to agroecosystem and safe agricultural product. The use of cover crop is a practical approach to the environmentally friendly agriculture because the several benefits of cover crop like weed suppression, reduced soil erosion, and increased nutrient content in soil. An principal agricultural practice for improving more environmentally compatible crop production is to develop the cropping system in which cover crops are included. In Korea, due to the extremely low temperature in winter, the use of efficient cover is highly limited. Up to date, hairy vetch, chinese milk vetch, rye, white clover are used as cover crop in crop fields. However, the cropping system with cover crop is developed in southern region of Korea because the low overwintering capacity of above cover crop species showed low plant density of cover crop. To develop efficient cropping system in central region of Korea, proper winter cover crop species should be introduced into cropping system. The aims of this research were 1) to develop Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*) as a winter cover crop in central region, 2) to know the overwintering and regrowth habit in spring, 3) to set up proper cultural practices for increasing overwintering and regrowth capacity.

The Chinese mil vetch (CMV) found at Paju district in central region was successively occurring through self-reseeding without artificial management. However, there was no noticeable difference in growth habit between Paju native CMV and introduced CMV from China which is currently used in farm fields. The flowering time of CMV growing in central region was delayed 2 weeks as compared to that growing southern region. During overwintering, there was drastic change in leaf water potential, therefore, water status is a critical factor to overwintering in CMV.

Seeding date of CMV determined by harvest date of rice in paddy showed great influence on the overwintering and regrowth of CMV. Early maturing rice

cultivar is favorable to the CMV management. Cold resistance was related to the leaf age, younger leaves showed higher resistance. The growth status before overwintering was the most important factor to overwintering ability. The cold damage commenced at -15°C based on the electrolyte leaching from leaf disc. Cold resistance was changed during overwintering season, the highest resistance was observed from late-Jan. to early-Feb. and then the resistance was decreased sharply. Morphologically, leaf angle from soil surface and crown diameter were directly related to the cold resistance. The collection from Paju district has more flat leaf angle and thick crown. The procumbent plant type of Paju collection might contribute the cold resistance.

Among internal constituents, sugar level was increased when the temperature was lowered. On a contrary, starch content and chlorophyll and anthocyanin concentration were decreased. According the sowing date of CMV, the biomass production was changed. The biomass production of CMV sown on Oct. was reduced by 40 % as compared to that sown on September. overwintering ability was increased when the sowing date was advanced as long as the CMV plant was not over growth and the CMV seeds were sown on the bottom of furrow. The CMV grown on flat levy showed higher anthocyanin content and lower chlorophyll content, indicators for internal stress status, than that grown on furrow

During winter, CMV growing under excessively wet or dry soil condition showed extremely lower overwintering ability. In addition, straw-mulched CMV plants have low overwintering rate. Poor root development directly increased the drought damage of CMV plants and subsequently lowered overwintering rate. Nutritional condition affected to the cold resistance in CMV. Deficiency of potassium and phosphorus resulted in the lowered cold resistance.

Optimal temperature of CMV germination was 20°C when the water potential of media was 0. However, the optimal temperature was lowered as the water potential was lowered below -0.5MPa . When the water potential was lower than -1.5MPa , the seed germination of CMV was poor under relatively higher

temperature ($> 20^{\circ}\text{C}$). Flooding did not affect strongly to the seed germination of CMV, however, shallow water depth of 20 mm strongly reduced seed germination. It was suggested that CMV seeds can germinated properly in paddy fields flooded with higher water depth. As the depth of covered soil was increased, the CMV emergence was reduced. However, there was not critical reduction in CMV emergence up to the soil depth of 5 cm.

Seed fresh weight was attained at 39 days after flowering and then decreased until seed maturation. Without post-harvest seed ripening, the seed from the CMV plant at 40 days after flowering can germinate with any artificial treatment. CMV seed germinability was lower until 40 days after seed harvesting. The germination rate increased dramatically after 100 days after seed harvesting.

CMV is known as not only a cover crop but also green manure crop. As a cover crop, the roles of CMV are to protect soil erosion, to reduce nitrogen loss from land, and to suppress weed occurrence. In this chapter, we examined the effect of soil-incorporated CMV litter on the growth of succeeding crops and the management of weeds in succeeding crop fields.

The effect of weed suppression of CMV extract was related to the content of total phenolics in CMV plant. The content was lowered gradually after flowering of CMV accompanying the same tendency in the inhibitory effect on the seed germination. Soluble extract from CMV has strong inhibitory effect on the germination of barley and corn. However, the inhibitory effect of extract was less on radish and soybean than on barley and corn. The reduction of radicle and plumule growth in barley and corn was greater than that in radish and soybean. In CMV-corn cropping system, weed occurrence was noticeably reduced by 40 % with incorporation of CMV residue into soil. No-till with CMV residue did not significantly reduce the growth of weeds. Delayed transplanting in CMV-rice field was highly effective to the weed management, especially to barnyard grass management. Weed diversity was decreased by that delayed transplanting.

CMV as green manure was observed in CMV-corn cropping system. CMV incorporation into soil increased leaf chlorophyll content of corn cultivated without

artificial fertilization. In addition, ear growth and ear weight was also promoted by CMV incorporation into soil. Clipping time of CMV on spring was an important factor. The green manure effect of CMV was dependent on the clipping time. The CMV residue clipped on Apr. 13 showed the highest effect on the chlorophyll content of corn. However, the growth and dry weight of corn plant was more strongly promoted by the residue clipped on Apr. 27 than that on Apr. 13 and May 11. Soil nitrate concentration showed the highest value by addition of CMV residue clipped on Apr. 13. On the other hand, ammonium concentration was not dependent on the clipping time of CMV.

By addition of CMV residue into soil, soil enzyme activities of urease, phosphatase, dehydrogenase were increased reflecting the improved soil health. There was a difference in mineralization of organic nitrogen into nitrate and ammonium between paddy and upland condition. Nitrate release in CMV-incorporated soil was higher in less wet condition. Ammonium release, however, was greater in more wet soil condition.

CONTENTS

Summary	6
Chapter 1. Introduction	12
I. Subject of research	12
II. Aims of research	14
III. Ranges and contents of research	14
Chapter 2. Domestic and international status of technology development	16
I. Domestic and international status of technology development	16
II. Current situation and application of research	18
Chapter 3. Research results	20
Section 1. Collection of native Chinese milk vetch and evaluation of overwintering ability	20
Section 2. Evaluation of Chinese milk vetch as a cover crop and green manure	101
Chapter 4. Achievement and contribution for related field	154
I. Achievement	154
II. Contribution	156
Chapter 5. Application plan of results	158
I. Necessity of follow-up research	158
II. Application for other researches	158
III. Commercialization of results	159
Chapter 6. Collected information of international technology	160
Chapter 7. References	161

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	12
I. 연구개발의 필요성	12
II. 연구의 목적	14
III. 연구의 범위와 내용	14
제 2 장 국내외 기술개발 현황	16
I. 국내·외 기술개발 현황	16
II. 연구결과가 국내·외 기술개발 현황에서 차지하는 위치	18
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	20
제 1 절 자생 자운영의 수집과 월동능력 평가	20
제 2 절 피복 및 녹비작물로써 자운영의 효과 검정	101
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	154
I. 목표달성도	154
II. 관련분야에의 기여도	156
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	158
I. 추가연구의 필요성	158
II. 타 사업에의 응용	158
III. 기업화 추진방향	159
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	160
제 7 장 참고문헌	161

제 1 장 연구개발과제의 개요

I. 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

가. 친환경농업 측면에서 피복작물과 녹비작물의 중요성

농약과 비료에 의존한 집약적 농업에 근거한 작물재배 시스템하에서 녹비용 피복작물에 대한 연구는 극히 미진하게 진행되었다. 그러나 친환경농업 시스템에서 피복작물은 필수적이다.

피복작물은 뿌리에 의한 토양 구조의 개선과, 유기물 증진, 토양 침식 방지는 물론이고 잡초 발생의 억제 등 여러 이점이 있으며 토양내 질산염을 부동화시켜 지하수 오염을 억제하며 탈질에 의한 아산화질소의 방출을 억제하여 온실 가스 저감의 효과도 있다.

나. 피복작물 소재의 현황 및 문제점

기술적으로 모든 연구의 기초이자 시작이 되는 피복작물 자체에 대한 연구는 거의 전무하다. 피복작물로 가능한 월동 작물인 유채, 토끼풀, 라이그래스류 등은 내동성과 식생 관리의 어려움이 기술적으로 해결되지 않아 문제가 있다. 우리나라에서 피복작물로 연구가 진행된 자운영은 월동력의 한계로 남부 지방에 국한되어 이루어졌다. 월동력은 재배적으로 어느 정도 극복 될 수는 있으나 한계가 있어 월동력이 큰 유전자원부터 확보하는 것이 급선무이다. 자운영(*Astragalus sinicus* L.)은 우리나라에 자생하는 콩과식물로서 토양 피복도가 뛰어나며 겨울철에도 토양을 비교적 양호하게 피복하는 식물종이다. 남부지방에서 사료용과 밀원용으로 재배하고, 녹비작물로 심기도 하며 관상용으로 이용하기도 한다(지, 1967). 지금까지 자운영은 충청 이북 지방에서 월동이 극히 저조한 것으로 알려져 있으나, 연구자들이 확인한 결과 임진강 근처에서도 월동하는 자운영이 확인되었다.

본 연구는 녹비용 피복작물로 자운영을 개발하기 위해 1) 월동력이 큰 자생 계통을 수집하여 개발하고, 2) 월동력의 차이에 대한 재배적, 생리적 연구를 실시하여 월동력 증진 방안을 마련하고자한다. 또한 3) 녹비로서 자운영의 가치를 재배 조건에 따른 녹비 가치 변화를 연구하고, 4) 토양 혼입시 질소무기화 과정 등을 통해 일어나

는 변화와 자운영의 품질적 특성간의 관계를 구명하여 후(주)작물 재배에 대한 효과를 검증하고자 한다.

2. 경제·산업적 측면

농촌의 주 소득원인 작물 생산은 최근에 주곡인 쌀 농사에 대한 직·간접적인 지원이 줄어들어 따라 다수성 위주에서 고품질과 환경친화적 농업으로 농업의 패러다임이 변화하고 있다. 농업을 환경친화적인 방향으로 유도하는 데에는 다음과 같은 몇 가지 선결요건이 있다.

① 친환경적 농업이 농가의 소득을 보전해 줄 수 있는지 여부이다.

; 친환경농산물에 대한 소비자들의 인식 변화로 인하여 고품질 = 친환경농산물 = 저공해 농산물의 인식이 확산되고 있어 소득 보장이 가능하다

② 친환경농업을 추구하여 개발된 기술이 과연 친환경적인지의 여부가 입증되었는가이다.

; 친환경농업은 유기농업, 자연농업, 저투여농업, 지속농업 등 다양한 양식으로 접근이 되고 있으나 모든 양식 중 공통적으로 시도되고 연구되는 것은 농자재의 경감을 통한 환경에 대한 부하를 줄이는 것이다. 과거 퇴비에 의존하였던 농업이 화학비료 의존형으로 바뀌면서 질산염의 유출과 아산화질소의 방출과 같은 환경 문제를 야기하게 되었다. 아산화질소와 질산염에 의해 일어나는 환경 문제는 많은 연구에서(Cicerone, 1987; Williams et al., 1998; Hardas et al., 1999; Huett and Dirou, 2000; Jancithe et al., 2000) 제기되고 검증된 것으로서 속효성인 화학비료의 사용상 불가피하게 나타나는 현상이다. 이러한 문제점 해결의 가장 현실적인 방법인 녹비작물이 포함된 윤작체계이다

③ 친환경농업에 대한 제반 기술 및 농법이 개발되었는지의 여부이다.

; 윤작은 아주 오랜 역사를 가지고 있으나, 우리나라의 경우 적절한 녹비용 소재의 부족과 인식 부족으로 널리 보급되지 못하고 있는 실정이다. 녹비작물은 토양 양분 공급 측면을 고려할 때 두과식물의 도입이 바람직하며, 특히 자재 투여량의 저감 측면에서도 그 필요성이 인정된다.

3. 사회·문화적 측면

① 겨울철의 농지 녹화 기능

농촌이 우리에게 주는 느낌은 푸르름 속에 느껴지는 풍요로움과 편안함이다. 겨울철 농지의 피복은 이렇듯 우리에게 심미적, 감상적으로 만족감을 주고, 토양 피복을 통한 환경 문제 해소라는 주요한 측면이 있는 것은 두말할 나위가 없다.

② 친환경 산업으로서 농업에 대한 인식 제고

농업이 친환경적인 산업으로 나아가기 위해서는 수질과 토양 오염과 반환경적 요소들을 극복 해야된다. 질산염 외에 농약에 의한 지하수 오염은 농업 생태계의 오염 형태 중 대표적인 것으로(Berg and Linden, 1994; Kolpin et al., 1998; Huber et al., 2000), 이러한 농약의 확산에 의한 오염 방지에 있어서 피복작물이 확산을 억제하는 효과도 인정되고 있어(Sadegi and Isensee, 2001), 환경 보호 측면에서 피복 작물의 중요성은 크다고 볼 수 있다.

II. 연구개발의 목적

친환경 농업의 발전을 위해서는 저농약, 저비용을 통한 작물 생산이 이루어져야 한다. 현실적으로 친환경농업을 위한 수많은 자재들이 시판 중이고 이미 개발되어 있으나 이들 자재의 친환경적 여부에 대해서는 아직 검증이 이루어지지 않고 있다. 그러나 자운영의 경우 녹비로 이용할 경우 친환경적인지에 대한 논란이 일어나지 않으며 장기적으로 볼 때에도 작부체계 개선을 통한 친환경농업의 발전 및 확산이 가능해 지므로 작부체계 개선에 필수적인 최적의 피복 녹비 작물의 도입에 대한 수요가 더욱 많아질 것으로 보여진다. 따라서 본 연구는 앞으로 그 수용가 증대될 것으로 보여지는 피복 녹비 작물로서 자운영의 국내 특히 중부지방의 작부체계내로의 도입을 위해 중부 지방에서 자생하는 자운영을 포함하는 자운영 유전자형들의 월동 능력을 평가하고 월동률과 관련된 제반 형질을 확인하고 월동률 증진을 위한 재배법을 개발하고자 수행하였다. 또한 피복작물로서 잡초 발생과 생육 억제에 대한 자운영의 효과를 검정하고 녹비로서 후작물의 생육에 대한 자운영의 효과를 알아보하고자 수행되었다.

III. 연구개발의 범위 및 내용

본 연구는 동계 피복 작물로 가장 효과가 효율적으로 인정되는 식물인 자운영 재배의 기술 개발을 위하여 아래와 같은 내용을 중점적으로 실시하였다.

① 우리나라 자생 자운영의 수집

- 우리나라의 자생 자운영은 아직까지 체계적으로 그 특성이 조사되지 않고 있어 국내외의 자운영에 대한 형질과 월동력 등을 조사하였다.

② 자운영의 주요 생리적 특징 연구

- 자운영의 월동력의 한계치와 월동력 차이의 생리적 특성을 구명함으로써 재배적, 생태적인 월동력 향상 기술의 기초 자료로 활용

- 현재 자운영은 대부분 중국산 자운영을 파종하여 이용하고 있어 우리나라의 일부 지방에서 한정되어 이용되고 있어 우리나라 자생종의 특성 확인이 요망된다.

③ 피복 작물로서 자운영 수집종의 능력 평가

가) 자운영 생물량(biomass) 축적 조사 : 파종기별, 토양 조건별 생물량 축적을 조사하기 위하여 10월부터 파종기를 달리하여 이듬해 자운영의 월동률, 생물량 등을 수집종별로 확인하고 생물량당 축적되는 질소량을 확인

나) 질소 축적량 조사 : 축적되는 질소량을 구하여 녹비 특히 질소원으로서 자운영의 가치를 수집종별로 확인한다.

다) 자운영의 영양 생리적 특성 조사 : 자운영의 생장과 관련된 영양 조건을 구명코자 조절된 온실에서 자운영을 수경재배를 통하여 N, P, K 및 주요 영양 원소의 농도를 달리하여 처리한 후 자운영의 성장 반응을 확인한다.

④ 자운영 재배와 후작물 생육과의 관계

가) 자운영 재배 후 토양내 질소 함량의 변화 연구

나) 작물 종별 피복 작물의 효과 : 작물을 밭작물과 논작물로 나누어 실시한다.

다) 자운영의 자가 재파(self-reseeding) 능력 검정을 위하여 1년차부터 3년차까지 3년간 월동 능력 검정과 병행하여 자가재파 능력을 검정하고 첫해에 파종기에 따른 이듬해의 개화 결실기 차이가 자가 재파에 미치는 영향을 확인한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

I. 국내·외 기술개발 현황

국내의 친환경 농업은 1994년 농림부에 환경농업과(현 친환경농업과)가 설치되어 친환경농업을 추진중이나 아직은 기반이 마련 되어가는 단계이다. 1997년 12월 친환경농업육성법이 공포된 후 2000년에 수립된 친환경 농업육성계획 5개년 계획에 INM, IPM에 근거한 농법을 통하여 2005년까지 화학 비료와 농약을 각각 30%씩 줄이는 것을 목표로 하고 있으나 이를 실현시키기 위해서는 친환경 농업을 위한 소재 개발이 필수적이다. 본 연구실은 환경 농업에서 가장 중요한 녹비 및 피복 소재로 이용 가능한 자운영을 내한성이 강한 계통을 비롯하여 여러 형질을 지니는 유전 자원을 수집하여 보관하고 있으며 이 소재를 활용하여 친환경 농업에 필요한 소재로 개발할 계획이다.

두과 피복작물이 녹비로 이용될 때 분해시 토양내 질소 유효도를 증진시켜 뒤이어 후작물의 수량이 증대된다는 것은 여러 사람들에 의해 제시되고(Smith et al., 1987; Touchton et al., 1994; Hargrove, 1986; Decker et al., 1994; Tobert et al., 1996), 많은 연구에서 실증되어있다(Mahler and Auld, 1989; Badaruddin and Meyer, 1990; Mahler and Hemamda, 1993). 피복작물이 혼입될 경우 유기 탄소와 질소 함량이 높아져 토양 미생물의 생물량은 물론 미생물 활성도 가장 높아 토양이 양호하게 된다(Janzen et al., 1992; Van Gestel et al., 1992). 또한 잔류물은 유용한 미생물의 번식에 있어서 중요한 양분원이 되기도 한다(Philips et al., 1971). 피복작물에 의해 나타나는 토양의 활력 증진은 토양 미생물의 생물량 증가, 유기태 탄소와 유기태 질소의 함량 증가를 나타낸다고 알려져 있다(Dinesh et al., 1998). 동계 피복 작물은 토양의 무기 질소를 부동화하여 겨울철 동안 질산염의 용탈을 줄이게 되는데(Schertz and Miller, 1972), Wyland et al(1996)은 무경운과 무경운 체계하에서 피복작물로 호밀을 이용하여 질산염 용탈에 대한 억제 효과를 보고하였다. 피복 작물 중 화본과 피복 작물이 토양내 질소를 제거하는데 있어서 두과식물보다 효율적이라고 알려져 있으며 이것은 C:N 율의 차이와 뿌리의 형태 차이에 기인한다고 알려져 있다(Wagger b, 1989; Ebelhar et al., 1984; Harfrove, 1986). Russelle and Hargrove(1989)는 섬유상의 근

계가 직근계에 비해 질산염의 이동성을 줄이는데 효과적이라고 하였다. 토양 미생물의 번식과 관계가 깊은 C:N 율은 화분과(30:1-60:1)보다 두과식물(8:1-15:1)에서 높다(Waggener, 1989; Sullivan et al., 1991). 질소 용탈에 대한 억제 효과는 화분과 피복작물이 크나 토양내 질소 비옥도 증진을 통한 후작물에 대한 효과는 두과 식물에서 크고 이들의 혼파는 토양 유실 억제와 질소원 공급 두가지 측면을 동시에 이룰 수 있다(Kuo and Sainju, 1998). 이렇게 화분과와 두과 작물간의 차이는 화분과 피복작물이 신속하게 근계를 형성하고 두과 식물보다 질산염 제거 능력이 높기 때문이라고 알려져 있다(McCracken et al., 1994; Kuo et al., 1997). 이렇듯 동계 피복 작물은 토양내 무기태 질소를 유지하는데 있어서 가장 친환경적이고 효과적인 방법이다(Randells and Waggener, 1997). 피복작물의 잔류물이 토양내로 혼입된 후의 과정은 토양 양분 공급 측면에서 연구가 이루어져왔는데, 잔류물의 분해와 이동성에 대한 단기간의 연구는 작물 윤작에서 환경내로 양분의 소실을 최소화하기 위한 재배법을 개선하는데 있어서 필수적이라고 알려져있다(Aita et al., 1997). 그러나 작물 재배시 질소 시비량을 추정하기 위해서는 두과 전작물의 잔류 질소량 확인이 선행되어야 한다(Jensen, 1994). 피복작물이 질소 급원으로서 적합한지 여부는 피복작물에 의한 질소 고정량과 분해시 방출되는 질소 성분의 양과 질 등에 따라 달라진다. 전반적으로 동계 피복 작물은 휴경하지 않고 집약적으로 관리된 작물 재배 체계에서 토양 표층의 양분 상태를 증진시키는 효과가 있다(Wyland, 1996). 피복작물의 또 다른 효과인 피복에 의한 잡초발생 억제 효과도 여러 가지 결과가 보고되었는데(Teasdale and Daughtry, 1993), 호밀과 잔개자리, 에집시안클로버 등과 같은 피복작물은 잡초방제면에서 매우 효율적이라고 알려져 있다(Abdin et al., 2000). 그러나 후작물의 생육이 진행되는 동안 이 피복 작물이 제거되지 않으면 주작물과의 경합으로 인한 피해가 생겨나므로 제거해야 된다는 약점이 있어(Echtenkamp and Moomaw, 1989; White and Worsham, 1990; Eberlein et al., 1991; Hoffman et al., 1993; Johnson et al., 1993), 피복작물 재배 후에 세심한 관리가 필요하여 제초제나 중경에 의한 피복 작물의 제거가 시도되었다(White and Worsham, 1990; Curran et al., 1994).

피복작물 특히 녹비작물로의 이용을 목적으로한 피복작물에 대한 연구에서, 특히 두과식물이 녹비로 이용될 경우 가장 중요한 문제는 유기태 질소의 무기화로 순 질소 무기화에 대한 것으로서 이러한 연구는 피복작물로 이용할 수 있는 종이 한정되어 있어 몇 가지 종에 한정되어 연구가 진행되었다(Ladd et al., 1983; Amato et al.,

1984; Frankenberger and Abelmagid., 1985; Harris and Hesterman, 1990; Marstorp and Kirchmann, 1991; Franzlueebbers et al., 1994 a,b; Quemada and Cabrera, 1995; Vanlauwe et al., 1996; Haynes, 1997). 헤어리베치는 (*Vicia villosa* Roth)는 화곡류 포장에서 질소 공급과 잡초 억제의 목적으로 선호되는 피복작물(Ebelhar et al., 1984; Frye et al., 1985)로 잘 알려져 있다. 온대 지방에서 두과 녹비작물로 붉은 토끼풀의 효과가 알려져 있는데 250-300kg N/ha 정도이다. 엘로우스위트클로버 (*Melilotus officinalis*)의 경우 심근성 식물로 뿌리에 많은 양의 질소를 축적하는 것으로 녹비로 적합하다(Gorya and Scheaffer, 1985). 우리나라에도 자생하는 토끼풀을 녹비작물로 이용하였을 경우 토양내로 혼입된 질소 양은 화분과인 라이그래스를 녹비로 이용한 경우보다 높았다(Hauggard-Nielsen et al. 1998)

피복작물을 녹비로 이용할 경우 기존의 작부체계와 조화를 고려하여야 하는데 녹비로서 피복작물의 효과를 극대화하기 위하여 피복작물의 생물량이 최대에 이르는 시기에 다다르게 하기 위해 주작물을 만파해야 한다는 보고도 있다(Ebelhar et al., 1984; Bollero and Bullock, 1994). 우리나라의 경우도 작부체계상 녹비용 피복작물을 이용할 경우 파종기가 다소 늦어지는 경우가 발생한다.

우리나라에 이용 가능한 피복 작물의 종류는 화분과로는 호밀, 라이그래스, 베치類, 유채類, 개자리類, 토끼풀類 등을 들 수 있다(엄 등, 1999). 이중 자운영은 후작물로 재배되는 벼의 친립중, 영화수, 등숙율 등을 증진시키는 효과가 발표되었다(조 등, 1993). 녹비 생산 측면에서 자운영은 예취 시기에 따라 단백질 함량과 생초 수량의 차이를 나타낸다고 알려져 있다(성과 손, 1990). 성과 박(1991)은 자운영 수집종 6종의 생육 시험에서 건물중과 초장의 변이를 보고하였다. 생육면에서 자운영은 15°C-35°C의 범위에서 발아율이 양호하고 토양 수분은 포장용수량의 70-80%에서 발아율이 양호하다고 알려져 있다(김 등, 1993).

II. 연구결과가 국내·외 기술개발 현황에서 차지하는 위치

우리나라의 연구는 남부지방에 한정되어 이루어져 있으나 자운영의 효과에 대해서는 많은 결과가 얻어져 있어 자운영 도입의 타당성이 인정되고 있다. 그러나 중부 지방의 경우는 연구가 전무하여 이에 대한 연구가 절실히 요망되고 있다. 아직까지

자운영을 도입한 작부체계는 남부지방에서도 일반적이지는 않으나 친환경 농업에 대한 관심이 증대되고 있어 앞으로 그 면적이 증가할 것이다. 아직까지 자운영을 도입한 작부체계의 확립에 필수적인 내동성 증진을 통한 월동력 향상에 관한 연구가 이루어지지 못하여 전국적인 자운영 도입 작부체계가 활성화 되어 있지 않으므로 자운영의 월동력 증진 연구는 앞으로 월동력 증진을 통한 자운영 재배에 중요한 기초 자료로 활용될 것이다.

우리나라의 자운영 재배는 일제강점기에 재배가 되었다는 기록이 있으며 해방 이후에도 아래 표에서 보는 것과 같이 1960년대 까지는 재배가 되었으나 화학비료의 보급에 따라 재배 면적이 급격히 줄어들었다. 그러나 최근 들어 친환경 농업의 활성화로 재배 면적이 크게 늘어나 1950년대 수준으로 그 재배 면적이 늘어났다. 그러나 표에서 보는 것과 같이 채종면적은 현재 거의 통계가 잡히지 않을 정도이며 종자의 대부분은 2005년 기준으로 중국에서 3297ton을 수입하여 이용하고 있는 실정이다. 따라서 화학비료 도입전인 1960년대 수준 이상으로 자운영 재배가 이루어지기 위해서는 본 연구 결과에서 얻어진 녹비 및 피복작물로서의 효율에 근거한 자운영 재배의 지도와 보급이 필요하다.

○ 우리나라 자운영 재배 면적 및 생산량 추이

년도	재배면적(ha)	생초생산량(ton)	채종면적(ha)
1953	52588.1	607226.4	9900.8
1954	72330.2	724701.8	9184.4
1955	70744.1	803513.8	8757.0
1956	74604.5	835213.3	9206.3
1957	77388.6	772474.3	9095.6
1958	80331.1	507503.9	10127.2
1959	41126.4	339874.7	7472.2
1960	49676.2	453858.8	8613.1
1965	6223.1	77746.1	2535.1
1969	4670.9	76176.3	2126.1
2005(계획)	68720.0	687200.0*	3297ton**

* ha당 10ton 기준으로 환산

** 중국 자운영 수입량

위의 표에서 보는 것과 같이 1970년대 이전에 현재보다 활발히 재배된 자운영은 녹비로서의 이용성이 강조된 것으로 이 시기의 자운영의 수입종자가 아닌 국내 자생종을 이용하였을 것으로 추정되며 앞으로 국내에 남아있는 자생종의 개발 및 도입이 우리나라의 친환경작부체계의 개선에 반드시 필요하다고 생각된다.

본 연구 과정에서 얻어진 자운영의 발아 및 출현 생태, 월동력과 관련된 자운영의 생리적 특성과 생태적 특성, 자운영의 초형의 역할 등은 지금까지 연구된 결과가 없으므로 앞으로 연구가 지속적으로 이루어질 자운영 관련 연구에 있어서 본 연구 결과가 중요하게 활용될 것이다. 특히 본 연구에서 얻어진 자운영 생육 시기별 녹비 효율의 변화, 잡초 억제 효과의 변화는 자운영 도입 작부체계를 수립하는데 중요한 고려 사항이 될 것이다.

자운영 도입에 따른 친환경 농업의 추진에 있어서 본 연구에서 확인된 녹비 효율, 제초제 저감 효과, 및 토양 건진성에 대한 자운영 도입 작부체계의 효과는 친환경농업을 위한 소재로서 자운영의 중요성을 확인시켜 주는 결과이다. 따라서 앞으로 우리 농업의 경쟁력 제고를 위한 친환경농업의 발전을 위해 본 연구 결과는 자운영 도입 작부체계 확대의 이론적, 실증적 근거로 이용될 수 있을 것이다.

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 자생자운영의 수집과 월동능력 평가

I. 서 론

자운영 재배는 지금까지 남부지방에 한정되어 이루어졌고 중부지방에서 겨울철 녹비작물로 이용하는 데에는 곤란한 것으로 인식되어 왔다. 중부지방에서 자운영을 작부체계에 도입하는 것은 자운영의 내동성 증진 없이는 불가능하다. 자운영의 내동성 증진을 위해서는 몇 가지 접근 방법이 필요하다. 첫째는 내동성이 강한 유전자형을 육성하는 것이고, 둘째는 재배적 조치로써 내동성을 강화시키는 것이다. 이 가운데 첫 번째인 내동성 자운영 계통 개발을 위하여 우리나라 중부 지방에 자생하는 자운영을 발굴하여 이를 이용하는 것이다. 우리나라는 남부 지방의 경우 경작지는 물론 논둑이나 밭둑 등지에서 자운영이 자생하는 것을 흔하게 볼 수 있으나 중부지방의 경우는 남부 지방에 비해 자생 자운영의 발생이 적다. 본 연구는 자생 자운영을 발굴하여 중부지방의 작부체계에 내동성 자운영을 도입하는데 그 목적이 있다.

자운영의 내동성은 월동 후 적절한 발생 밀도의 확보를 통해 이듬해 봄에 녹비로써 요구되는 단위면적당 적절한 생물량 생산을 위해 반드시 필요한 형질이다. 내동성은 각 계통이 갖는 내재적 내동성 뿐 만 아니라 월동과정에서 경화되는 정도에 따라 차이가 나타날 수 있다. 그러므로 자운영의 내동성을 평가하기 위해서는 내재적인 저온 저항성 뿐 만 아니라 저온 기간 중 경화되는 정도도 확인되어야 한다. 내동성을 평가하는 방법은 여러 가지가 있으나 저온에 의해 세포가 피해를 받아 세포막의 기능이 소실되는 정도를 전기전도도 측정을 통하여 평가하고 있다. 자운영의 내동성은 유전적 내동성 외에도 다른 작물에서 볼 수 있는 것처럼 파종기나 자운영의 생육 상태에 따라서도 달라질 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다. 더불어 내동성이 높은 자운영과 낮은 자운영 간에 존재하는 생리적 차이도 확인이 되어야 앞으로 내동성이 높은 자운영 재배가 가능할 것이다.

본 연구는 우리나라 중부 지방에서 자생하는 자운영을 수집하여 자운영 이용 시

기초자료를 얻기 위하여 자운영의 발아, 출현 및 생장에 영향을 주는 요인들의 영향을 알아보았다. 자운영의 출현과 관련지어 자운영의 발아 특성을 온도별, 수분 상태별로 실험하였고, 출현과 관련된 특성도 파종 심도별, 수분 조건별로 수행하였다. 자운영의 종자 성숙도와 자가 재파능력을 보기 위해 개화 후 종자 결실단계에 시기별로 채취하여 종자중, 수분함량, 발아능력, 출현능력, 이 기간의 종자 내부 물질의 변화 등을 확인하였다. 자운영의 영양 특성을 보기 위하여 필수원소별로 양액 내 양을 조절하여 이들에 대한 자운영의 성장 반응과 광합성 특성을 확인하였다. 자운영의 월동 특성은 자생종과 수집종간의 외부 형태적 특성 중 초형에 대한 분석이 실시되었고 저온 반응성은 발아 및 출현 위주로 진행되었다. 자운영의 포장 능력 검정을 위하여 중부 지방의 여러 지역에 파종하여 이들의 월동능력을 검정하였고, 수집종간의 차이도 비교하였다. 자운영의 월동과 생육에 가장 큰 영향을 줄 것으로 추정된 토양 수분 조건과 파종량, 재배 방법을 달리하여 이들이 자운영 월동과 생육에 미치는 영향을 이른 봄부터 개화, 종실 성숙기까지 조사하였다. 내동성 정도를 중국 수입종 외에 우리나라의 다른 지역의 자생 자운영과 비교하여 동계 녹비 피복작물로서 자운영의 이용도를 평가하고 내동성의 차이에 영향을 주는 여러 생리적 형질과 재배적 조치들의 효과를 검정하여 앞으로 친환경 농업에서 반드시 요구되는 동계 피복작물로서 자운영의 이용을 증진시키기 위하여 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 자운영의 수집 및 포장 월동물

자운영의 수집은 자운영의 월동을 사전에 확인한 경기도 파주 지역에서 5월 개화기 후에 종실 성숙이 완료될 때 까지 현지에서 종자를 수집하고 정선 후 실험에 이용하였다. 파주 지역 외에도 경남 사천 지역과 전남 완도 지역에서 자생하는 자운영을 5월 초순부터 5월 말까지 현지에서 수집하여 정선 후 이용하였다.

자운영 파종은 월동 전 9월부터 10월까지 파종기를 달리하여 파종하였으며 파종은 평지 파종, 골파종을 실시하였다. 평지파종은 포장을 경운 후 표면 산파를 10a 당 5kg 파종하였다. 파종 후 복토는 표면 로타리 경운을 가볍게 하여 종자가 약 1cm 정도 복토되도록 하였다. 골파종의 경우는 뿌림골의 깊이를 8cm 정도로 하여 파종후 1cm 정도로 복토하였다.

자운영의 종자 성숙도와 자가재파능력을 보기 위해 개화 후 종자 결실단계에 시기별로 채취하여 종자중, 수분함량, 발아능력, 출현능력, 이 기간의 종자 내부 물질의 변화 등을 확인하였다. 자생종과 수집종간의 외부 형태적 특성은 초형에 대한 분석이 실시되었고 저온 반응성은 발아 및 출현 위주로 진행되었다. 자운영의 포장 능력 검정을 위하여 중부 지방의 양평, 김포 지역에 자운영을 파종하여 이들의 월동능력을 검정하였고, 수집종간의 차이도 비교하였다. 자운영의 월동과 생육에 가장 큰 영향을 줄 것으로 추정된 토양 수분 조건과 파종량, 재배 방법을 달리하여 이들이 자운영 월동과 생육에 미치는 영향을 월동 후 부터 개화, 종실 성숙기까지 조사하였다.

2. 자운영의 내동성 검정

내동성 검정은 온도조절 순환 수조에서 PC를 이용한 온도조절 프로그램 (LabTracer, Jeitech, Korea)을 통해 조절된 온도 조건하에서 채취한 엽절편을 대상으로 실시하였다. 저온 처리는 자운영 각 개체 당 leaf disc (지름 5mm) 5개씩을 뚜껑 달린 시험관에 넣고 spray로 증류수를 조금 뿌려준다. 시험관 뚜껑을 막고 저온

순환수조에 넣어 4℃부터 처리 온도까지 시간당 1℃씩 떨어뜨리고 처리온도에서는 90분간 처리한 후 다시 시간당 1℃씩 4℃까지 올린다. 저온처리가 끝나면 저온순화 수조에서 시험관을 꺼내어 냉장고(4℃)에 12시간 두어 해동시킨다. 해동시킨 leaf disc가 든 시험관에 증류수 5mL을 넣고 1시간 shaking 후 전기전도도 값을 측정하고 추출물과 leaf disc를 다시 시험관에 넣는다. 시험관을 100℃에서 1시간 동안 끓여 막이 완전히 파괴되도록 한 후 2시간 동안 shaking하고 다시 EC값을 측정한다. 전기전도도 측정 후 전해질 누출을 기준으로 다음 식에 의해 누출율을 계산하였다.

Percentage leaching(%) = conductivity of the leachate after the freeze test (before heating) × 100 / final conductance after killing (heating)

3. 자운영 내부 물질 함량 측정

가. 지질과산화 (MDA 형성) 측정

자운영 생체 200mg에 0.1% trichloroacetic acid 2mL을 넣고 막자로 간 후 원심분리기에 넣고 원심분리시킨다. 상등액 1mL에 0.5% TBA(with in 20%TCA) 4mL을 넣고 95℃에서 30분 동안 반응시키고 찬물에 넣어 반응을 정지시킨 후 다시 원심분리기에 넣어 원심분리 시키고 상등액만 따서 532nm와 600nm에서 흡광도를 측정하였다 (Cakmak and Horst, 1991).

나. 프롤린 함량

자운영 생체 50mg에 3% sulfosalicylic acid 4mL을 넣고 막자로 간 후 1mL을 따서 tube에 넣고 원심분리 후 상등액 0.5mL에 1mL acid ninhydrin 용액을 넣고 100℃에서 한 시간 동안 반응시킨다. 찬물에 넣어 반응을 정지시킨 후 toluene을 3mL 넣고 충분히 섞어준다. Toluene층만 따서 520nm에서 흡광도를 측정한다.

다. 엽록소 함량

자운영 50mg에 2mL 80% 에탄올을 넣어 1시간 동안 shaking 시켜 추출한다. 추출한 시료 용액을 원심분리 시킨 후 상등액 1mL을 따서 희석시키고 664nm와

648nm에서 흡광도를 측정한다(Arnon, 1949).

$$\text{총 엽록소 함량} = 5.24\text{OD}_{664} + 22.24\text{OD}_{648}$$

라. 환원당 함량

자운영 분말 50mg을 80% ethanol 3mL에 넣고 80°C에서 30시간 동안 흔들어 추출한다. 추출한 시료를 원심분리기에 넣고 원심분리 후 상등액을 취한다. 이 과정을 3번 반복한다. 수거된 상등액을 80°C dry oven에 넣고 ethanol을 휘발시킨 후 증류수 5mL을 넣고 녹인다. 이렇게 준비된 샘플 1mL에 DNS 용액 1mL을 넣고 100°C에서 10분간 처리하고 찬물에 반응을 멈추게 한 후 증류수 2mL을 넣고 570nm에서 흡광도를 측정한다 (Bernfeld, 1955).

마. Sucrose 함량

자운영 분말 50mg을 80% ethanol 3mL에 넣고 80°C에서 30시간 동안 흔들어 추출한다. 추출한 시료를 원심분리기에 넣고 원심분리 후 상등액을 취한다. 이 과정을 3번 반복한다. 수거된 상등액을 80°C dry oven에 넣고 ethanol을 휘발시킨 후 증류수 5mL을 넣고 녹인다. 샘플 0.25mL에 invertase(150u/0.25mL) 0.25mL을 넣고 37°C water bath에 60분간 처리한다. 여기에 DNS 0.5mL을 넣고 100°C에서 10분간 처리하고 찬물에 반응을 멈추게 한 후 증류수 2mL을 넣고 570nm에서 흡광도를 측정한다.

바. 전분 함량

Glucose와 sucrose에 이용한 상등액을 따고 남은 잔사에 증류수 1.8mL을 넣고 100°C에서 10분간 처리한다. 상온에서 식힌 후 1.25M citrate buffer(pH 4.5)를 0.1mL을 넣고, 375~400u amyloglucosidase(0.05M citrate buffer로 희석)를 0.1mL 넣는다. 55°C 온도에서 12시간 처리한 후 상온에서 식혀서 원심분리기에 넣고 원심분리 시킨다. 상등액을 0.5mL 따서 DNS sol.을 0.5mL 첨가하고 100°C에서 10분간 처리한다. 찬물에 반응을 멈추게 한 후 증류수 2mL을 넣고 570nm에서 흡광도를 측정한다.

사. 안토시아닌

생체시료 50mg에 methanol(1% HCl 함유) 2mL을 넣고 막자로 간다. 원심분리 시

킨 후 상등액을 따서 methanol로 5배 희석 시켜 530nm와 650nm에서 흡광도를 측정한다. cyanidin-3-glucoside의 흡광계수인 34300을 이용하여 함량을 구한다.

아. 가용성 단백질 함량

생체 0.2g과 추출 buffer 0.1mL을 유발에 혼합하여 간 후 원심분리시킨다. 상등액 0.1mL을 따서 증류수를 0.4mL 넣고 CBB(Coomassie Brilliant Blue) 용액 5mL을 넣는다. 상온에서 10분간 발색 시킨 후 595nm에서 OD값을 측정한다.

4. 자운영의 생리적 상태 검정

가. 엽록소 형광

식물체 잎 중 완전히 전개된 상위 엽을 대상으로 light shutter 클립을 이용하여 30분간 암처리를 실시한 후 엽록소 형광측정기(FIM 1400, ADC, UK)를 이용하여 광합성 명반응의 양자수율 (Fv/Fm)을 측정하였다.

나. 녹색도 측정

식물체 잎 중 완전히 전개된 상위 엽을 대상으로 엽신 중 엽맥이 없는 부위를 SPAD meter(Minolta, Japan)을 이용하여 측정하였다.

다. 상대수분함량 (relative water content)

자운영의 체내 수분 상태를 확인하기 위하여 RWC를 측정하였다. 자운영 잎 10개를 따서 생체중(FW)을 측정하고 잎을 petri dish에 넣고 증류수 5mL을 넣은 후 4°C에 두고 12시간 경과 후 자운영 잎을 꺼내어 잎 표면에 있는 물기를 제거하고 무게(TW)를 측정한다. 무게를 측정한 잎들을 80°C oven에 48시간 건조시킨 후 건물중(DW)을 측정한다.

$$RWC (\%) = ((FW-DW) / (TW-DW)) \times 100$$

5. 토양 동결층 깊이 측정

동결된 토양을 굴토한 후 자를 이용하여 동결층까지의 깊이를 한 지역당 10지점을 조사하여 평균치로 나타내었다. 조사는 약 10일간 강수가 없었던 2005년 2월 14일에 실시하였다.

II. 결과 및 고찰

1. 자생 자운영의 수집 및 생육 특성

본 연구 과정에서 우리나라에서 월동하는 자생 자운영을 발견하여 이들을 작부체계 내로 도입하고 종자를 수집하고 증식하였다. 중부지방의 자생 자운영은 사진 1과 같이 경기도 파주군 임진강변에서 발견하여 이들의 종자를 수집하였다.



Photo 1. Natural habitat of Chinese milk vetch near River Imjin in Paju.

이들 자운영은 연구자들의 관찰에 따르면 수년간 지속적으로 자가재파 (self-reseeding)를 통해 발생하고 있어 이들의 이용 타당성을 보여주었다.



Photo 2. Survival of CMV under frosting condition in Paju district.



Photo 3. Establishment of CMV over-wintered on 26 March in Chulwon province.

자생 자운영은 사진 2와 같이 서리가 내리는 조건하에서도 동사하지 않고 지속적으로 생육이 여러 해에 걸쳐 확인되었다. 임진강변에 자생이 확인된 자운영을 우리나라에서 가장 추운 곳 중의 하나인 철원 지방에 2002년에 파종하여 2003년에 월동

여부를 확인한 결과 사진 3과 같이 토양 수분 조건에 따라 다소 차이는 있으나 월동하는 것이 확인되었다.

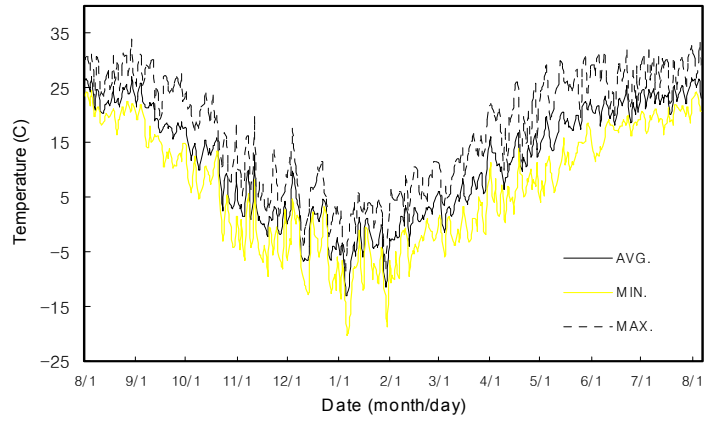


Fig. 1. Cardinal temperatures in Yangpyong (Namyangju) during experiment.

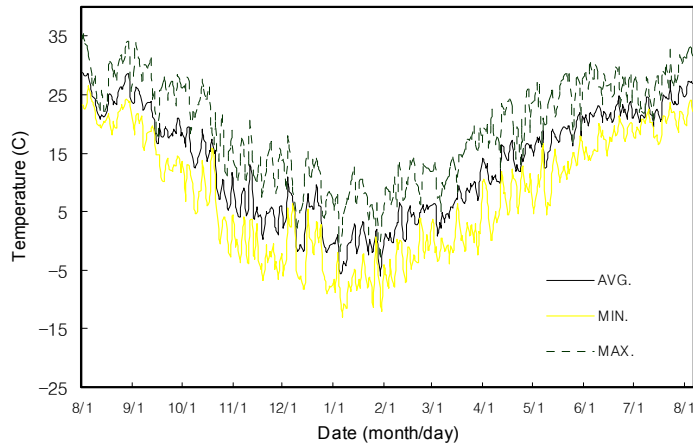


Fig. 2. Cardinal temperatures in Jinju during experiment.

그림 1과 2에서 볼 수 있는 것처럼 남부 지방보다 주요온도가 낮은 중부지방의 경

우 자운영들의 월동 능력은 토양 조건 특히 토양의 수분 조건에 영향을 많이 받았고 월동 전 자운영의 생육 상태의 영향도 크게 나타났다. 중부 지방에서 자운영의 월동은 사진 4, 5, 6에서 볼 수 있는 것처럼 양호하였고, 논과 밭 모두에서 생육이 양호하였다.



Photo 4. Chinese milk vetch standings on the paddy field on 14 Oct. after harvesting rice in Yangpyong province.



Photo 5. Flowering Chinese milk vetches over-wintered in paddy field in Yangpyong province.



Photo 6. Flowering Chinese milk vetches over-wintered in upland field in Yangpyong province.

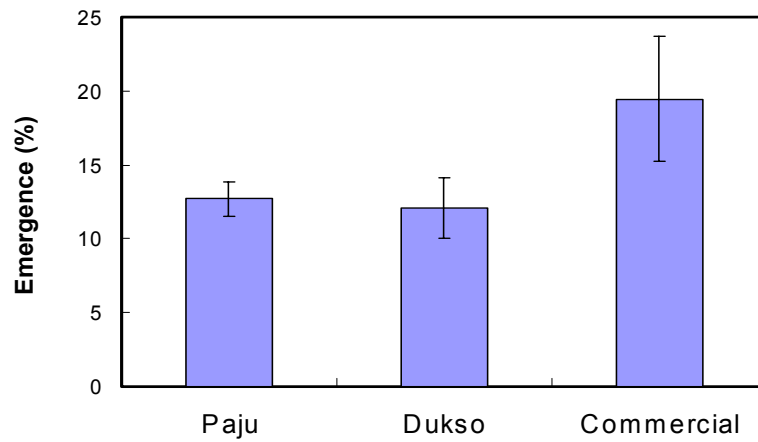


Fig. 3. Comparison of emergence rate of CMV seeds sown in upland fields.

밭 조건은 토양 수분 면에서 수분으로 포화된 상태인 논과는 조건이 상이하다. 중부지방 밭에서 자운영의 출현은 그림 3과 같다. 파종 당시의 상태에 따라 출현율의 차이는 있지만 중부지방 밭에서 출현율은 중국에서 수입하여 농가에 보급하는 종자의 출현율이 높았는데 이와 같은 이유는 수입된 종자는 사용하기 편리하도록 종자

처리가 행해져 발아율이 양호하여 출현율이 높게 나타난 것으로 나타났으며, 자연 상태에서 채종하여 종자 처리를 가하지 않은 종자의 경우는 다소 낮게 나타났다. 그러나 수입종자의 경우에도 20% 정도의 출현율을 보여 다른 작물에 비해 출현율이 낮았다. 자운영의 포장에서 출현율이 낮은 것은 자운영은 다른 작물과는 달리 파종 과정이 산과 후 토양 복토 시 그 정밀도가 다소 낮기 때문이며 수분 조건이 논에 비해 비교적 불량한 밭 조건에서 출현 과정에서 수분 부족에 의한 피해가 나타나기 때문인 것으로 생각된다.

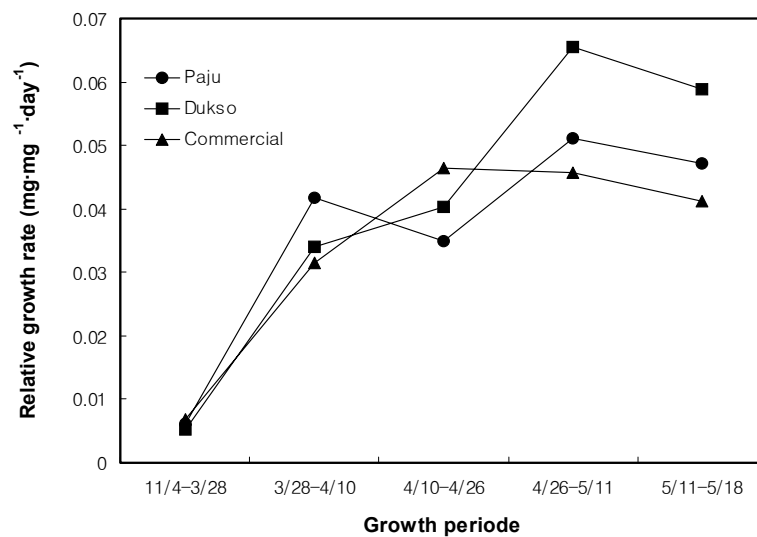


Fig. 4. Comparisons of relative growth rate of three CMV genotypes grown without artificial irrigations.

중부지방의 밭에서 자운영 출현 후 식물체내 상대생장률의 변화는 무관수와 관수 시 그 양상이 다소 상이하게 나타났다. 인위적 관수를 실시하지 않은 경우(그림 4)와 관수를 실시한 경우(그림 5)의 그림에서 알 수 있는 것처럼 관수를 한 경우가 비관수구보다 전반적으로 상대생장률이 높았다. 관수를 하지 않은 경우는 5월 초순에 상대생장률이 정점에 이르고 이후 개화 및 종자 성숙이 진행되면서 감소하는 경향을 나타내었다. 유전형별 차이도 다소 있었는데 양평군 덕소읍에서 수집한 종이 다른 종에 비해 상대생장률이 높았으나 경기도 파주에서 수집한 자운영과 중국산 자운영

간에는 차이가 거의 인정되지 않았다. 관수구에서 4월 말부터 5월 초순에 상대생장률이 낮은 것은 밭의 포장 상태가 고르지 않아 관수 시 일시적으로 습해를 받았기 때문인 것으로 보인다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 자운영의 상대생장률은 4월 중순까지 높아 2월부터 4월까지 자운영의 영양생장 기간이 수분 및 양분 관리 측면에서 중요한 것으로 사료된다.

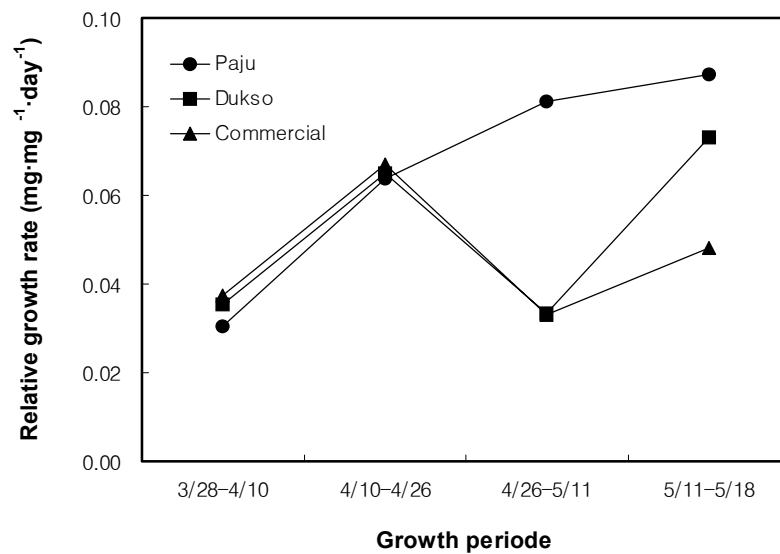


Fig. 5. Comparisons of relative growth rates of three different CMV genotypes in spring under natural conditions without artificial irrigation.

월동 후 2003년 봄부터 개화성기까지 밭에서 자운영의 건물량 생산의 추이는 그림 6에 나와 있다. 건물중은 개화 성기인 5월 10일 이후에도 증가량이 크므로 밭에서 자운영을 녹비로 이용할 경우 중부지방에서는 5월 15일 이후에 갈아엎는 것이 필요할 것으로 보여 진다. 수집중간 건물량의 차이는 5월 9일 까지는 큰 차이를 보이지 않았으나 이후에 건물중의 차이가 크게 나타났다.

중부 지방에서 자운영의 월동과 재생은 확인이 되었고 이들의 개화기는 남부 지방에 비하여 약 2주 ~ 3주 정도 늦게 시작되었다. 자운영 생장과 월동에 있어서 온

도와 더불어 중요한 것은 토양 수분 상태라고 볼 수 있다. 표 1은 밭에서 중부지방에서 수집된 자생 자운영과 남부 지방에서 많이 이용되는 중국 수입종들 간의 수분포텐셜 차이를 비교한 것으로써 관개 여부에 따라 자운영 식물체내 수분포텐셜의 차이가 크게 나타났다.

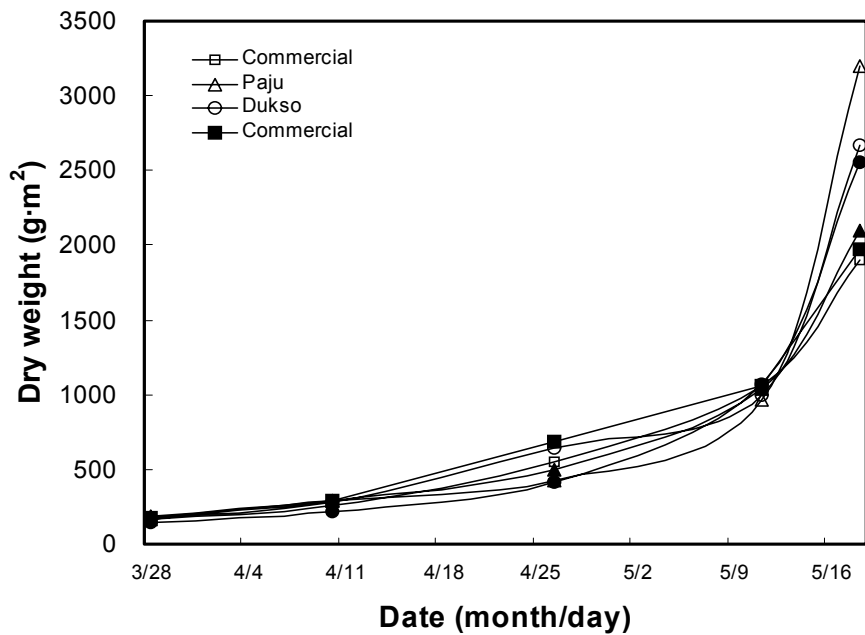


Fig. 6. Changes of dry matter of aerial part a unit ares in upland. Filled and empty markers represent non-irrigated and irrigated plots, respectively.

이러한 결과는 월동 후에 자운영의 생육에 큰 영향을 주는 체내 수분 상태가 관개에 의해 영향을 받으므로 월동 후 자운영의 생육을 왕성하게 하여 후작물 재배 전에 녹비로써의 가치를 높이기 위해서는 인위적인 관개가 이루어지는 것이 바람직한 것으로 생각된다. 그러나 유전자형간의 차이는 크게 나타나지 않아 자생자운영과 중국 수입종간의 차이는 관개에 비해 그 영향이 미약하였다.

월동 후 생육단계별로 식물체내 수분포텐셜의 차이는 고도로 유의성이 있어 월동 후 관개 시 적정 시기를 파악하는 것이 중요한 것으로 나타났다. 관개 여부와 유전자형 간에는 상호작용이 존재하지 않아 수집종간에 관개에 대한 반응 차이는 거의

없었다. 이와 같은 결과는 수집종간의 수분포텐셜 차이보다 관개 여부가 더 중요함을 보여주는 것으로써 자운영 재배 시 관개 또는 수분 관리의 중요성을 나타낸다. 수집종별 차이는 표 2와 같이 무관개구 및 관개구 모두에서 통계적으로 인정되지 않았으나 관개와 무관개구 간에는 뚜렷한 차이가 나타났다. 수집종간에는 양평균 덕소읍에서 수집된 자운영의 경우에 관개의 효과가 가장 적었으며 과주수집종의 경우 관개의 효과가 가장 크게 나타났다. 발조건은 물로 토양이 포화된 논과는 달리 봄철에 한발 조건에 처하는 경우가 종종 발생하므로 자운영 재배 시 이에 대한 대책 마련이 필요할 것으로 나타났다.

Table 1. Analysis of variance for water potential of CMV plants under different irrigation regimes and at different growth stages

Source	df	Mean squares Water potential
Irrigation (I)	1	132.8***
Genotype (G)	2	9.7*
I X G	2	NS
CV		-8.99
Stage (S)	7	158.9***
Genotype (G)	2	NS
S X G	14	NS
CV		-17.5

*** significant at 0.1% probability

월동전과 월동후의 시기별 자운영 체내 수분포텐셜의 변화는 그림 7과 같다. 월동전인 2002년 11월의 수분포텐셜은 -1.0 ~ -1.5MPa 정도였다가 한겨울인 1월부터 2월 초순까지는 -2.0 MPa 정도로 크게 낮아지며 봄철에는 -0.5MPa까지 높아졌다가 개화성기인 5월 중순에는 다시 낮아지는 경향을 나타냈다. 이 기간 동안 수집종간의 차이는 월동전인 11월에는 다소 관찰되었으나 이 후에는 수집종간 차이가 미약하였다. 그림에서 2월 21일을 정점으로 해서 봄에 다시 수분포텐셜이 낮아지는 것은 월동 작물인 자운영은 하작물과는 달리 이른 봄 저온에서 생육이 빨리 시작되는데, 이 시기부터 본격적인 영양생장이 시작되는 것으로 생각되며 밭에서 이 시기부터 자

운영 관리가 철저히 이루어져야 한다는 것을 시사하는 것이다.

Table 2. Comparison of the water potential of CMV plants with or without irrigation after over-wintering

Region	Water potential (Mpa)	
	Control	Irrigated
Paju	-1.79	-1.15
Namyangju	-1.84	-1.40
Commercial*	-1.64	-1.10
LSD _{0.05}	0.22	0.31

* Commercial seeds were imported from China.

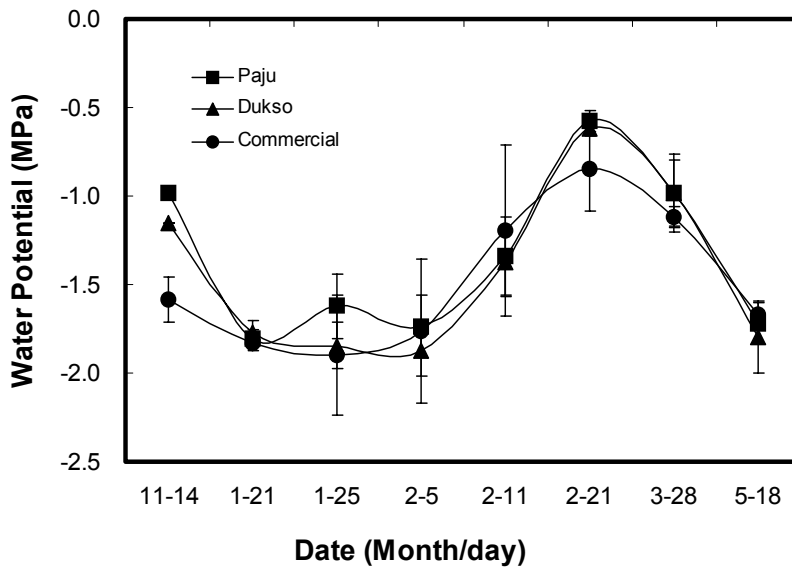


Fig. 7. Changes of water potential from November to May in CMV plants collected at different regions.

자운영은 우리나라에서 논의 녹비작물로써 많이 이용되고 있다. 중부지방의 논에 자운영을 재배하여 월동한 결과는 표 3과 표 4에 나와 있다. 중부지방의 논에서 자운영의 월동에 대한 유전자형의 효과는 통계적으로 차이가 없게 나타났으며 자운영의 생육과 월동 후 체내 수분함량 등도 유전자형에 의한 차이가 나타나지 않아 수집종간에 전반적인 차이는 없었다. 그러나 1년 간의 시험으로 유전자형간의 월동력을 평가하기에는 다소 무리가 있으므로 앞으로도 유전자형간의 월동률의 차이 및 월동 후 생육량의 차이에 대한 지속적인 시험이 요구된다. 파종량에 의한 차이는 10a 당 3kg을 파종한 구와 6kg을 파종한 구간에 월동률이나 생육량의 차이는 인정되지 않아 3kg/10a의 파종이면 적절한 것으로 생각된다. 피복에 의한 월동률의 차이는 통계적으로는 인정되지 않았으나 번외로 시험한 시험구인 골에 파종한 자운영의 경우 월동률과 성장량 모두 양호하게 나타나 이에 대한 시험을 수행할 계획이다.

골에 파종된 자운영은 중부지방에서 다른 월동 작물의 월동률과 생육에서 알 수 있는 것처럼 골에 파종할 경우 월동과 생육이 향상될 것으로 보인다. 자운영 생육과 월동에 대한 처리 중 표 3에서 보는 바와 같이 통계적 유의성이 있는 것은 벼의 수확기이다. 본 시험에서 2002년도에 논에서 벼가 성장하는 동안 8월 20일 경에 자운영을 파종하여 벼와 함께 자운영의 생육이 8월 중순부터 10월까지 혼작의 형태로 유지되었다.

벼 품종 중 찰벼는 수확기가 10월 2일로 10월 28일에 수확한 일품벼보다 26일 빨랐는데, 찰벼 재배구에 자운영을 파종한 경우와 일품벼 재배구에 자운영을 재배한 것보다 월동 전 자운영이 일조량의 증가로 인하여 생육이 보다 양호하였으며 양호한 생육으로 인하여 보다 많이 자란 상태에서 월동을 하게 된다. 표 3에서 벼 수확기의 차이가 통계적으로 인정된 것은 이와 같이 중부지방의 경우 월동전 자운영의 생육상태가 중요한 것을 의미하며 이러한 결과는 벼 재배 시 조숙성 품종의 재배로 수확기를 앞당기고 그 결과 자운영의 월동 전 일조량을 늘리는 것이 자운영의 생육에 중요한 요인인 것으로 나타났다. 벼 수확기에 따른 생육량의 차이를 보여주는 표 4에서 월동률과 생육량 등 모든 면에서 벼를 빨리 수확한 것이 자운영의 생육에 매우 유리함을 알 수 있다.

Table 3. Analysis of variance for growth characteristics of CMV grown in paddy fields with different cultivation methods

Source	df	Over-wintering rate	Fresh weight	Dry weight	Moisture content
Genotype	1	NS	NS	NS	NS
Harvesting date*	1	17842 ***	33.39 *	0.4232 **	29.32 *
Sowing rate	1	NS	NS	NS	NS
Covering	2	NS	NS	NS	NS

* Harvesting dates of rice in paddy fields affect on the growth duration of CMV without shading of rice plants.

Table 4. Effects of harvesting date of rice on the over-wintering capacity and growth characteristics of CMV

Harvesting date	Over-wintering (%)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Moisture content (%)
Oct-03	80.96	4.15	0.54	85.98
Oct-03	23.77	1.40	0.23	83.4
LSD _{0.05}	10.9	2.24	0.22	2.28

2. 자운영의 월동 및 내동성에 관여하는 요인

월동 일년생인 자운영은 월동 기간의 생존율과 월동 직후의 생육이 녹비 및 피복 작물로서 자운영의 이용에 매우 중요한 요인이다. 자운영의 월동력은 여러 가지 요인에 의해 결정되나 다른 작물에서 알려진 것처럼 유전형, 파종방법, 파종기 등이 주로 관여한다고 볼 수 있다. 자운영의 월동력과 가장 중요한 형질인 내동성은 그 검정방법이 우선적으로 확립되어야 정확한 평가가 이루어진다. 내동성은 포장 상태에서 피해율과 생존율을 조사하여 검정할 수 있으나 최근에는 식물체의 엽절편 (leaf disc)을 채취하여 저온 처리 후 전해질 누출량을 측정하여 확인하고 있다. 이 절편을 이용한 평가는 포장 내동성과는 다소 차이가 있으나 온도를 제어하기 힘든 포장 조건과는 달리 정확한 온도 제어를 통해 내동성을 평가할 수 있는 장점이 있다.

자운영의 내동성은 수집중에 따라 다소 차이가 있으나 노화가 덜된 상위엽이나 중위엽의 내동성이 강한 경향을 보였다. 경기도 파주의 임진강변에서 수집한 자운영의 경우도 본 연구에서 이용한 엽절편의 용질 유출에 근거한 내동성 평가법을 통해 평가할 경우 내재적인 내동성이 다른 수집중에 비하여 높지는 않은 것으로 확인되었다. 생육이 왕성한 중위엽의 내동성이 높은 것은 월동전의 자운영 생육 상태가 월동력에 중요한 영향을 미칠 수 있으며 월동 전에 왕성한 생장을 하는 자운영이 내동성이 높아 월동력이 증가할 것으로 나타났다.

Table 5. Estimated LT₅₀ of the leaves of CMV collection on Mar. 20

Genotype	Upper leaves	Middle leaves	Lower leaves
Sacheon	-10.02	-8.00	-6.46
Namyangju	-6.77	-8.78	-8.45
China	-8.12	-6.17	-7.92
Wando	-7.69	-7.16	-7.02
Paju	-7.27	-7.82	-5.96

월동 후 개화기후 자운영의 월동력을 비교한 결과 전반적으로 내동성은 약해졌으며 하위엽의 경우 엽의 노화가 일어나기 시작하는 시기이므로 내동성의 편차가 크게 나타났다. 3월 달의 내동성을 조사한 결과인 표 5와 달리 표6에서 나타나 5월 달의

내동성은 수집종에 따라 엽의 노화 정도가 각기 달라 시기적으로 내동성 평가에 부적당한 것으로 생각된다. 본 연구에서 행해진 엽의 전해질 유출 정도 파악에 의한 내동성 평가법은 실제로 포장에서 내동성과는 다소 상이할 수도 있으나 자운영 수집종들의 LT_{50} 값이 $-7\sim-10^{\circ}\text{C}$ 의 범위를 보여 우리나라 동계 온도를 감안할 때 비교적 타당한 방법으로 나타났다.

Table 6. LT_{50} of the leaves of CMV collection on May 12

	Upper leaves	Middle leaves	Lower leaves
Sacheon	-8.20	-5.87	-3.60
Namyangju	-4.61	-2.53	-5.92
China	-4.34	-6.09	-3.32
Wando	-5.03	-3.61	-9.67
Paju	-6.98	-4.81	-6.56

포장에서 생육하는 자운영 수집종들을 5월에 포장에서 채취하여 LT_{50} (lethal temperature for 50 % leaching) 값을 구하기 위해 누출율의 로그값을 취한 후 회귀식을 구한 결과는 그림 8과 9에 나와 있다. 온도가 낮아짐에 따라 엽절편으로 부터 전해질의 누출은 크게 증가하였으나 자운영 유전자형간의 뚜렷한 기울기 차이는 나타나지 않아, 5월 달에 생육 중인 자운영 식물체로부터 내동성 정도를 평가하는 것은 다소 적합하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 남부 지방인 완도 수집종의 경우 다른 유전자형과는 상이한 결과를 나타내어 내동성이 비교적 낮은 것으로 판단되었다.

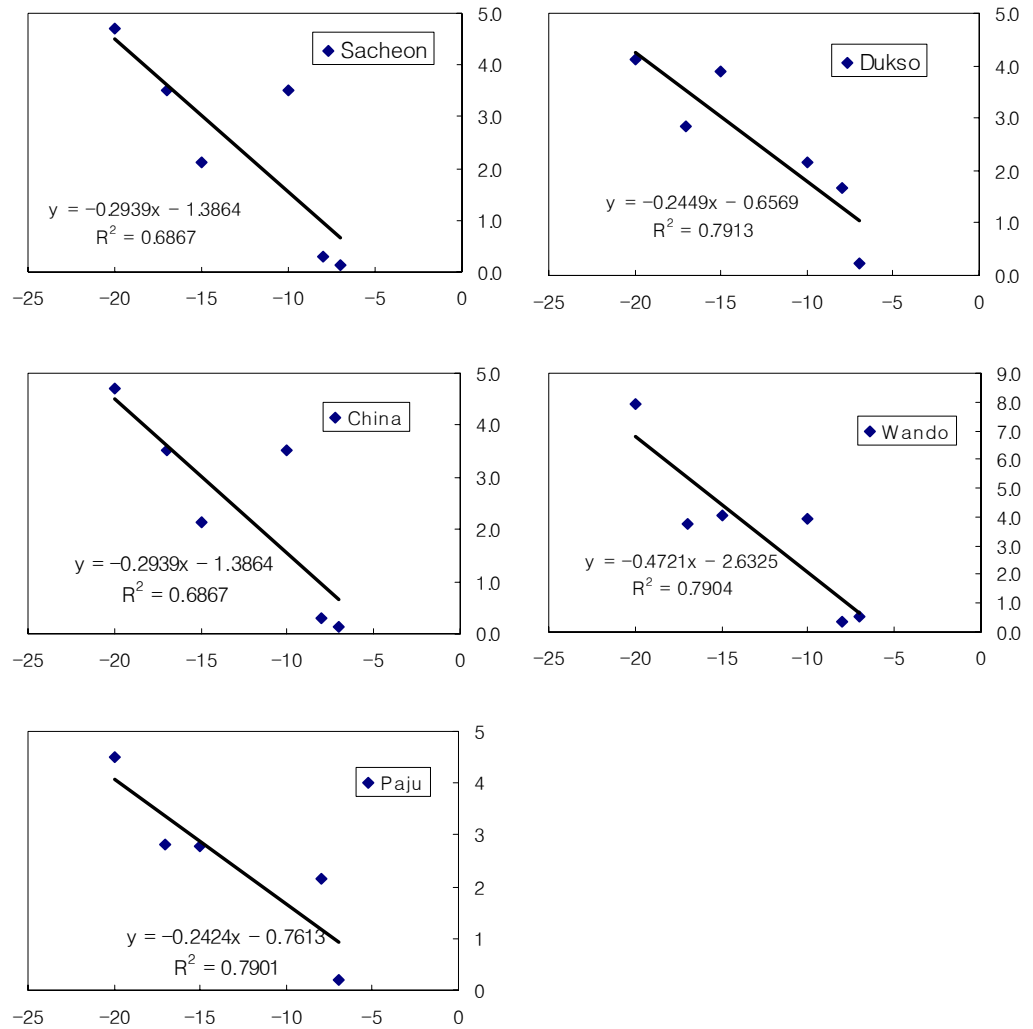


Fig. 8. Relationship between freezing temperature and solute leaching (logit) in upper leaves of CMV (chinese milk vetch) on Mar 20. X and Y axis indicate the treated temperature and logit response of leaf discs, respectively.

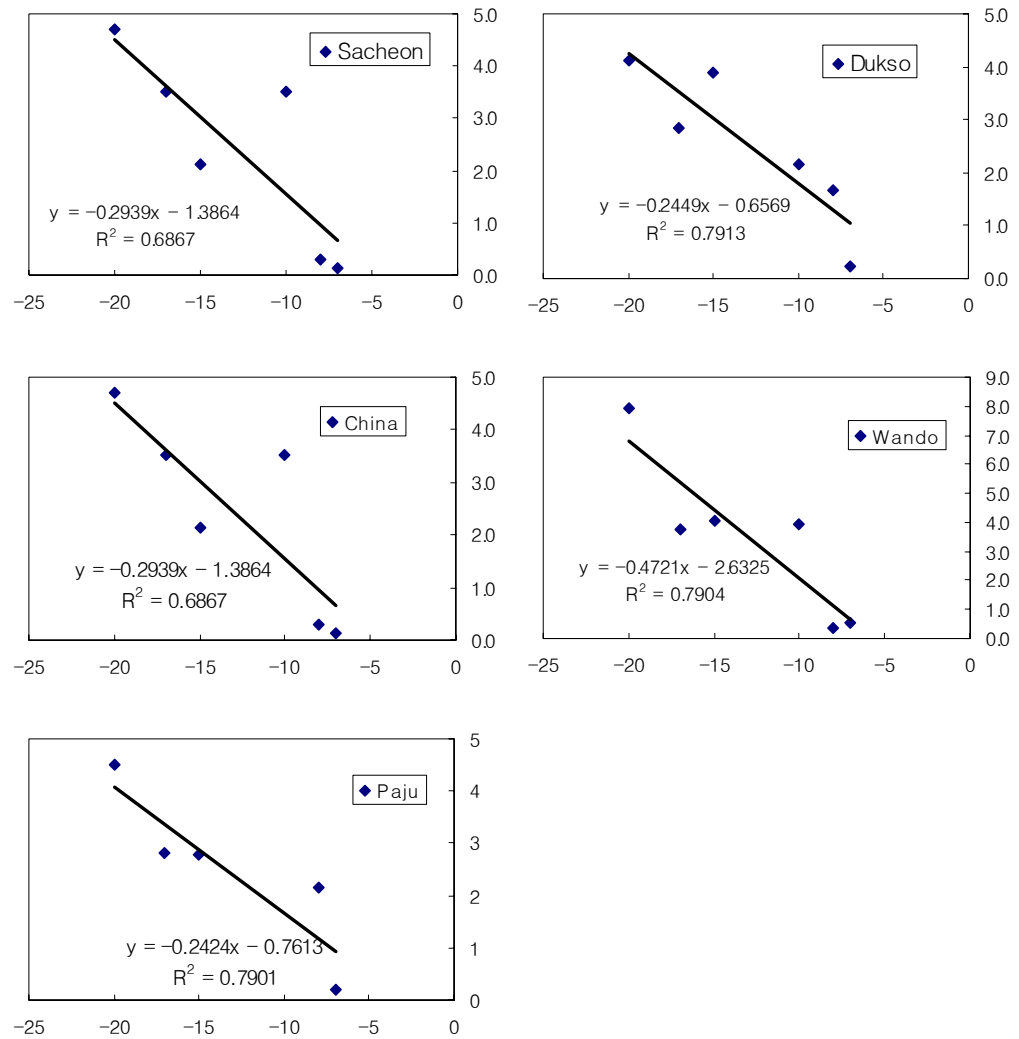


Fig. 9. Relationship between freezing temperature and solute leaching (logit) in upper leaves of CMV (chinese milk vetch) on May 11. X and Y axis indicate the treated temperature and logit response of leaf discs, respectively.

자운영의 내동성 검정을 하기 위하여 5월에 생육중인 자운영의 엽 절편을 재료로 내동성을 검정한 앞의 결과는 유전자형 간에 큰 차이를 나타내지 않아 월동 중인 자운영을 재료로 내동성을 검정하였다. 자운영의 내동성 검정을 위하여 월동기간인 12월부터 월동이 끝난 4월까지 엽 절편의 누출액의 전기전도도를 측정 한 결과는 그림 10 ~ 15와 같다. 겨울이 본격적으로 시작되는 12월 23일의 전해질 누출은 과종기와는 깊은 관계가 없었으며 유전자형 간에도 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다, 전해질 누출이 급격하게 일어나는 온도는 -15도 이상에서 확인할 수 있었다. 과종이 10월 중순 이전에 이루어졌으므로 12월 23일 까지 포장에서 약 두 달 정도 저온에 대한 경화 기간이 있었음을 고려할 때 이 시기 자운영은 저온에 대한 경화가 충분히 일어난 것으로 보인다. 그러나 완도 수집종의 경우는 다른 유전자형들과는 달리 -15도에서도 전해질 누출이 많아 이 시기에 저온에 의한 피해가 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 완도가 다른 지역보다 따뜻한 지역이므로 이 지역에 적응된 자운영의 경우 경화 기간이 보다 더 길어야 하는 것으로 보인다. 그 외의 유전자형들 간에는 저온에 감수성이 큰 차이를 보이지 않았다. 겨울이 본격적으로 시작되는 이 시기의 저온에 대한 한계 온도는 대부분의 유전자형에서 -15도인 것으로 나타났다.

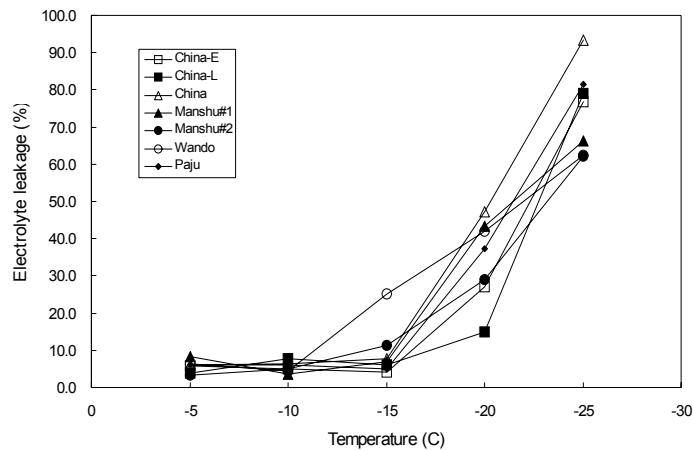


Fig. 10 Changes of electrolyte leakage of CMV disc according to decreasing temperature. Leaf discs were detached on Dec. 23 in 2004.

그림 11은 1월 12일 저온 처리를 실시한 후 전기전도도를 측정된 결과이다. 이 시기의 전기전도도는 12월 23일보다 낮은 온도에서 전해질 누출이 급격하게 증가할 것으로 예측되었으나 12월 23일 보다 낮은 온도인 -10 이하의 온도에서 전해질 누출이 급격하게 일어나는 결과를 보였다. 이시기의 유전자형들 간의 전해질 누출에 대한 차이는 거의 나타나지 않았으나 비교적 높은 온도인 -5도와 -10도에서 유전자형들 간의 차이가 있음을 알 수 있었다.

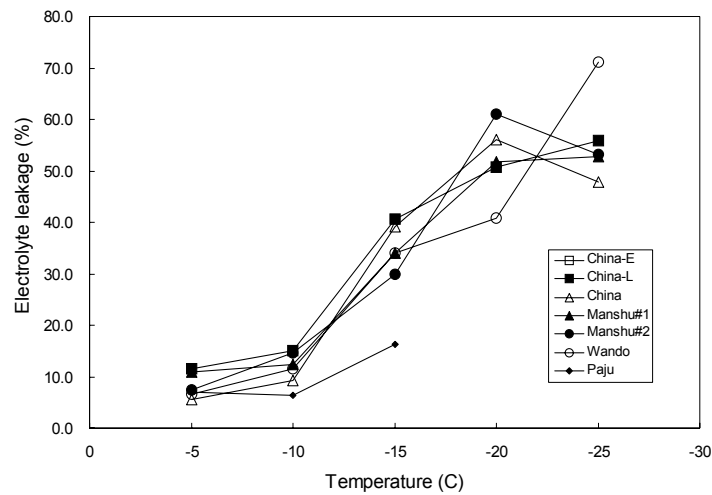


Fig. 11. Changes of electrolyte leakage of CMV disc according to decreasing temperature. Leaf discs were detached on Jan. 12 in 2005.

그림 12는 2월 3일의 결과로 전반적인 결과는 12월 23일의 결과와 비슷한 경향이 었다. 그러나 전반적으로 -15도보다 낮은 -20에 이르기까지 전해질 누출이 완만하게 증가하였고 -25도에서 전해질 누출이 급격하게 일어나는 결과를 나타냈다. 앞서 결과들이 -25도에서 완전한 전해질 누출이 일어난 반면 2월3일에는 -25도까지 완전하게 누출이 일어나지 않고 -30도에 이르러서야 완전하게 전해질 누출이 일어나 이 시기의 자운영은 앞선 시기들보다 잠재적인 내동성 정도가 더욱 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 우리나라 기후 특성상 이 시기가 가장 혹한기를 경과한 시기로 혹한기 동안 높은 정도로 저온에 대한 경화가 일어났기 때문인 것으로 생각된다. 이

이후의 시기인 3월 3일에 내동성을 평가한 그림 13은 그 결과가 12월 23일의 결과가 거의 유사한 값을 나타냈으며 이는 이 시기가 겨울을 경과하여 온도가 상승하여 겨울철동안 진행된 저온에 대한 경화가 탈경화되었기 때문으로 생각된다. 그러나 3월 3일의 전해질 누출 정도는 -15도에서 크게 증가하였으나 12월 23일 과는 다르게 전해질 누출 정도가 -25도 까지 비교적 완만하게 진행되었다. 이는 탈경화가 일어났을 지라도 저온에 대한 감수성 정도가 경화가 일어나기 전에 비하여 상대적으로 높음을 보여주는 것이라 할 수 있다.

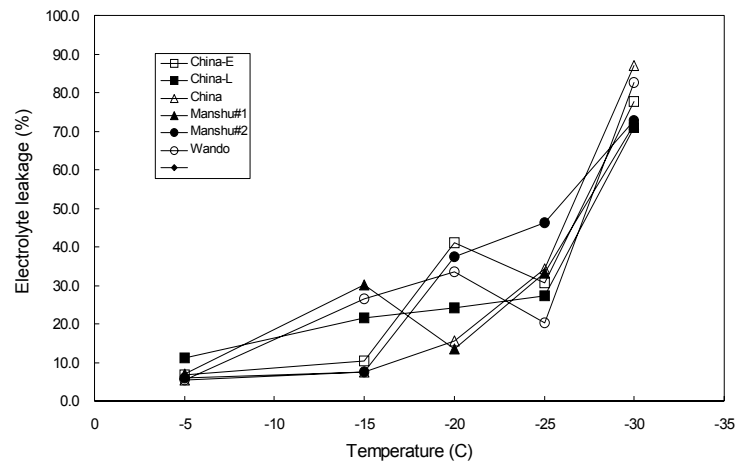


Fig. 12. Changes of electrolyte leakage of CMV disc according to decreasing temperature. Leaf discs were detached on Feb. 3 in 2005.

겨울이 완전히 끝나고 봄에 접어든 3월 23일의 결과는 겨울철의 결과와는 다른 양상을 보였는데, 전해질 누출이 일어나는 양상이 온도가 감소함에 따라 급격하게 증가하는 양상 없이 온도에 반비례하여 지속적으로 증가하였다. 이것은 월동 후 경화에 의해 증가된 저온에 대한 내동성이 상실되었기 때문인 것으로 생각되며 이와 같은 결과는 저온기에 자운영 체내에서 일어나는 경화 과정이 자운영의 내동성에 관여하는 중요한 요인이기 때문이다. 따라서 경화된 자운영과 경화가 일어나지 않은 자운영의 차이는 자운영이 저온에 노출되는 기간과 경화 과정에서 접한 온도 두 가지 요인이 자운영의 경화에 관여할 것으로 생각되며 경화 과정에서 일어나는 내부 물질

의 변화가 자운영의 내동성 차이에도 관여할 것으로 생각된다.

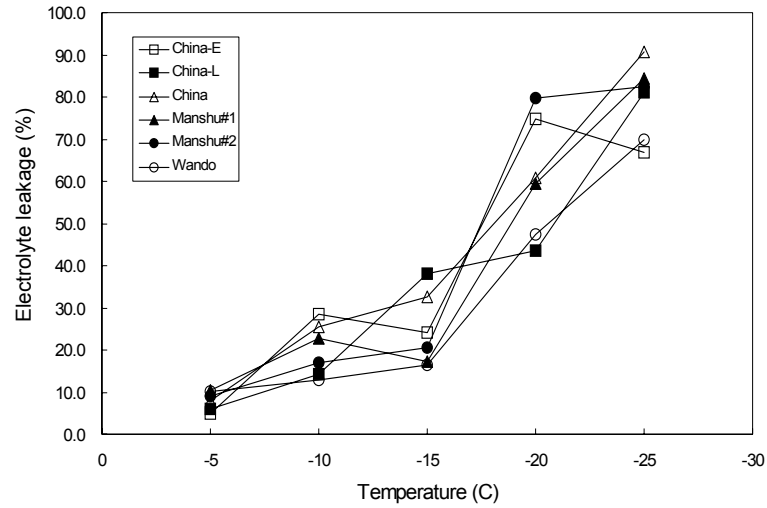


Fig. 13. Changes of electrolyte leakage of CMV disc according to decreasing temperature. Leaf discs were detached on Mar. 3 in 2005.

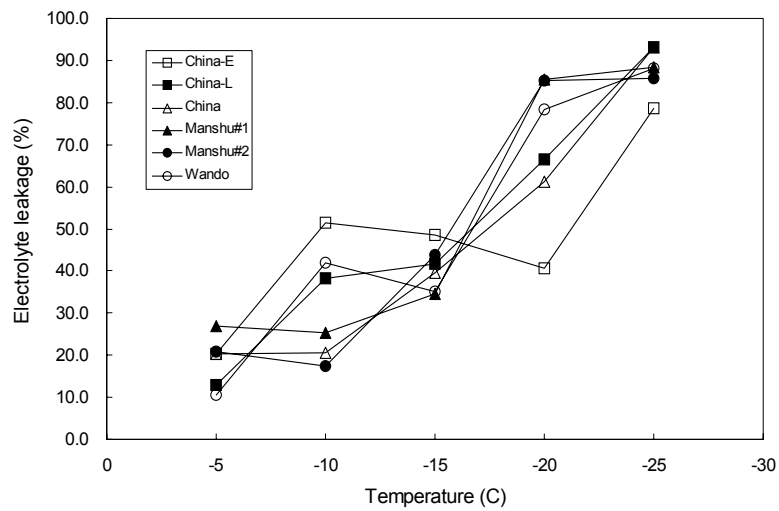


Fig. 14. Changes of electrolyte leakage of CMV disc according to decreasing temperature. Leaf discs were detached on Mar. 23 in 2005.

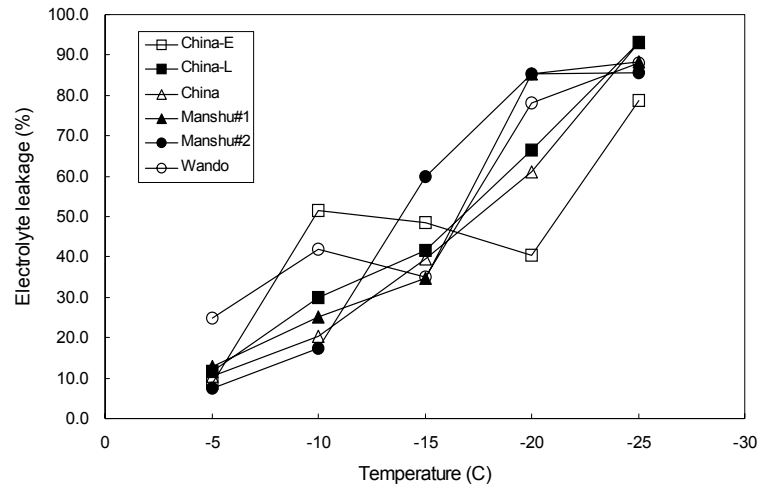


Fig. 15. Changes of electrolyte leakage of CMV disc according to decreasing temperature. Leaf discs were detached on Apr. 11 in 2005.

그림 14와 15는 월동 후 자운영 저온에 대한 반응으로 이 두 시기의 전해질 누출 양상을 비교할 때 경화 후 탈 경화가 진행된 이후에는 3월 말과 4월 중순 두 시기에 자운영의 내동성 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 자운영의 내동성에 대한 연구는 경화된 자운영을 대상으로 실시하여야 하며 경화는 비교적 오랜 기간 실시하여야 하는 것으로 나타났다. 앞의 실험에서 2월 초순에 자운영의 내동성이 가장 큰 결과를 나타냈으므로 우리나라의 온도 조건을 감안할 때 기온이 영하인 1월의 포장 조건에서 경화된 자운영의 내동성을 검정하여야 할 것으로 판단된다. 특히 위의 결과들에서 알 수 있는 것처럼 경화 과정을 거치지 않은 경우 전해질 누출 양상이 변곡점 없이 온도에 따라 거의 직선적으로 나타나므로 정확한 포장 내동성을 확인하는 데에는 문제가 있으므로 자운영은 포장 내동성을 측정하여야 정확한 내동성 정도를 확인할 수 있을 것으로 생각된다.

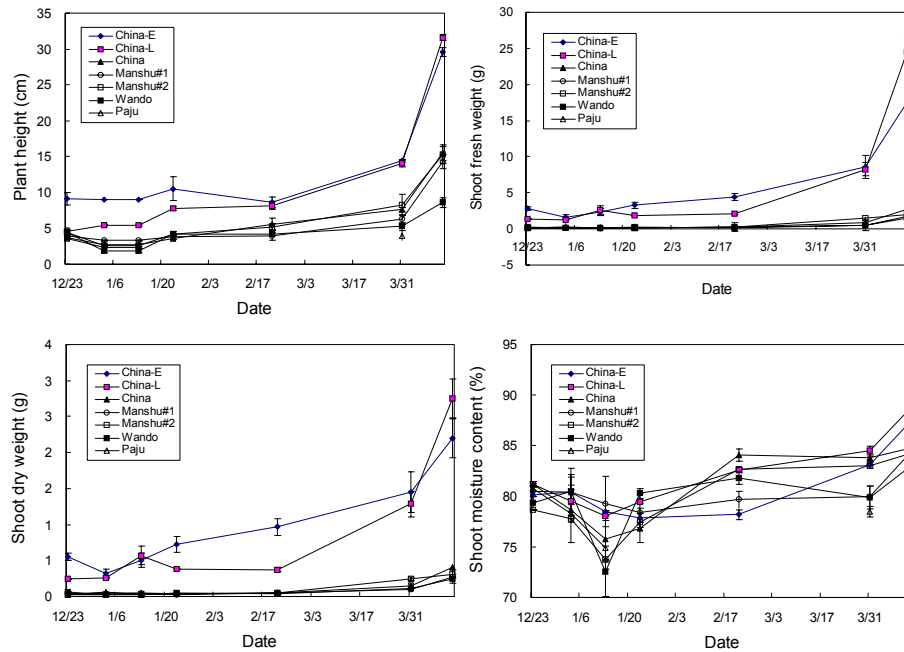


Fig. 16. Changes of growth characteristics of CMV genotypes during overwintering in 2005.

월동기간 중 유전자형들의 초장 변화는 유전형들 간의 차이보다는 파종기의 영향이 더욱 크게 나타났다 (그림 16). 9월 22일 파종한 중국 수입 자운영(China-E)와 10월 1일 파종한 중국 수입자운영(China-L)은 10월 11일 파종한 다른 자운영 계통들에 비하여 초장이 월동 기간 내내 큰 결과를 보였을 뿐만 아니라 같은 유전자형인 China 계통과도 큰 차이를 보였다. 초장의 차이는 4월에 접어들어도 그 차이가 유지되어 파종기의 조만에 따라 월동 후의 생육 정도도 차이를 나타내는 것으로 나타났다. 따라서 자운영을 녹비 피복작물로 이용하고자 할 경우 그 효과를 크게 하기 위해서는 10월 이전에 파종하는 것이 적합할 것으로 보인다. 그러나 우리나라의 작부 체계상 하작물 수확기 이전인 9월에 파종하는 것은 여러 가지 어려운 점이 있으므로 하작물의 수확기에 수확과 동시에 자운영을 파종할 경우 이듬해 자운영의 생초 및 건물 수량을 극대화 시킬 수 있을 것으로 생각된다. 실제로 자운영을 9월 이전에 파종하여도 논의 경우 자운영이 발아를 하나 발아 후 여러 가지 요인에 의해 고사하는

경우가 많아 입모 후 생존율이 그리 높지 않다. 따라서 자운영을 효과적으로 이용하기 위해서는 작물 수확 직후에 되도록 빨리 파종하는 것이 필요할 것으로 보인다. 더불어 파종기가 늦어질 경우 단위면적당 자운영 생물량을 높이기 위해서는 파종량을 늘리는 것이 파종기 지연에 따른 자운영의 생물량 감소를 상쇄시킬 수 있는 방안으로 생각된다.

월동 기간 중의 자운영 유전자형들의 생체중과 건물중 변화는 그림 17에 나와 있는 것처럼 파종기의 차이가 초장에 비해 더욱 크게 나타났다. 자운영의 건물중(생물량)이 가장 빠르게 증가하는 시기는 4월에 접어들면서이며 이후 개화기까지 증가하다 개화 이후에 감소하는 것을 알 수 있다. 파종기가 9월 22일 경우와 10월 1일 두 시기에 파종한 자운영을 비교하면 겨울철에는 9월 22일 파종한 것이 생체중과 건물중이 높게 나타났으나 4월에 접어들면서 두 파종기간의 차이는 나타나지 않았다. 이는 두 파종기간에 초기 유묘의 생육 차이는 있으나 이듬해 봄에 영양 생장이 왕성해지면서 겨울철의 생육 차이가 없어졌기 때문인 것으로 추정된다. 따라서 자운영을 녹비로써 이용할 경우 남부 지방의 경우는 10월 1일에 파종하여 월동 전 유묘의 생육이 비교적 양호할 경우 10월 전에 일찍 파종한 자운영과의 차이 없이 이듬해 봄에 자운영의 최대의 자운영 생물량 확보가 가능할 것으로 보인다.

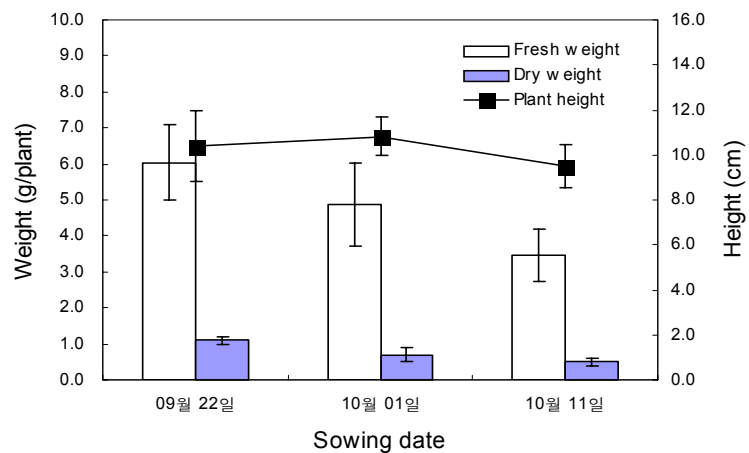
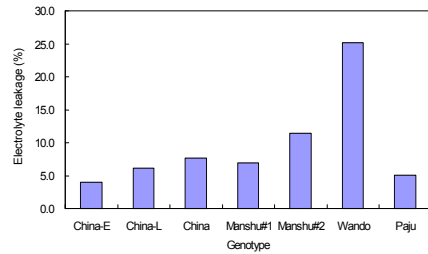


Fig. 17. Comparisons of fresh weight, dry weight, and plant height of CMV plant with different sowing timing in 2005. The measurements were conducted on Mar. 21 in 2005.

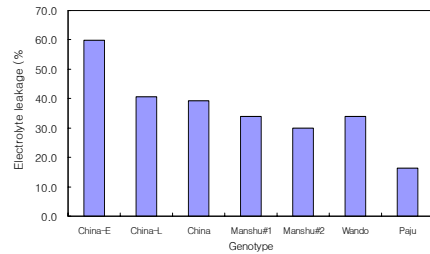
월동기간 중 중국 수입 자운영과 흑룡강성 수집 자운영 및 국내 수집 자운영의 체내 수분 함량은 혹한기인 1월에는 조파한 경우 수분 함량이 높은 경향을 보였으나 2월 이후에는 파종기간 수분 함량의 차이가 없었다. 그러나 전반적으로 조파한 경우 수분 함량이 다소 높은 경향을 보였는데 이러한 결과는 위의 당함량 결과에서 알 수 있는 것처럼 조파한 경우 월동기간 중 생육이 비교적 왕성한 이유가 월동전 충분한 영양 생장으로 인하여 체내에 양분 축적이 많아 뿌리의 발달도 좋아 자운영이 생장에 필요한 수분 흡수가 상대적으로 왕성하였기 때문이다.

자운영의 파종기에 따른 월동 직후 생체중, 건물중 및 초장의 비교 결과를 보면 9월 22일과 10월 1일 간에는 유의성 있는 차이가 없었으나 10월 11일 파종의 경우 뚜렷한 감소가 확인되었다. 이러한 결과는 남부지방에서 10월 중순 이후의 자운영 파종은 이듬해 적정한 자운영의 생물량 생산에 문제를 야기한다고 볼 수 있다. 또한 남부지방의 자운영 개화기가 중부지방보다 약 1주일 정도 늦으므로 중부지방의 경우 최소 10월 5일 이전에 자운영 파종이 이루어 져야 할 것으로 보인다. 녹비로써 자운영의 역할을 기대하기 위해서는 적정한 생물량 생산이 이루어져야 하므로 적절한 시기의 파종은 월동률의 증진 뿐 만 아니라 이듬해 녹비로써의 역할에도 중요한 의미가 있다고 생각된다.

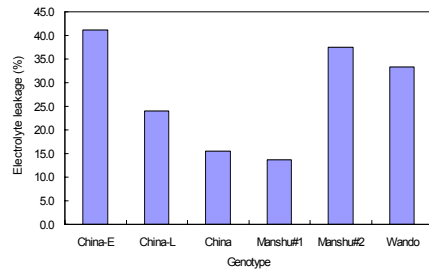
그림 18은 자운영 유전자형들간 월동 기간 중 내동성의 차이를 보여주는 결과이다. 월동 초기 전해질 누출이 많은 유전자형은 완도 수집종이고 낮은 유전자형은 경기도 파주 수집종이다. 그러나 그림에서 볼 수 있는 것처럼 내동성을 보여주는 전해질 누출 정도는 월동 후반기와 일치하지는 않았으며 이러한 결과를 볼 때 각 유전자형별로 내재적인 내동성 차이는 크지 않다고 생각된다. 따라서 자운영 유전자형의 내재적인 내동성 외에 재배적 조치를 통한 내동성 증대 방안이 자운영의 월동률 증진에 보다 중요한 요인인 것으로 보인다. 흥미로운 결과는 온도가 가장 낮은 1월과 2월에 파종을 조기에 실시한 경우 (China-E, China-L) 전해질 누출이 높게 나타나 일찍 파종할 경우 이듬해 건물 생산량은 높으나 혹한기 동해의 우려가 높아진다고 볼 수 있다.



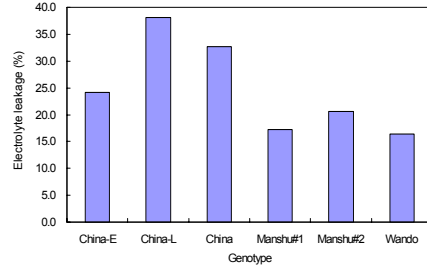
(Dec. 23)



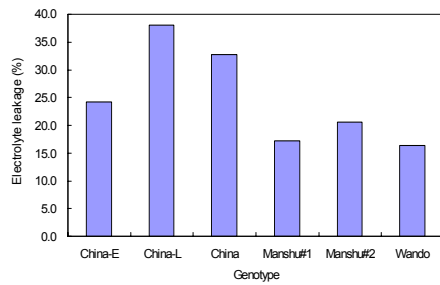
(Jan. 12)



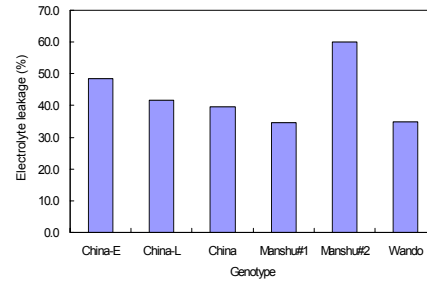
(Feb. 3)



(Mar. 3)



(Mar. 23)



(Apr. 11)

Fig. 18. Changes of electrolyte leakage from leaf discs of CMV genotypes. The electrolyte leakage was measured at -15°C for the samples collected over winter season from 2004 to 2005.

자운영 시기별 내동성 지표인 LT_{50} 추정을 위한 온도와 전해질 누출은 그림 19와 그림 20에 나와 있다. 앞서 본 것과 같이 저온에 따른 전해질 누출 정도가 가장 낮은 시기는 2월 3일로 이 시기의 회귀식의 기울기가 가장 낮은 값을 보였으며 월동이 끝난 3월 이후의 기울기가 크게 나와 이 시기의 내동성이 가장 낮음을 알 수 있다. 그림 19에서 얻어진 회귀식에 근거하여 월동기간 별 자운영의 LT_{50} 값을 구한 결과는 그림 20에 나와 있다. 내동성이 가장 큰 시기, 즉 가장 LT_{50} 가 낮은 시기는 2월 초순이며 가장 12월과 1월의 LT_{50} 값은 큰 차이를 나타내지 않았다. 그리고 3월 이후에는 비교적 높은 온도인 -15 도 이하에서 LT_{50} 을 보여 월동기간 경과로 인하여 얻어진 내동성이 3월 들면서 거의 상실되었음을 알 수 있다. 특히 3월 중순 이후에는 변화가 없어 경화에 의해 강화된 내동성이 완전히 상실되었다고 볼 수 있다. 따라서 자운영의 내재적 내동성 외에 경화에 의해 획득된 내동성이 자운영의 월동에 보다 중요한 요인인 것으로 추정되므로 경화에 필요한 온도와 기간이 충족되어야 월동률이 높아질 것으로 보인다.

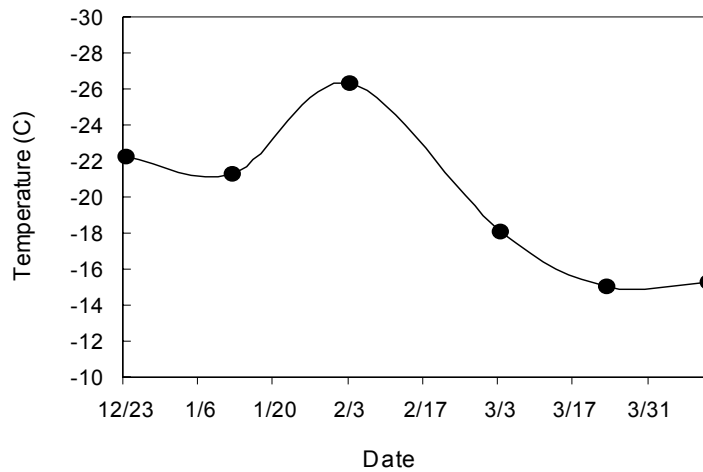
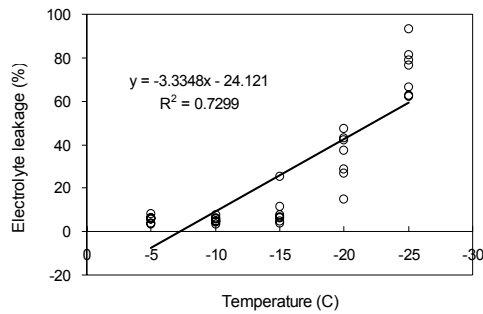
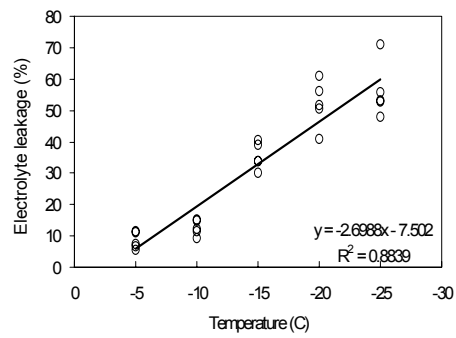


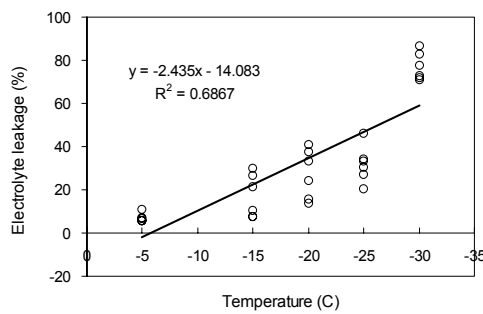
Fig. 19. Changes of LT_{50} of CMV plant during overwintering. LT_{50} was measured from the ratio of electroconductivity of intact leaf leachate to that of boiled leaf.



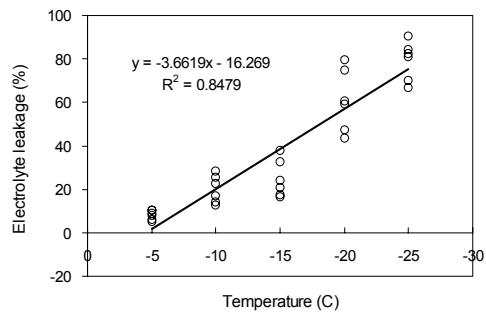
(Dec. 23)



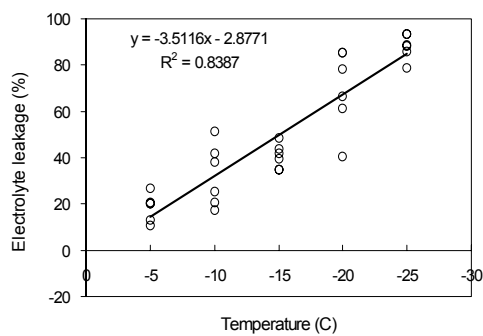
(Jan. 12)



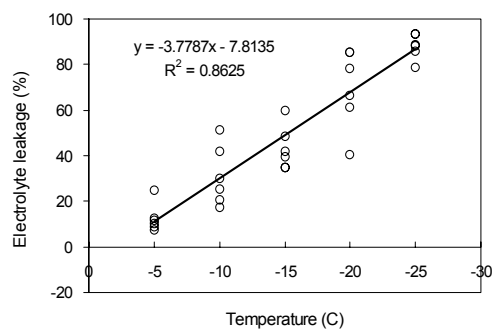
(Feb. 3)



(Mar. 3)



(Mar. 23)



(Apr. 11)

Fig. 20. Changes in the level of electrolyte leakage from leaf discs collected at different time during overwintering.

3. 자운영 수집종별 내동성의 생리·생태적 특성

월동기간과 월동 후 자운영 유전자형들의 생리·생태적 특성 차이를 알아보기 위하여 실험을 수행하였다. 월동이 끝난 후인 4월 7일에 조사한 자운영 수집종들의 생육 상황은 표 7에 나와 있다. 수집종간에는 초형과 생육정도에서 차이가 있었다. 자운영 수집종 중 임진강변에서 자생하는 파주종은 다른 수집종에 비하여 초장과 줄기 직경이 작았으나 엽각에서 독특한 특성을 보였다. 식물체의 엽각은 광합성시 수광 능력과도 관련이 있으며 월동기간 중 내동성과도 관련이 있다고 알려져 있다. 월동 작물인 맥류에서 초형이 포복형일수록 월동률이 높음을 감안할 때 자운영의 경우도 포복형이 월동률이 높을 것으로 생각된다.

파주수집종의 엽각은 다른 종에 비하여 5도 이상 작았는데, 본 연구에서 엽각은 지표면으로부터의 각도이므로 엽각이 작다는 것은 엽이 직립하지 않고 포복형이라는 것을 의미한다. 파주종의 작은 엽각은 식물체가 월동기간 중에 지표에 낮게 포복하여 월동하는 능력이 클 수 있다는 것을 의미하는 것으로 LT_{50} 의 결과에서 생리적인 내동성의 차이가 크지 않음을 감안할 때 파주종의 내한성이 강한 이유는 초형이 포복형이어서 추위에 강한 특성을 보이는 것으로 나타났다. 즉 내동성은 세포 수준의 내동성 외에도 초형이 자운영의 내동성을 결정짓는 중요한 요인인 것으로 생각된다.

앞서 나타난 LT_{50} 의 차이는 체내 세포 수준의 내동성에 의해서 좌우되는 형질이나 초형 등 형태적 특성에 의한 내동성의 차이는 leaf disc의 전해질 누출 실험에서 확인할 수 없으므로 자운영의 내동성은 세포 수준의 LT_{50} 값과 더불어 초형에 대한 고려도 있어야 한다고 생각된다. 엽각과 더불어 관부 발달과 뿌리 발달도 유전자형 간에 차이를 보였는데, 동해의 경우 많은 경우 저온에 의한 피해는 물론 겨울철 한발에 의한 피해가 동반되는 경우가 많으므로 관부 발달과 더불어 관근과 직근의 발달이 좋은 자운영이 겨울철 한해에 의한 피해를 회피할 수 있으므로 내동성이 좋을 것으로 보인다. 유전자형간에 이러한 지하부 생육의 차이를 고려하면 저온에 의한 내동성과 겨울철 한발에 의한 피해를 줄이기 위해서는 초형이 포복형이고 뿌리 발달이 좋은 자운영 계통을 육성하는 것이 바람직할 것이다.

엽각 외에 파주종의 경우 비교적 지상부대비 지하부의 발달이 좋아 월동 과정 중 뿌리를 깊게 박고 월동 과정에서 동반되는 한발의 피해를 줄일 수 있는 특성을 보인다고 할 수 있다. 표 8과 표 9는 월동중인 2월 하순과 월동 직후인 3월 하순에 측정

한 체내 물질 변화와 건물중의 결과로, 건물중의 경우 약 한달 정도의 차이에 매우 큰 변화를 나타냈으며 RWC의 경우는 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 스트레스의 지표가 되는 프롤린 함량은 감소하였으나 엽록소와 환원당 함량은 월동 한 달 후인 3월 26일에 크게 증가하였다. 저온에 의해 축적이 많아지는 것으로 알려진 안토시아닌의 경우 과주종이 다른 종에 비해 비교적 낮아 포장에서 저온에 의한 스트레스를 덜 받는 것으로 추정할 수 있었다. 완도수집종의 경우 안토시아닌과 프롤린 모두 높게 나타나 표 8과 표 9의 결과를 토대로 보면 가장 월동 기간 중의 스트레스 정도가 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 완도수집종이 우리나라 남부의 따뜻한 지역에서 자생하는 종이므로 다른 종에 비해 빙점 이하의 저온에 대한 저항성이 비교적 낮기 때문인 것으로 추정되었다.

Table 7. Growth characteristics of CMV overwintered in field condition

Collections	Leaf angle (°)	Plant height (cm)	Shoot FW (g)	Shoot DW (g)	Moisture content (%)	Stem dia. (mm)	Crown thickness (mm)	Root FW (g)
Paju #1	63.8c	19.0f	9.30c	1.44c	84.0b	1.88d	6.62b	1.83b
Namyangju	75.7a	31.8b	5.83d	0.77d	86.8a	2.11c	5.21d	0.45d
Wando	67.9b	25.4c	6.36d	1.05d	83.3b	2.16c	5.75c	0.67d
Paju #2	60.1d	22.1e	10.26c	1.67c	83.8b	2.09c	7.04b	1.34c
Sacheon	65.5bc	23.0d	17.30b	2.69b	84.4b	2.54a	8.50a	2.25a
China	73.2a	34.9a	24.82a	3.72a	85.0b	2.41b	8.51a	1.71b

Table 8. Comparisons of chemical components, shoot dry weight, and RWC between CMV collections on Feb. 23

Collections	Anthocyanin (mg/g FW)	Chlorophyll (mg/g FW)	Sucrose (mg/g FW)	Reducing sugar (mg/g FW)	Proline (mg/g FW)	Dry weight (g/plant)	RWC (%)
Paju	69.9±3.6	3.12±0.3	16.3±2.0	15.9±1.6	0.30±0.02	1.28±0.20	84.1±2.0
Namyangju	77.9±4.6	3.01±0.08	18.1±1.8	17.3±1.4	0.32±0.03	0.89±0.06	84.2±1.5
Wando	65.8±1.4	3.34±0.19	16.9±0.1	19.3±1.4	0.46±0.02	1.14±0.08	79.8±0.4
Sacheon	90.4±3.2	3.17±0.06	25.7±1.9	20.1±1.0	0.22±0.01	3.41±0.36	87.5±3.6
China	82.1±6.2	3.76±.42	15.9±2.5	19.3±1.3	0.24±0.03	0.91±0.17	87.1±0.8

Table 9. Comparisons of chemical components, shoot dry weight, and RWC between CMV collections on Mar. 26

Collections	Anthocyanin (mg/g FW)	Chlorophyll (mg/g FW)	Sucrose (mg/g FW)	Reducing sugar (mg/g FW)	Proline (mg/g FW)	Dry weight (g/plant)	RWC (%)
Paju	70.7±6.2	3.85±0.07	15.2±2.7	27.0±0.9	0.16±0.02	5.33±0.14	79.0±1.7
Namyangju	88.1±2.3	4.32±0.32	17.4±1.1	26.6±1.3	0.18±0.02	6.03±0.27	76.1±1.8
Wando	97.6±8.3	4.58±0.35	12.4±1.0	27.5±3.1	0.26±0.02	5.45±0.25	79.4±2.1
Sacheon	87.1±11.8	3.89±0.31	18.7±1.8	25.4±1.8	0.15±0.01	8.07±0.53	85.0±2.4
China	88.1±6.9	4.57±0.35	17.0±1.3	27.6±1.0	0.07±0.03	9.91±0.46	84.6±1.0

자운영 수집종들의 월동 기간 중 엽록소형광을 분석한 결과 (그림 21) 모든 종에서 2월말에 낮아졌다가 3월 들어 월동 후 높아지는 경향을 보였으며 종간의 차이를 보면 완도 수집종의 경우에 계속 낮은 값을 보여 남부지방에서 자생하는 종이 비교적 저온에 의한 광합성능력의 저하 정도가 큰 것으로 나타났다. 엽록소 형광은 저온에 의한 스트레스에 따른 자운영의 생리 활성 저하를 의미하므로 완도 수집종은 다

른 종에 비해 내동성이 낮은 것으로 판단되었다. 엽록소 형광은 광합성 명반응의 양자 수율을 나타내는 것으로 광합성 능력을 보여주는 수치이다. 엽록소 형광에 변수인 Fv/Fm 값은 겨울이 끝난 2월 말에 가장 낮은 수치를 보인 후 3월부터 영양생장이 증가하면서 다시 증가하였다.

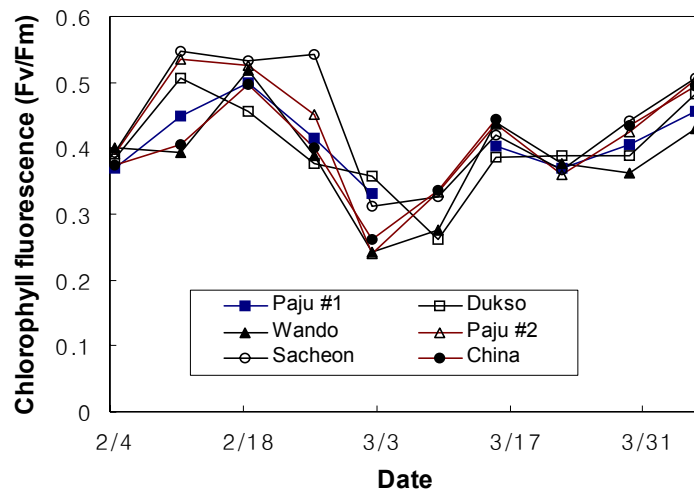


Fig. 21. Changes of chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) in CMV collection during overwintering period.

자운영 유전자원간의 유연관계를 분석한 결과(그림 22)를 보면, 파주수집종과 중국 수입종은 유연 관계가 낮으며 남양주에 밭에서 수집한 자운영과 파주 수집종간에는 유연관계가 매우 가까워 유전적으로 유사한 것으로 나타났다. 완도와 사천에서 수집한 자운영 유전자원의 경우도 파주 수집종과 유연관계가 높아 이들도 우리나라 자생하는 자운영인 것으로 추정되었으며 특히 이들도 중국 수입종과는 유연관계가 낮은 결과를 보였다. 그러나 남양주 논에서 수집한 자운영의 경우는 자생 수집종과는 다소 유연관계가 낮았으며 도리어 중국수입종과 유사하게 나타났는데, 이와 같은 결과는 남양중 논에서 자라는 자운영은 중국수입종이 죽지 않고 논에서 지속적으로 발생한 것으로 사료되었다. 따라서 국내 자생종은 중국 수집종과는 유전적으로도 차이가

있는 것으로 추정되며 이와 같은 결과는 국내 자생종이 우리나라의 기후 환경에 적응하여 자라고 있으며 특히 겨울철의 저온에도 사멸하고 자라는 것을 의미하는 것으로 추후 보다 월동력이 높은 자운영 계통의 개발이 충분히 가능함을 보여주는 것이다.

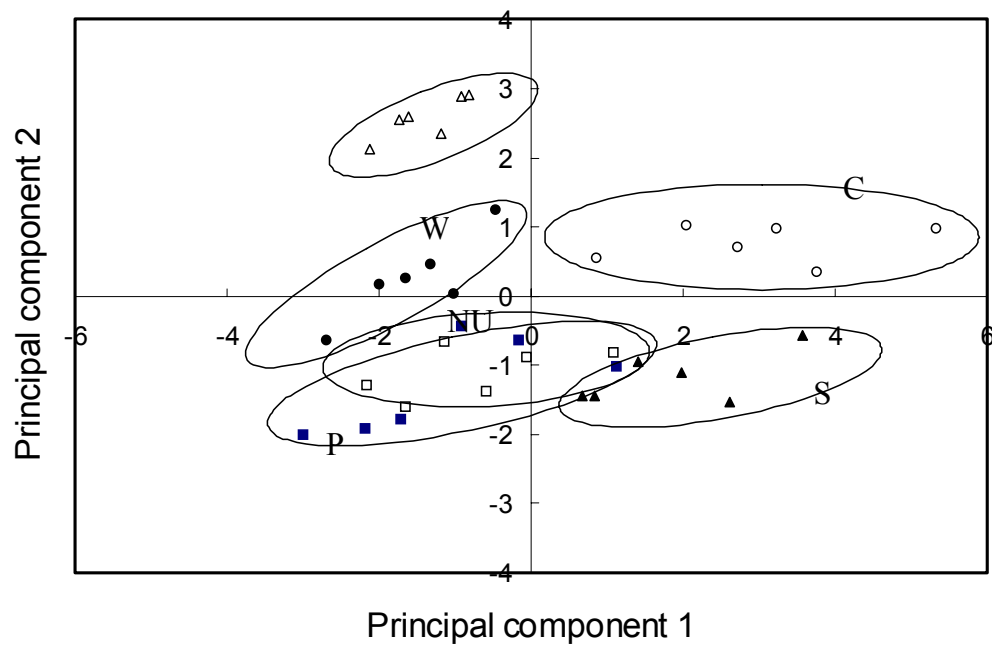


Fig. 22. Principal component analysis of CMV collections based on the growth characteristics during overwintering season. The names of genotypes, N, W, C, NU, P, and S mean Namyangju, Wando, China, Namyangju (upland field), Paju, and Sacheon, respectively.

4. 자운영 수집종 중 파주 수집종과 중국수입종의 비교

자운영 수집종 중 파주 수집종과 중국도입종의 저온 순화 온도에 따른 변화를 확인한 결과는 표 10에 나와 있다. 두 수집종을 3달간 키운 후 저온순화 과정을 거쳐 0℃와 4℃에 1주간 처리하여 분석한 결과, 식물체 막의 건전성을 보여주는 MDA 값

은 두 종 모두 낮은 온도에서 큰 값을 보여 저온 스트레스에서 막의 건전성이 낮아지는 것을 보였는데, 중국도입종보다 파주수집종이 더 높아지는 결과를 보였다. 가용성단백질, 프롤린, 전분, 엽록소 함량도 저온에서 낮아졌으나 환원당 함량의 경우는 낮은 온도에서 다소 높아지는 경향이었다. 온도가 4°C에서 0°C로 낮아짐에 따라 가장 큰 값의 차이를 보이는 것은 프롤린과 전분함량이었으며 전분의 경우는 광합성 효소인 엽록소 함량이 줄어드는 것에서 알 수 있는 것처럼 광합성에 의한 전분 축적량이 줄어들기 때문인 것으로 생각된다.

Table 10. Comparisons of the content of chemical components in CMV collections acclimated at 0 and 4°C

	MDA	Sol. Protein	Proline	Reducing sugar	Chlorophyll	Starch
	(mmoles/g FW)			(mg/g FW)		
China 4°C	62.4±5.50	7.10±0.17	0.99±0.32	25.4±1.69	4.24±0.12	1.60±0.10
Paju 4°C	70.2±4.93	7.68±0.53	0.97±0.17	26.9±2.47	4.75±0.08	0.83±0.40
China 0°C	68.2±12.7	6.82±0.59	0.44±0.05	28.0±1.91	3.95±0.13	0.31±0.07
Paju 0°C	73.4±9.9	6.63±0.12	0.57±0.09	27.7±1.01	4.18±0.14	0.44±0.06

두 유전자형간의 상대수분함량 (RWC)는 4°C보다 0°C에서 높아 저온에서 삼투압 조절물질의 함량이 높아졌으나 두 유전자형간의 차이는 크지 않았다(그림 23). 이와 같은 결과는 온도가 낮아짐에 따라 두 유전자형간의 반응 차이는 그리 크지 않아 유전자형 간 내재적 내동성 정도는 확인하기 어려웠다. 따라서 두 종간의 월동률 차이는 내재적 차이보다는 초형 중 엽각 등의 요인이 더 큰 것으로 나타났다.

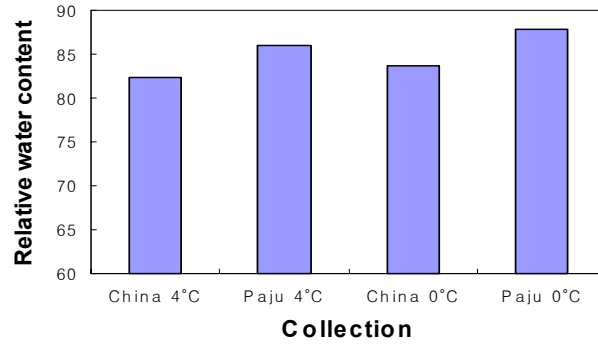


Fig. 23. Relative water content of CMV collections acclimated at different temperature, 0 and 4°C.

5. 자운영 재배 방식이 내동성에 미치는 영향

자운영의 내동성 증진은 유전적인 측면 외에 재배적 측면에서 재배법을 개선하여 증진시킬 수 있다. 그러나 자운영이 녹비용 피복작물임을 고려할 때 내동성 증진을 위하여 양열재의 사용이나 피복을 시키는 것은 적절하지 못한 조치이므로 파종법과 파종시기를 조절하여 내동성과 월동 후 생육을 증진시키는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

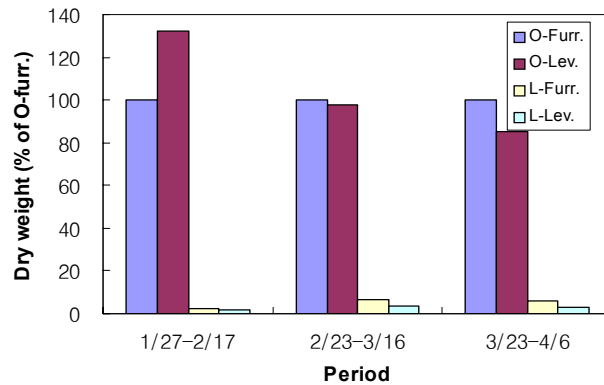


Fig. 24. Effect of the type of sowing practice on the growth of CMV after overwinter.

재배적 조치 중 자운영의 파종기를 적기(9월 5일)과 만기(10월 20일)로 다르게 하고 파종 방법을 골뿌림과 평휴 뿌림으로 달리한 경우 월동 후 자운영의 생장은 그림 24과 같이 큰 차이를 나타냈다. 10월 20일에 파종한 경우 자운영의 생육 정지기까지 이루어지는 생육이 미진하여 월동 후에도 생육량의 차이가 크게 나타났다 (그림 25). 적기 파종의 경우 골파종과 평휴 파종간에 생육량의 차이가 크지 않았으나 만기 파종의 경우 골파종에서 경우 월동률도 높게 나타났으며 월동 후의 생육도 평휴 파종보다 높게 나타나 자운영의 파종 적기를 늦췄을 경우 월동률과 월동 후의 생육을 증진시키기 위해서는 골파종을 하는 것이 타당한 것으로 나타났다. 적기 파종의 경우 월동 직후에는 평휴 파종의 생육이 좋았으나 3월 이후에는 골파종한 경우가 좋은 생육을 보였다. 파종기를 일찍 골 뿌림한 경우 월동 전 뿌리 발달을 비롯한 생육이 상대적으로 우수하여 월동 후 재생육에 필요한 에너지와 양분을 체내에 많이 축적하여 월동 후 재생육이 일어나는 동안 만파에 비해 생육이 급속도로 진행된 것으로 보인다. 따라서 월동 후 봄철에 자운영의 재생육을 왕성하게 하여 단기간에 생물량 생산을 많이 하기 위해서는 월동률 증진과는 별개로 파종기를 앞당기는 것이 유리하다고 볼 수 있다.

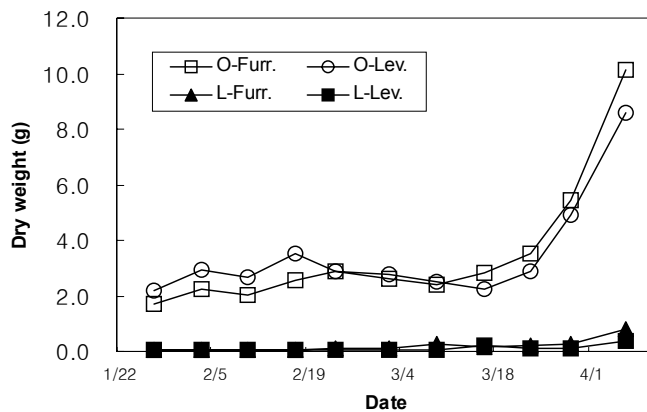


Fig. 25. Changes in dry weight of CMV with different sowing practice.

파종 양식에 따른 월동 후 생육의 차이와 관련된 요인을 알아보기 위하여 파종기 별 자운영 체내의 수분 상태와 안토시아닌, 엽록소 함량 등을 조사하였다. 파종 양식별 자운영 체내의 수분 함량은 적기 파종의 경우 차이가 없었으나 만기 파종의 경

우 골뿌림한 경우 평휴 뿌림을 한 경우 보다 수분 함량이 높게 나타났다 (그림 26, 그림 27). 포장에서의 생육 상황을 보더라도 평휴 뿌림의 경우 지상부가 골뿌림한 경우 다소 마른 경향이 있었으며 이와 같은 결과는 월동 과정에서 평휴 뿌림이 골뿌림한 경우보다 저온에 의한 피해를 더욱 심하게 받았기 때문인 것으로 생각되며 또한 골과중의 경우 상대적으로 지하수위가 높아질 수 있으며 근권의 수분이 넉넉하여 수분 흡수가 상대적으로 용이하기 때문인 것으로 보인다. 월동 기간 중에도 다른 파종 양식과 달리 만기에 평휴 뿌림을 한 경우는 가장 낮은 수분 함량을 보여 이 기간 동안 지속적으로 저온에 의한 해를 받는 것으로 나타났다. 이는 평휴 뿌림의 특성상 상대적으로 토양 수분 흡수에 있어서 불리하며 골뿌림에 비해 차가운 바람에 노출될 위험이 커 생육이 저하되어 근권의 발달이 불량해져 수분 흡수가 용이하지 않기 때문이다. 수분 함량 차이는 월동 기간 중 2월 중에 가장 큰 차이를 보였으며 월동 후 4월에 접어들어서는 차이를 보이지 않아 저온에 의한 피해를 회복하는 것으로 나타났다. 시기별로 파종 방식 간 수분 함량의 차이를 보면 2월에 파종 방식 간에 차이가 컸으나 월동이 3월 이후 4월에는 그 차이가 거의 나타나지 않았다.

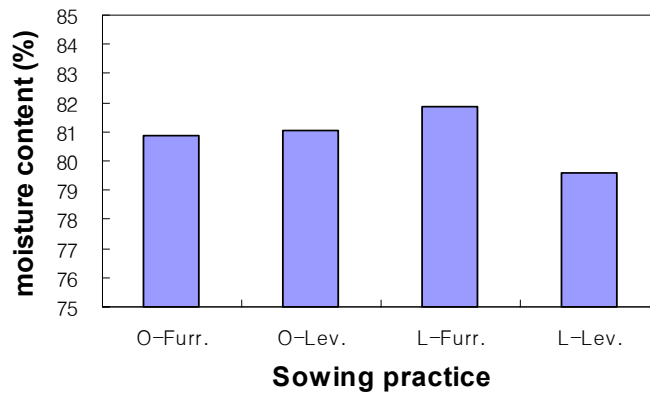


Fig. 26. Comparison of moisture content in CMV after overwinter under different sowing practices.

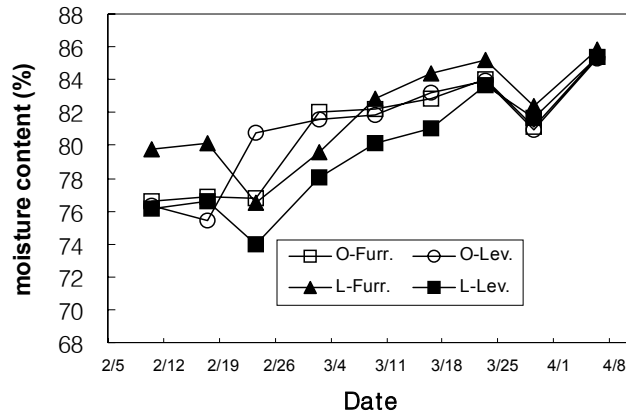


Fig. 27. Changes in moisture content of CMV after overwinter.

자운영을 과중 양식을 달리하여 재배한 결과 월동 기간 중의 안토시아닌 차이는 그림 28과 그림 29에 나와 있다. 수분 함량의 결과와 같이 만기에 평후 뿌림을 한 경우 저온 스트레스에 의해 그 함량이 증가하는 안토시아닌은 적기 골뿌림을 한 경우보다 30% 이상 증가하였는데 이와 같은 결과는 만기 과중에 따른 월동 전 생장 확보가 불충분하고 이에 따라 월동 기간 중에 저온에 의한 스트레스를 많이 받기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 같은 시기에 골뿌림을 한 경우 골을 7cm 깊이로 하여 과중하였기 때문에 월동기간 중에 저온에 의한 피해를 막을 수 있었을 것으로 생각된다. 그러나 만기 과중한 경우 월동 전 생장이 적기 과중에 비하여 적으므로 월동 후에 적정 회복을 확보와 단위면적당 자운영 생산에는 다소 문제가 있는 것으로 보인다. 그러나 기상 조건 및 작부 체계상 자운영 과중기가 늦어질 경우 월동률을 높이기 위해 골과중을 하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 그림 25는 월동 기간 동안의 안토시아닌 함량의 변화 결과이다. 안토시아닌 함량은 겨울이 끝나는 시기인 2월 말부터 급격하게 낮아지고 3월 중순부터 변화 없이 낮은 값을 유지하였다. 이러한 결과는 포장상태에서 자운영은 3월 중순부터 저온에 의한 스트레스를 거의 받지 않는다는 것을 보여준다고 볼 수 있다.

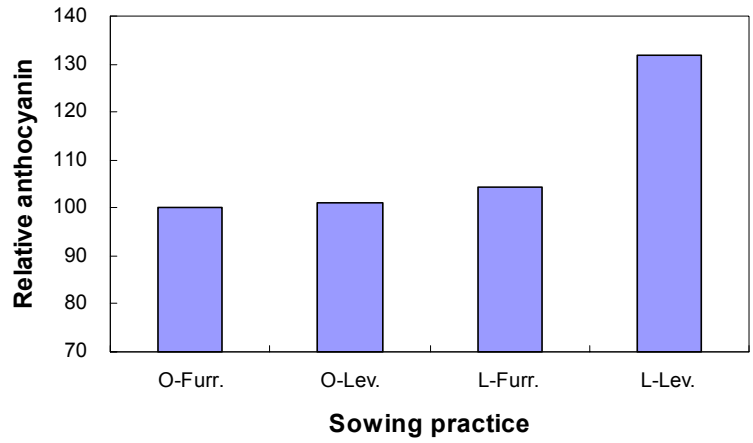


Fig. 28. Comparison of anthocyanin content in CMV after overwinter under different sowing practices.

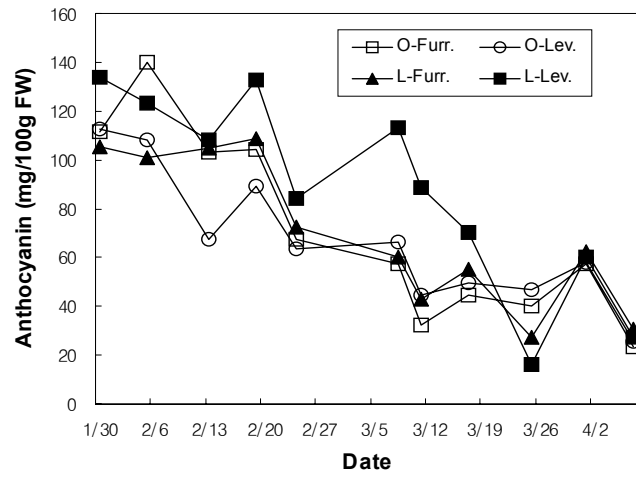


Fig. 29. Changes in anthocyanin content of CMV during overwintering.

자운영의 엽내 엽록소 함량은 그림 30와 그림31에서 나타난 것과 같이 적기 파종보다 만파한 경우에 다소 낮은 결과를 보였으며 특히 평휴 만파한 경우에 가장 낮은 함량을 보였다. 엽록소 함량이 높을 경우 내동성이 증가한다는 보고가 있으므로 엽색이 짙은 적기 파종과 골파종에서 상대적으로 내동성이 높아지는 것으로 나타났다. 만기 파종에서 낮은 엽록소 함량은 앞서 나타난 안토시아닌의 결과와는 반대의 결과로 만파한 경우 저온에 의한 스트레스가 커져 엽록소 함량은 낮아지고 대신에 안토시아닌이 엽내에 많이 축적되어 엽색이 붉은 정도가 더 심한 결과를 보였다. 시기별로 엽록소 함량의 변화 추이를 보면 2월 13일 전반적으로 엽록소 함량이 높은 결과를 보인 것을 제외하고는 4월 초까지 엽록소 함량이 지속적으로 증가하였으며 4월 중순에 생식생장을 하면서 엽내 엽록소 함량이 다소 낮아지는 결과는 보였다. 안토시아닌의 결과와는 거의 반대의 경향이나 엽록소 함량은 일중 최저 온도가 빙점 이상으로 되는 3월 중순 이후에 본격적으로 증가하는 결과를 보여 엽록소 합성은 최저 온도가 빙점 이상으로 올라가는 시기에 활발히 진행되는 것으로 나타났다.

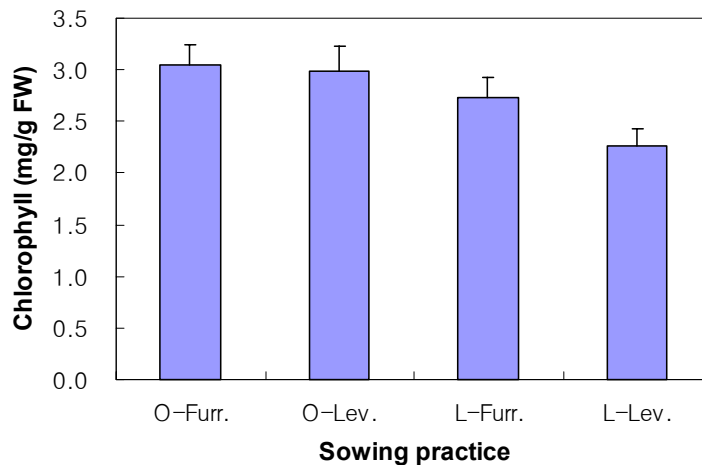


Fig. 30. Comparison of chlorophyll content in CMV after overwinter under different sowing practices.

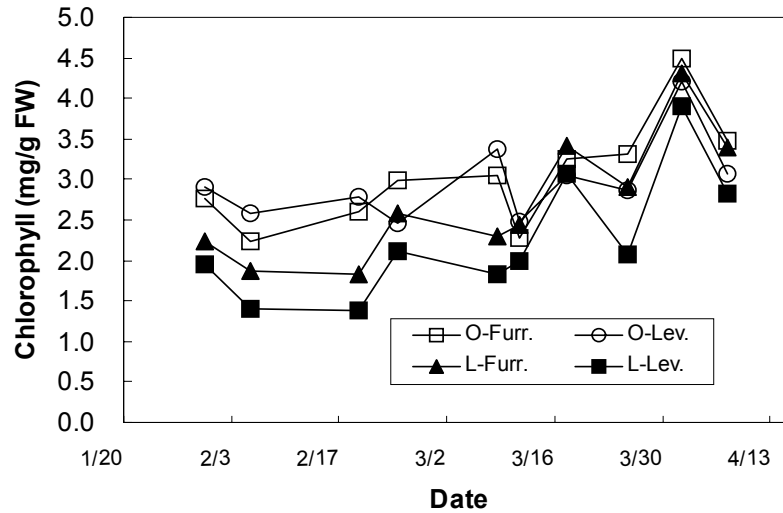


Fig. 31. Changes in chlorophyll content of CMV during overwintering.

식물체내의 내동성은 체내 결빙 방지 등을 목적으로 삼투압조절제(osmoticum)의 농도를 높여 수분포텐셜을 낮추어 증진된다. 삼투압 조절제로는 당, 프롤린 등이 대표적인 물질이다. 특히 식물체내 스트레스 지표 물질로 알려진 프롤린의 함량은 과종 방법에 따라 자운영내 함량이 그림 32과 같이 다르게 나타났다. 적기에 과종한 경우에 프롤린 함량은 만기에 과종한 경우보다 훨씬 높은 수준을 보였으며 만기 과종한 경우, 골과종한 자운영에서 평휴 과종한 자운영보다 높은 함량을 나타냈다(그림 33). 프롤린은 체내의 삼투압 조절물질로 작용하는 아미노산으로써 동해와 동반한 한발 조건에 처한 경우 적기에 과종한 자운영은 체내 축적된 양분으로부터 프롤린을 적극적으로 합성하나 만기 과종된 경우는 그 능력이 떨어지는 것으로 나타났다. 프롤린 함량은 2월 중순에 가장 높은 값을 나타냈으며 2월말부터 급격히 감소하는 경향을 보였다. 과종방법 간에도 적기 평휴 뿌림 > 적기 골뿌림 > 만기 골뿌림 > 만기 평휴 뿌림 순으로 높은 값을 보여 안토시아닌과 엽록소 함량에서 나타난 결과와 같은 경향을 보였다.

엽록소 형광은 스트레스를 받을 경우 Fv/Fm 값이 감소하는데, 평휴 뿌림과 골뿌림의 경우 그림 34에 나와 있는 것과 같이 한 겨울인 2월 중에는 골뿌림보다 평휴 뿌림이 높았는데 이와 같은 결과는 만기 과종과 달리 적기 과종일 경우 골뿌림이 저

온에 대한 스트레스를 완화시키지는 못하는 것으로 나타났다. 두 파종 방법 간의 엽록소 형광의 차이는 월동 후인 3월부터는 그 차이가 거의 없어졌다.

월동기간 중 체내 환원당 함량을 조사한 결과 그림 35와 그림 36와 같이 만기 평휴 뿌림에서 가장 높았고 적기 골뿌림한 경우에 가장 낮은 결과를 보였으나 그 차이는 뚜렷하지 않았다. 파종방법간의 차이는 크지 않았으나 모든 파종 방법에서 공히 시기적으로 3월 중순까지 낮아지는 경향을 보이다가 3월 중순이후에 높아지는 경향을 보여 환원당 함량은 자운영의 생육이 왕성해지면 증가하는 것으로 나타났다. 파종 방법 간에는 적기와 만기 파종을 비교할 때 초기에는 만기 파종한 경우가 환원당 함량이 높았으나 3월 들어서면서 적기 파종이 다소 높은 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 환원당이 온도가 낮은 2월에는 만기 파종한 자운영에서 높은 것으로서 저온에 의한 스트레스는 환원당의 함량을 증가시키는 것으로 추정된다.

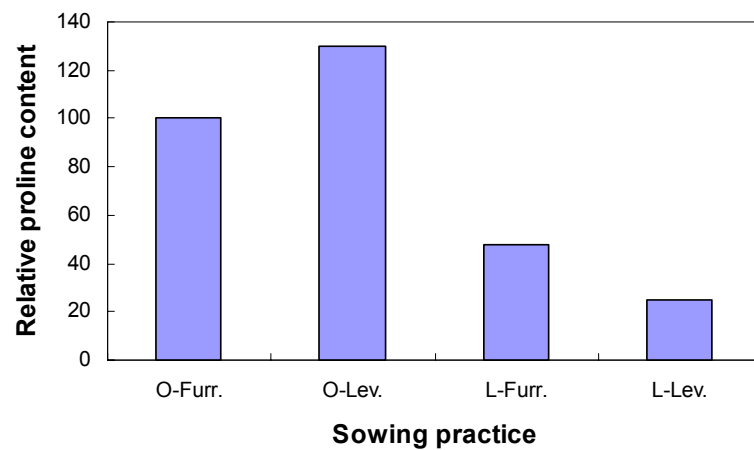


Fig. 32. Comparison of proline content in CMV after overwinter under different sowing practices.

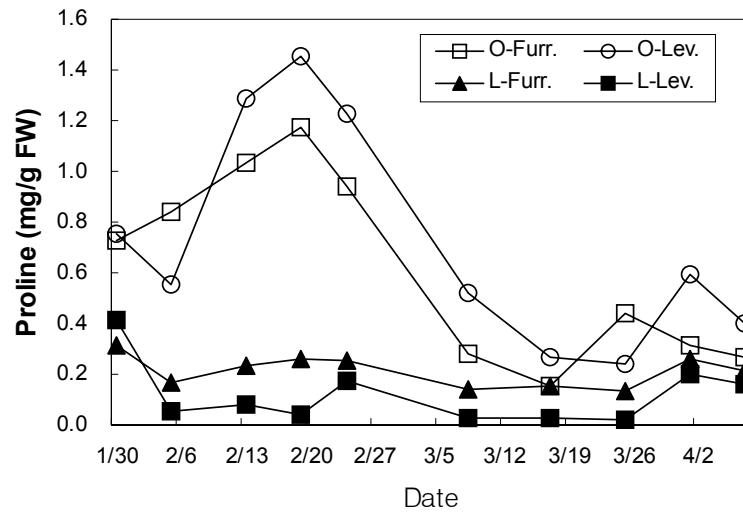


Fig. 33. Changes in proline content of CMV during overwintering.

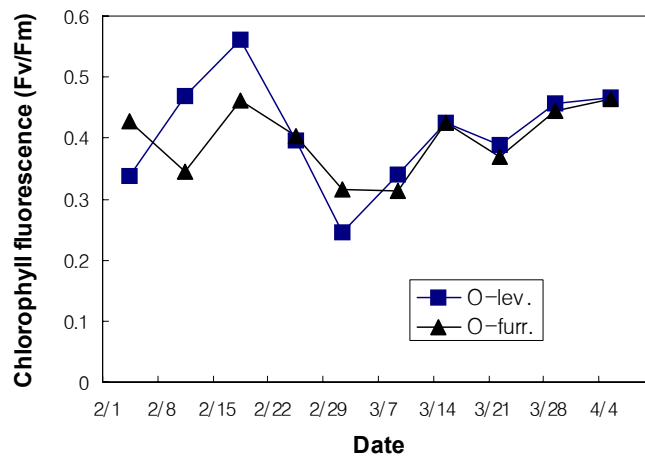


Fig. 34. Changes in chlorophyll fluorescence of CMV during overwintering.

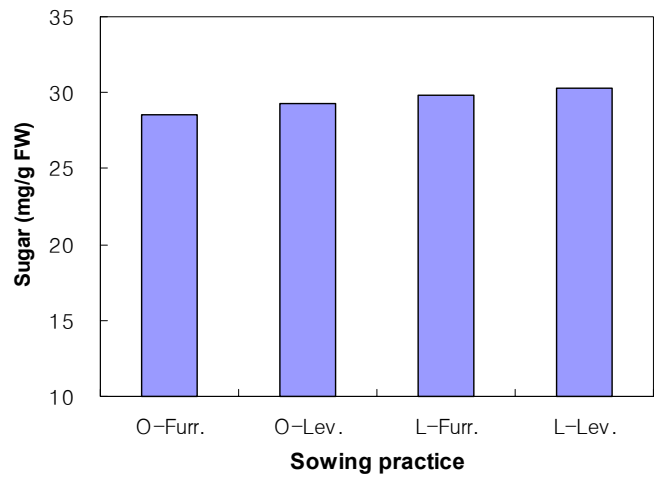


Fig. 35. Comparison of reducing sugar content in CMV after overwintering under different sowing practices.

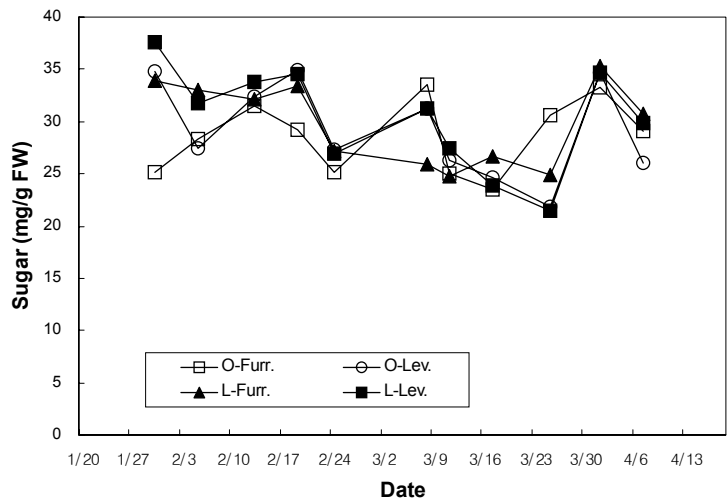


Fig. 36. Changes in reducing sugar content of CMV during overwintering.

자운영 월동 중의 체내 비환원당인 수크로오스의 함량은 환원당과 비슷한 경향을 보였으나 만기 과중한 자운영에서 높은 경향이 뚜렷하였다(그림 37, 그림 38). 수크로오스 함량은 2월 중순에 최고 값을 보이고 이후에 점차 감소하였으며 과중 방법간에 비교하면 만기 평후 뿌림에서 지속적으로 제일 높은 함량을 보였다. 이상의 당함량에 대한 결과를 종합해 보면 당함량은 환원당과 비환원당 공히 만기 과중시 상대적으로 높은 수치를 보여 자운영은 만기 과중시 저온에 의한 스트레스를 줄이기 위해 저장된 전분 등을 분해하여 체내의 당 함량을 높여 저온 스트레스에 대처하는 것으로 나타났다. 즉 유전자형 간에는 당함량이 높은 것이 내동성이 클 수는 있으나 동일 유전자형에서는 보다 강한 저온 스트레스가 부여될 경우 이를 극복하기 위하여 보다 높은 당농도를 체내에 유지하는 것으로 나타났다.

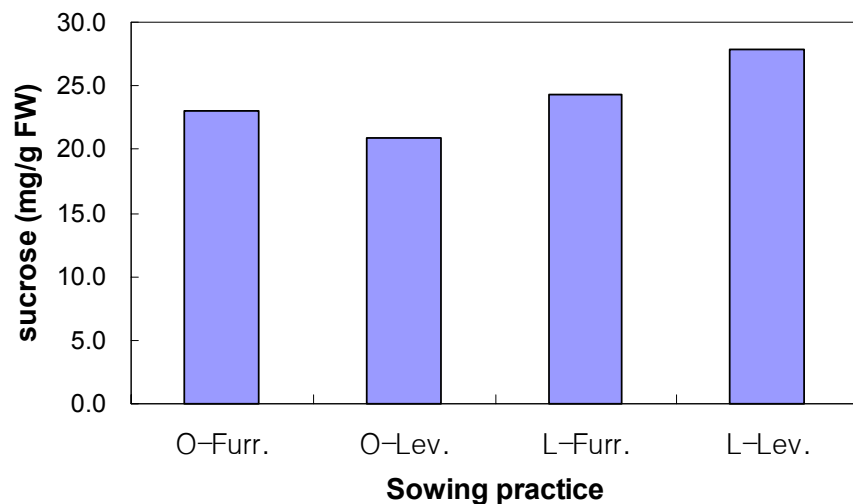


Fig. 37. Comparison of sucrose content in CMV after overwintering under different sowing practices.

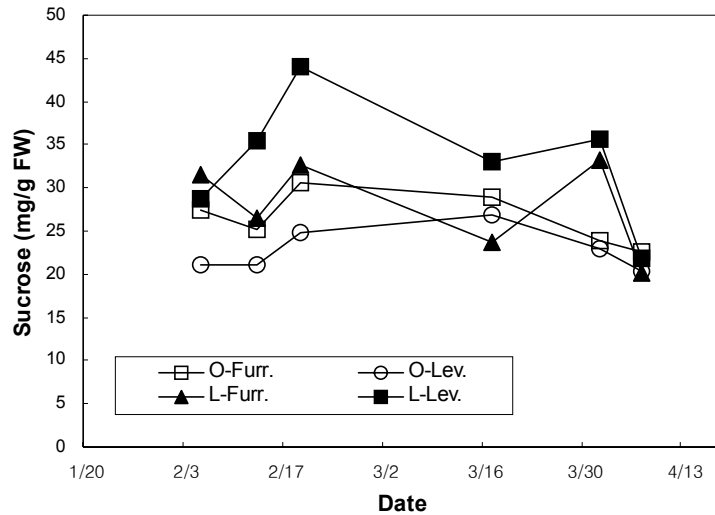


Fig. 38. Changes in sucrose content of CMV during overwintering.

자운영의 월동 중 저온 피해 외에 동반되는 수분 스트레스에 대해 알아보기 위하여 포장에서 생육하는 자운영의 엽 절편을 채취하여 상대수분함량(RWC)을 측정하였다. 결과는 그림 39에 나와 있다. 상대수분 함량은 잎이 수분을 흡수할 수 있는 능력과 관련된 것으로 잎 자체의 수분 함량과는 다른 개념이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 적기 파종과 만기 파종 간에 상대수분함량의 차이가 커 체내 수분 상태의 차이가 매우 심한 것으로 나타났다. 파종법 간에 차이는 크지 않았으나 파종기를 적기와 만기로 달리한 경우 상대수분함량은 큰 차이를 보여 파종기에 따라 체내 수분 상태의 차이가 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 앞서 나타난 것과 같이 만기 파종에서 체내 당함량이 높고 이 높은 당함량 등으로 인하여 RWC가 높아진 것으로 나타났다. 시기별로 보면 월동기간 중에 RWC는 완만하게 높아지는 경향이었으며 전반적으로 볼 때 적기에 골뿌림한 경우에 가장 낮은 값을 보였다(그림 40). 즉 만기에 평휴 파종을 할 경우 삼투압조절제의 체내 농도가 높아져 상대수분함량이 커지는 것으로서 앞서 보인 삼투압조절제 수준의 결과와 일치하는 경향이였다.

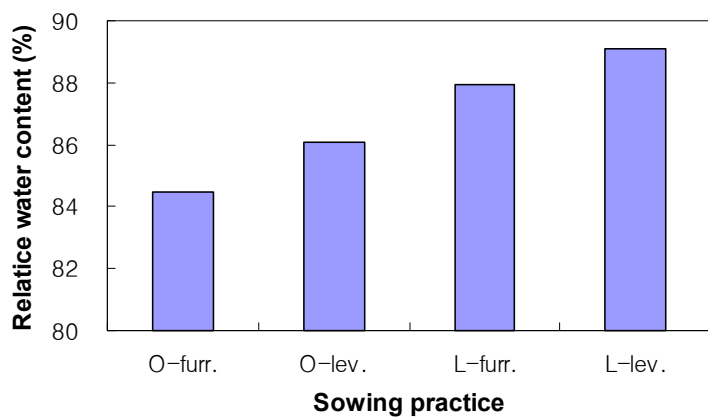


Fig. 39. Comparison of relative water content in CMV after overwinter under different sowing practices.

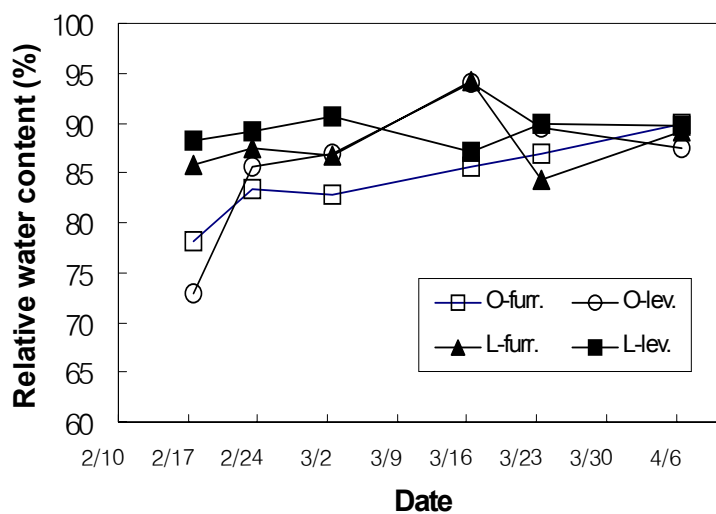


Fig. 40. Changes in relative water content of CMV during overwintering.

6. 자운영 재배 지역별 생육 비교

자운영의 월동능력과 월동에 미치는 토양 조건의 영향을 알아보기 위하여 지역을 달리하여 파종한 결과 표 11에 나와 있는 것과 같은 결과를 얻었다. 임진각 잔디밭 및 남양주 콩밭의 자가재파된 자운영은 5월 말 ~ 6월 초에 결실, 성숙된 후 성숙된 종자가 땅에 떨어져 6월 말~ 7월 초부터 발아, 생육하게 된다. 임진각의 경우 잔디와의 혼생으로 토양 수분이 적당하고, 월동 전까지 다른 경합상대가 없었던 남양주 콩밭의 자운영보다 생체중 및 건물중은 작아도 거의 같은 수준으로 월동했다.

서울 잔디밭의 경우 수분 및 양분 보유력이 약한 마사토로 파종 후 관수를 하였음에도 불구하고 입모수가 현저히 낮았으며 월동 전 생육상태가 고르지 못하고, 빈약한 생육을 보였다. 남양주 논밭쪽은 약 45°의 경사지로써 토양 수분은 비교적 양호하지만 다른 풀들과의 경합이 문제가 되어 초기 입모가 불량하였다. 파종시기가 가장 빠른 그룹에 속하지만 타 식물(토끼풀)과의 경합으로 초기(월동전) 생육이 불량한 것이 월동률 저하의 원인이다. 남양주 사료 옥수수밭은 대량으로 종자를 살포한 곳으로 파종 후 곧바로 얇게 로터리로 복토효과를 주었으며 파종 직후 약 100mm의 폭우가 쏟아졌다. 그 결과 발아율은 80% 이상이고 월동률 또한 95%이었다. 파종이 다소 늦은 편이었으나 적절한 처리로 높은 발아율과 월동률을 얻을 수 있었다. 남양주 논 피복 시험구는 2003년 적산온도와 일조량 부족으로 인해 오대벼 포장의 의낙수시기와 수확이 늦어진 관계로 적정 파종시기보다 늦어졌으며, 오대벼 수확 후 벗짚절단피복을 실시하였다. 벗짚의 피복이 월동전 자운영의 생육을 심각히 저해하였으며, 이로 인해 월동률이 무피복에 비해 많이 떨어졌다. 월동 후에도 벗짚 때문에 다른 잡초의 발생이 적기는 하였지만 자운영 역시 벗짚으로 인한 생육저해현상을 보였다. 월동력이 포장의 수분과 벗짚의 피복도에 따라 매우 불균일하였다. 각 시험구와 비교했을 때 가장 낮은 개체당 생체중을 보였다. 또한 피복효과로 인해 겨우내 과도한 토양수분을 함유하고 있던 관계로 포장 중 특히 수분이 많았던 곳은 한 개체도 살아남지 못하였다.

피복 시험구와 마찬가지로 논 무피복 시험구도 파종이 늦어졌으며, 이로 인해 월동전 생육이 불량하고 입모율 및 월동률 저해로 나타났다. 논 무피복 포장은 또한 겨우내 배수가 좋지 않은 관계로 적은 적설에도 토양 수분과다현상이 생겨서 월동중

인 자운영이 물속에서 썩는 현상이 일어났다. 진천 초평논은 2003-2004년 겨울사이 잦은 폭설로 인해 거의 답수 상태로 겨울을 보냈다. 2004년 봄에도 녹은 눈이 배수가 되지 않아 논둑 같이 답수가 되지 않은 몇몇 곳을 제외하고는 살아남은 개체가 없었다. 진천 초평 밭은 논에 비해 배수가 원활했고, 유일하게 조파를 한 곳이다. 과중이 다소 늦었으나 월동 전 생육은 양호하고, 월동률도 높게 나타났다. 양평 용두논은 과중시기가 너무 늦었기 때문에 과중 후 복토를 실시하였다. 그러나 과중이 너무 늦은 관계로 발아가 잘 되지 않았고, 발아 후 생육량도 미미했기 때문에 낮은 월동률을 보였다. 월동기간 중 논의 토양상태 또한 군데군데 물이 찰 정도로 과습한 조건이었다. 춘천 논, 밭과 주문진의 논은 극만파로 인한 입모불량 및 생육불량, 월동 중 극히 건조한 토양상태로 인해 살아남은 개체가 거의 없었다.

Table 11. Survival rate after overwinter of CMV sown in different regions

Site	Sowing time	Soil condition		Over-wintering ability (%)	Remark
		Before overwinter	After overwinter		
임진각 잔디밭자생	Self-reseeding	**	**	90	산파
남양주 콩밭	Self-reseeding	**	**	90	자가재파
서울 잔디밭	9월 10일	*	*	20	산파 후 관수
남양주 논밭뚝	9월 11일	**	**	50	산파
남양주 사료옥수수밭	9월 17일	**	**	95	산파 후 로터리(복토)
남양주 논(피복)	9월 20일	****	***	15	산파 후 벧질절단피복
남양주 논(무피복)	9월 20일	****	***	40	산파
진천초평 논	9월 20일	****	****	5	산파
진천초평 밭	9월 20일	**	**	90	조파
양평용두 논	9월 29일	***	***	25	산파
춘천 논	10월 5일	***	*	5	산파
춘천 밭	10월 5일	*	*	1	산파
주문진 논	10월 8일	**	*	0	산파

* : dry, ** : proper(60-70% field capacity), *** : wet(100% field capacity), **** : flooding

위의 결과를 종합해 보면 파종 후 복토해 주는 것이 유리하며, 피복을 하지 말고, 월동전 생체량 확보에 주력해야한다는 것을 알 수 있다. 월동 전 분지수가 약 4개 이상, 개체당 생체중이 0.6g 정도를 확보해야 70% 이상의 월동률을 확보할 수 있다. 파종이 늦어지면 복토를 해서 뿌리의 깊이를 깊게 해 주어야 월동 중 건조 스트레스에 대응할 수 있으며, 배수가 잘 안되는 논에서는 자운영의 재배를 피하거나 배수가 원활하게끔 대책이 필요하다. 특히 중부지방에서는 9월 20일 이후에는 파종을 피하는 것이 좋다고 생각되고, 적절한 파종시기는 9월 10일 이전으로 하는 것이 바람직하다.

중부지방에서 파종기에 따른 자운영의 월동 능력을 알아보기 위하여 파종기를 9월 15, 20, 25, 29일로 달리한 후 월동력과 자운영 생장을 조사한 결과는 표 12와 같다. 파종기가 늦어질수록 발아율은 9월 15일의 85%에서 9월 29일 17%로 급격하게 낮아져 적정 입모수 확보에 있어서도 파종기 지연은 문제를 야기할 것으로 생각된다. 파종기별로 월동직전의 건물중을 보면 9월15일 파종의 경우 0.19g이었으나 9월 25일 파종한 경우는 0.025g으로 13% 정도로 줄어든 결과를 보여 파종기가 늦어져 월동 전 생육 저하가 월동률에도 직접적으로 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다.

월동률은 9월 15일 77%에서 9월 29일의 경우 1% 미만으로 거의 대부분이 고사하여 9월 20일 이후에는 지연됨에 따라 월동률과 건물중이 급격하게 작아지므로 9월 20일이 파종 한계기인 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 월동전 생육이 충분히 이루어지지 않을 경우 저온스트레스에 대처할 수 있는 체내 물질의 합성이 힘들어지고 개체의 크기가 작아 성장점이 있는 관부의 고사 정도가 높아져 월동력이 크게 낮아지는 것으로 나타났다. 9월 20일 파종한 경우 4월 중순까지는 건물중이 9월 15일날 파종한 자운영에 비해 작았으나 5월 개화기 이후에는 자운영 건물중의 차이가 없어져 생육 차이를 확인할 수 없었다. 중부 지방의 경우 월동 전 자운영의 생육 가능기간이 짧으므로 자운영의 월동률을 높이기 위해서는 9월 20일 전에 파종이 완료되어야 할 것으로 생각된다.

Table 12. Effects of sowing date on the survival rate and CMV growth after overwinter

Sowing date	Germination (%)	Date				Survival (%)
		12/1	3/13	4/13	5/10	
		Dry weight (g/plant)				
9/15	84.7	0.19	0.44	0.99	1.46	76.5
9/20	65.3	0.13	0.23	0.65	1.46	71.1
9/24	47.2	0.05	-	-	-	<2
9/29	16.7	0.025	-	-	-	<1

7. 토양 상태와 자운영 월동률과의 관계

포장 조건에서 자운영의 월동은 일차적으로 온도의 영향을 받으나 앞서 언급한 것처럼 월동력은 월동기간 중의 한발에 의한 피해에 의해서도 영향을 받는다. 토양 수분은 토양의 물리 화학적 특성에 의해 영향을 받는데, 무기모재와 유기모재에 여러 가지 토양생성인자(기후, 식생, 지형 시간)의 작용으로 이루어진 토양은 여러 가지 크기와 모양의 1차 입자가 집합하여 일정한 입체적인 배열형태를 가진 2차 입자를 형성하게 된다. 토양구조는 이와 같이 토양입자의 집산화 또는 결합배열의 상태를 표시하는 말이다. 일반적으로 토양입자가 하나하나 떨어져 있는 것을 단립구조라 하고 각 입자가 서로 결합하여 때를 이룬 것은 입단구조라고 한다. 입단구조는 입체적인 배열상태를 이루고 있어 토양수의 이동, 보유 및 공기유통에 필요한 공극을 가지게 된다. 그러나 토양이 단립구조가 되면 토양 내 수분의 이동이 극히 제한된다.

토양의 구조적인 특징을 열거한 이유는 중부지방에서 자운영의 적응을 연구하면서 한 가지 흥미로운 점을 발견하였기 때문이다. 자운영이 매우 추운 철원에서 월동을 하였는데 비교적 따뜻한 강릉지역이나 안성에서도 월동 중 고사하는 개체가 다소 있었는데 대부분 고사한 자운영이 집단적으로 분포한다는 것이다. 이렇게 집단으로 고사한 지역에서도 살아남은 한두 개체는 다른 개체에 비해 비교적 지상부의 생육이 좋은 개체였다. 이는 본연구의 이전 실험 결과에서도 이미 설명이 되어있다. 월동 전 생육 상태가 월동률에 큰 영향을 미치는 인자라는 것이 genotype에 의한 월동률보다 큰 작용인자로 밝혀졌는데, 월동 전 생육정도에 따라 월동에 필요한 생리적인 요인들(엽록체함량, 안토시아닌축적, sucrose함량, 수분함량, proline 함량, 전질소 함량 등)은 2년차 연구에서 이미 수행된 바 있다.

월동중 토양에 유기물 함량이 적거나, 사질토양, Na^+ 이온 등이 많을 경우 토양내 수분의 연속적인 결빙과 해동, 증발이 반복되면서 입단구조가 파괴되어 단립구조로 바뀌게 된다. 수분이 결빙되면서 팽창함에 따라 토양입자들 사이의 결합을 끊게되어 입단이 파괴되는 과정을 겪는 것이다. 이렇게 단립구조가 된 토양은 모세관 현상이 일어나지 않아서 인공 관수나 강수가 없으면 표면 작토층에 심각한 한해가 발생된다. 입단이 파괴되는 정도(월동중 동결층까지의 깊이)는 토양마다 다르지만 자운영의 생육상태에 따라 파괴된 입단보다 더 깊은 곳(동결층)에 뿌리가 내려져 있으면 수분 공급에 차질 없이 월동을 할 수 있지만 뿌리 길이가 입단까지 뻗어 있지 못하고 단

립구조에만 머문다면 고사할 수 밖에 없다. 월동중 약 10일 정도 강수가 없는 날이 흔하게 발생되는데 이럴 경우 위에 언급한 토양들은 이러한 구조적인 문제를 가지게 된다. 다음 표 13은 중부지방에서 월동 기간 중인 2005년 2월 14일에 이러한 입단구조가 파괴된 토양에서 동결층의 깊이를 나타낸 것이다.

Table 13. Depth of frozen layer of unaggregated soil on Feb. 14 in 2005

Region	Status of CMV	Depth of layer (cm)	Remark
Namyangju PD1	overwintering	2.8	
Namyangju PD2	overwintering	2.2	rice straw mulching
Namyangju PD3	dead	4.6	
Namyangju UL1	dead	5.3	sandy soil
Namyangju UL1	overwintering	2.9	high organic matter
Ansung UL1	dead	7.8	sandy soil
Ansung UL2	overwintering	4.2	
Gangrung PD	dead	5.5	

PD : paddy field, UL : upland field

남양주에 위치한 덕소지역 논외의 경우 3가지 타입의 논에서 조사를 실시하였다. 논 1은 자운영을 3년 이상 연속재배한 지역으로 자운영 재배기간 중 경운을 하지 않았고, 자운영과 뚝새풀이 무성하게 자라고 있는 상태이다. 즉 피복율이 상당히 높고 몇 년간의 자운영 재배로 토양내 유기물이 많이 집적되어 있을 것이라 생각된다. 이곳의 토양표면은 거의 노출되어 있는 곳이 없어서 월동중 수분의 유지에 큰 문제가 없고, 자운영의 월동에도 유리한 조건이었다. 논2는 벼짚절단피복을 하였기 때문에 논1과 마찬가지로 토양표면의 노출이 거의 없고, 벼짚 밑의 수분유지에도 문제가 없었지만, 이전의 연구에서 보듯이 벼짚피복이 자운영의 월동 및 생육에 지장을 주는 문제가 있었다.

남양주 덕소의 논3은 그동안 자운영의 재배를 실시하지 않고 처음 자운영을 파종

한 포장으로 매년 경운을 실시하였던 포장이다. 자운영 피복율이 낮고, 월동중 다른 잡초들의 발생량도 극히 적어서 전체적인 토양 피복도가 낮은 양상이었는데, 고사하는 개체가 많은 지점을 대상으로 조사를 해본 결과 평균 4.6cm의 깊이만큼 입단이 파괴된 상태였다. 덕소 밭1은 자운영을 파종하기 전 객토를 실시한 포장인데 유기물이 거의 없는 사질토양이었다. 파종된 자운영 이외의 다른 초종이 거의 없었고, 포장 피복도가 낮고 고사한 개체가 많은 지점을 중심으로 조사한 결과 평균 5.3cm 정도 동결층과의 차이를 보였다. 덕소지역 밭2는 최근 2년간 작물의 재배를 하지 않은 포장으로 타 초종이 많이 발생하였고, 토양 피복도 또한 우수하여 입단파괴 현상이 거의 목격되지 않았다. 조사구 중 가장 입단의 파괴가 심했던 지점이 안성의 공터였다. 국도변 공터로서 방풍역할을 할 만한 것이 전혀 없고, 토양도 사질토로서 수분보유력이 낮았다. 평균 약 7.8cm의 깊이로 입단이 파괴되었으며 심한 곳은 10cm 이상인 곳도 있었고 그런 지점에서는 자운영이 월동하지 못하고 거의 고사하는 실정이었다. 강릉지역은 논에서 조사하였는데 영서지방보다도 일주일 이상 강수가 없었고, 절대 강수량도 낮았던 지역이라 그 피해가 더욱 심하였다.

살아있는 개체들을 대상으로 뿌리 길이를 재어본 결과 뿌리의 길이가 긴 개체일수록 월동하는 비율이 높았으며 고사한 개체는 토양에서 쉽게 뽑아져 나오는 것을 알 수 있었다. 즉 단립구조에만 뿌리내리고 있던 개체들의 고사가 현저하였다. 그러므로 처음 자운영을 도입하는 지역에서는 파종량을 높여 토양 피복도를 높이고, 입단을 유지할 수 있는 토양 개량제의 투입을 검토할 필요가 있다. 약 일주일 이상 강수가 없을 경우 인공 관수를 해주는 방법도 모색해야 할 것이다.

8. K와 P 영양 조건 차이에 따른 자운영의 내동성 변화

내동성 증진에 효과가 있는 것으로 알려진 칼륨과 인의 농도를 달리한 양액을 공급한 조건에서 자운영의 LT_{50} 변화를 알아본 결과는 표 14에 나와 있다. K와 P 두 양분 공히 농도가 낮아질수록 LT_{50} 값은 높은 온도에서 추정되어 내동성이 낮아지는 것으로 나타났다. 본 실험은 정상적인 토양 조건에서 생육 중인 자운영을 한 달간 양액 조건에서 생육시킨 결과로 양액을 공급하지 않은 경우 생육은 극도로 저하되었

으나 내한성의 경우도 높아지는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 포장에서 자운영이 생육할 경우 균형 잡힌 양분 조건에서 자랄 경우나 양분이 전반적으로 부족한 조건에서는 내동성이 증가하나 K나 P이 특정하게 부족할 경우 내동성이 낮아질 수 있음을 보여준다. K와 P이 부족한 경우 자운영의 생육은 표 15에 나와 있다. 지상부와 지하부의 무게 모두 K와 P의 부족에 따라 크게 감소하였고 체내 수분 상태와 밀접한 관련이 있는 상대수분함량 (RWC)의 경우 대조구에 비해 K와 P의 부족에 따라 줄어드는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 K와 P 부족이 체내 용질 감소에 영향을 주기 때문이라고 추정된다.

Table 14. Estimation of LT₅₀ of CMV treated with different nutrient levels

Nutrient	LT ₅₀	Regression equation	R ²
No-Nutrient	-8.59	y=-0.3802x-2.3172	0.9151
Control	-8.11	y=-0.3161x-1.5642	0.8311
1/5K	-8.00	y=-0.5515x-3.4127	0.6604
1/10K	-7.30	y=-0.7178x-4.2409	0.8018
1/5P	-7.67	y=-0.7064x-4.1600	0.7749
1/10P	-7.26	y=-0.7165x-4.2014	0.8051

Table 15. Effect of potassium and phosphorus on the growth of CMV under artificial nutrient supplying system

Nutrient	Root FW	Shoot FW	Height	RWC
Control	0.92±0.09	1.09±0.01	13.3±0.98	97.68±0.31
1/5 K	0.66±0.15	0.84±0.23	12.27±1.97	94.83±2.17
1/10 K	0.44±0.10	0.71±0.13	11.00±0.20	95.67±1.53
1/5 P	0.69±0.11	0.66±0.03	11.30±0.92	94.33±2.20
1/10 P	0.57±0.05	0.46±0.05	9.33±1.03	91.80±2.89

자운영 재배 양액내 K와 P의 농도를 줄인 상태에서 자란 자운영의 체내 성분 변화는 표 16에서 보는 바와 같이 K와 P을 줄인 경우 프롤린 함량이 높아지는 경향을

보였으며 P의 경우에 증가하는 폭이 높게 나타났다. 가용성 단백질 함량은 P를 줄인 경우에는 다소 높아졌으나 K의 경우는 대조구와 비슷한 값을 보였다. 환원당과 전분 함량의 경우도 K와 P를 1/10로 줄인 경우에 높은 값을 보였으며 엽록소의 경우도 다소 높아지는 경향이였다. 그러나 위의 표 9에서 볼 수 있는 것처럼 생체중의 경우 K와 P를 줄인 경우 줄어드는 경향을 보였으며 내동성 또한 낮아지는 경향을 보여 월동 전 K와 P의 부족은 자운영의 월동률을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 16. Changes in metabolites in CMV according to the modification nutrient concentration

Nutrient condition	Sol. Protein (mg/g FW)	Proline (mg/g FW)	Reducing sugar (mg/g FW)	Chlorophyll (mg/g FW)	Starch (mg/g FW)
No-Nutrient	5.18±0.32	0.53±0.09	25.4±1.92	3.33±0.32	2.02±0.63
Control	5.91±0.83	0.65±0.09	23.1±0.99	4.11±0.28	1.45±0.67
1/5K	6.48±0.73	0.76±0.08	22.5±0.94	3.98±0.08	1.30±0.72
1/10K	6.42±0.57	1.02±0.36	26.9±2.79	4.60±0.19	2.19±1.04
1/5P	5.94±1.56	1.27±0.74	24.0±1.83	4.38±0.39	3.44±0.68
1/10P	6.05±0.56	1.24±0.18	25.7±2.00	4.29±0.14	2.65±0.19

9. 자운영의 발아 및 출현 특성

자운영 종자는 포장에서 벼 재배의 경우를 보더라도 벼가 수확되기 전에 출현하여 성장하며 일반적으로 벼 이앙기인 5월말 경에는 완전히 종자가 성숙하여 토양내로 종자가 혼입된다. 토양내로 들어간 자운영 종자는 토양 수분 조건, 온도, 복토심 및 종자의 성숙도 및 휴면 정도에 따라 발아 및 출현이 영향을 받게 된다.

자운영은 월동작물로 다른 두과 작물에 비해 저온에 대한 적응도가 높아 발아의 경우에도 저온 발아성이 높을 것으로 나타났다. 자운영 발아에 대한 온도의 영향은 표 18에 나타난 것과 같이 온도와 수분 포텐셜에 의해 크게 영향을 받으므로 발아

시 온도와 토양의 수분 포텐셜에 따라 그 발아 및 출현율이 영향을 받는 것으로 나타났다. 표 17에서 보는 것과 같이 온도와 수분포텐셜간의 상호작용도 있는 것으로 나타났다. 이들의 상호작용은 표 17에 나타난 것과 같이 저온보다는 고온에서 수분 포텐셜에 의한 영향이 크게 나타나 자운영 종자가 성숙하는 5월의 경우 한발 조건에서도 비교적 발아가 양호할 것으로 생각된다. 시간이 진전된 6월과 7월의 경우 담수된 논과 달리 발 조건에서는 비교적 고온 하에서 한발에 의한 토양의 수분포텐셜 감소에 의해 발아가 저해되는 정도가 심해질 것으로 생각된다.

Table 17. Analysis of variance for germination and cumulated germination of CMV seeds under different temperatures and water potentials

Source	df	Mean squares	
		Germination	Cumulated germination
Temperature (T)	3	2854.1***	892.2***
Water potential (W)	3	514.7***	4556.2***
T X W	9	904.6***	371.5***
CV		13.72	14.5

Table 18. Effects of water potential of media solution on the germination and cumulated germination rate of CMV seeds under different temperatures

Water potential (MPa)	Temperature (°C)							
	Germination				Cumulated germination			
	10	15	20	25	10	15	20	25
0	88.00	86.00	94.67	88.67	58.10	65.43	76.57	71.24
-0.5	87.33	90.67	86.67	75.33	56.95	67.52	61.43	52.86
-1.0	67.33	87.33	54.67	34.00	38.10	60.00	33.71	24.38
-1.5	72.00	79.33	17.33	12.67	31.24	49.43	11.90	7.43
LSD _{0.05}	19.53	13.71	21.50	16.74	17.89	7.23	12.64	12.10

자운영 발아가 가장 잘 일어나는 온도는 표 18에서 볼 수 있는 것처럼 20°C 내외

의 온도이나 수분 포텐셜을 낮출 경우 최적 발아 온도는 15°C 정도로 나타났다. 포장조건에서의 발아는 토양 용액의 수분 포텐셜이 0 이하이므로 포장 조건에서 발아는 15°C 정도가 최적 온도인 것으로 나타났다. 발아 속도를 나타내는 누적 발아율도 역시 수분포텐셜이 낮아진 경우 15°C에서 가장 높은 수치를 보여 발아율 결과와 일치하였다. 수분포텐셜이 0.5MPa로 낮아진 경우는 발아율이나 발아속도가 크게 저하되지 않았으나 1.0MPa 이하로 낮아진 경우는 발아율과 발아 속도가 유의성 있게 낮아져 자운영은 포장에서 수분 포텐셜이 1.0MPa 이하로 낮아지면 발아가 저하되는 것으로 나타났다. 그러나 발아율은 수분 포텐셜이 1.5MPa까지 낮아진 경우에도 15°C 이하의 저온에서는 72% 이상의 값을 보여 자운영 과종기가 10월 이후인 경우 포장에서 토양 용액의 수분 포텐셜이 낮더라도 발아율은 크게 저하되지 않을 것으로 사료된다.

자운영을 눈에 과종할 경우와 자운영이 눈에서 벼재배 전에 종자가 성숙하여 눈에 떨어졌을 경우 이양과 더불어 담수상태에 처하게 된다. 표 19는 담수상태에 처한 자운영의 발아를 보여주는 것으로서 수심에 따라 자운영의 발아가 영향을 받으며 같은 수심이라도 온도에 따라 담수심의 효과가 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이 결과는 자운영을 녹비작물로써 눈에 재배할 경우 자운영의 출현율을 증진시키기 위하여 자운영이 출현할 때까지 적절한 담수심 관리가 필요함을 의미한다고 볼 수 있다.

Table 19. Analysis of variance for germination and cumulated germination of CM V seeds under different temperatures and water depths

Source	df	Mean squares	
		Germination	Cumulated germination
Temperature (T)	3	2733.6***	3257.9***
Water depthl (W)	4	3235.9***	4984.7***
T X W	12	237.47**	208.8***
CV		12.79	17.3

담수심의 깊이에 따른 자운영의 발아 결과는 표 20에 나와 있다. 가장 발아가 잘

되는 조건은 담수 상태가 아닌 조건으로 발아가 15°C 이상의 온도에서 90% 정도의 높은 발아율을 나타냈으나 담수심이 20mm일 경우 15°C에서는 44.3%로 낮아졌고 25°C의 경우는 40%로 급격하게 낮아졌다. 그러나 20°C에서는 72% 정도의 발아율을 보여 그 저해 정도가 심하지 않았다. 수심별 저해 정도를 보면 40mm 이상의 깊은 담수심보다 20mm에서 가장 저해 정도가 심하였으며 그 원인으로서는 용존 산소의 차이와 깊은 관련이 있는 것으로 나타났다. 그러나 20mm 이상의 담수심에서는 도리어 담수심이 깊어질수록 발아율이 높게 나타나 수심과 발아율과는 뚜렷한 부의 관계를 보이지는 않았다. 40mm 이상의 담수심에서는 담수심간에 유의성 있는 발아율의 차이가 나타나지 않았으나 가장 높은 온도인 25°C의 조건에서 담수심에 따른 발아율 저해 정도가 가장 크게 나타나 고온 하에서 담수심이 깊어질수록 상대적으로 많아지는 호흡에 요구되는 산소의 부족이 초래되어 발아율 저하가 나타나는 것으로 추정된다. 포장 조건에서 벼 이앙기인 5월 20일경 우리나라 중부지방의 일평균 온도는 20°C 정도이므로 이 시기를 기준으로 할 때 담수심이 20mm 이상으로 깊더라도 자운영의 발아는 크게 문제가 없으나 누적발아율에서 볼 수 있는 것처럼 발아가 일어나는 기간은 다소 지연되는 것으로 나타났다. 20°C에서 용존산소량이 15°C나 25°C보다 낮은 이유는 발아가 많이 됨에 따라 발아에 소비된 산소량이 많았기 때문으로 추정된다.

Table 20. Effects of water depth of media solution on the germination and cumulated germination rate of CMV seeds under different temperatures

Water depth (cm)	Temperature (°C)											
	Germination				Cumulated germination				Oxygen concentration			
	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25
0	77.0	91.3	91.7	89.7	45.5	78.2	79.9	78.4	21.0	21.0	21.0	21.0
20	37.0	44.3	71.7	40.0	13.6	13.1	43.6	15.7	4.6	4.8	4.3	5.4
40	40.3	52.3	70.7	29.3	14.0	15.5	47.6	14.2	6.9	5.2	3.8	5.0
60	49.3	52.3	76.0	34.7	18.8	21.9	52.0	15.5	7.4	4.6	3.0	4.8
80	55.0	54.3	78.3	41.0	22.1	21.9	58.3	25.3	7.2	4.8	3.1	4.8
LSD _{0.05}	13.6	18.9	10.4	10.0	6.8	11.5	11.1	13.5				

자운영의 종자 발아는 표 18과 표 20은 물론 그림 40에서 볼 수 있는 것처럼 20℃를 기준으로 그 이상의 온도가 되면 발아율이 낮아지는 특성을 보이며 20℃ 정도가 가장 발아에 적합한 온도인 것으로 나타났다. 자운영이 자연 조건에서 4월에 개화하고 5월 중하순에 종자가 완숙함으로 고려할 때 종자 완숙기가 발아 적온과 일치함을 알 수 있어 종자 휴면이 없을 경우 종자 완숙기와 비 이양시기에 최고의 발아율을 나타낼 것으로 보인다. 그러나 그림 40에서 볼 수 있는 것처럼 5℃의 저온에서도 발아가 늦게 진행되는 하나 최종 발아율은 20℃와 통계적인 차이를 나타내지 않았다. 이와 같은 결과는 자운영의 경우 파종기의 외부 온도가 10℃이하로 낮을 경우에도 발아 속도는 늦어지나 발아율의 큰 저하는 일어나지 않음을 알 수 있다. 그러나 0.5℃의 저온에서는 발아가 전혀 일어나지 않아 자운영의 최저 발아온도는 0.5~5℃ 사이임을 알 수 있다. 앞의 표에서도 나타난 것처럼 그림 40은 20℃가 발아 적온임을 보여주고 있으며 20℃ 이상으로 온도가 올라 갈수록 발아율은 물론 발아되는 속도도 낮아짐을 보여주고 있어 자운영의 출현과 입모율 향상을 위한 최적 파종기는 온도가 20℃에 이르는 시기임을 알 수 있다. 그러나 그림 41의 결과는 수분포텐셜이 0인 증류수를 이용한 결과 이므로 수분 포텐셜이 0 이하인 포장 조건에서는 발아 적온은 이보다 낮은 15℃가 될 것이다.

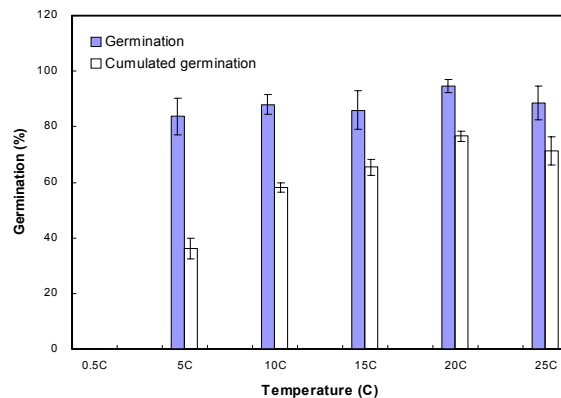


Fig. 41. Effect of temperature on the germination and cumulated germination rate of CMV seeds.

녹비작물로써 자운영은 밭과 논 모두에서 재배가 가능하다. 자운영은 파종과 동시에 로타리를 실시 후 복토를 실시하거나 논인 경우 썩레질 과정에서 복토가 이루어진다. 자운영 종자가 포장에서 출현할 경우 이와 같이 복토와 담수심에 의해 영향을 받는다고 볼 수 있다. 표 21은 포장에서 자운영 출현에 대한 복토심과 담수심의 영향을 보여주는 것으로서 복토심과 담수심에 따라 출현율과 유묘의 생장 모두에 영향을 주었다. 이와 같은 결과는 앞의 표 19와 20에서 나타난 것처럼 담수심의 차이가 산소 농도에 영향을 주어 발아를 저하시키고 결과적으로 자운영의 포장 출현에도 영향을 주는 것으로 나타났다.

Table 21. Analysis of variance for emergence and cumulated emergence of CMV under different sowing depths or water depths

Source	df	Mean squares			
		Emergence	Cumulated emergence	Shoot DW	Root DW
Sowing depth	5	2276.4***	2220.4***	0.09589***	0.0357***
CV		16.5	14.6	27.7	25.4
Water depth	3	3821.5***	2482.2***	0.1721***	0.04806***
CV		29.2	28.7	30.7	26.2

포장에서 자운영 출현은 적정 입모수의 확보 측면에서 중요하다. 자운영의 출현에 대한 복토심의 영향을 보면 표 22에서 보이는 것처럼 복토심이 0.3cm부터 5cm까지

는 출현율의 차이가 거의 없었으며 출현되는 속도의 차이도 3cm까지는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 5cm의 복토에서는 최종 출현율은 다소 낮아졌으며 출현속도의 경우 감소 정도가 크게 나타났으며 8cm의 복토심부터는 출현율과 그 속도 공히 급격한 저하를 나타냈다. 유묘의 생육 결과는 지상부와 지하부 모두 8cm 복토심부터 급격한 감소가 나타났으나 5cm까지는 유묘의 생육 차이가 통계적으로 인정되지 않았다. 자운영의 출현은 본 실험에 이용된 토양이 사양토 조건임을 감안하더라도 5cm 이상 복토가 될 경우 출현과 유묘 생장의 감소가 나타날 것으로 보여 자운영 파종시 종자량의 절약과 초기 유묘 생장을 촉진시키기 위해서는 복토심 약 1cm 정도로 되도록 파종하는 것이 적절할 것으로 나타났다.

파종시 로타리 작업과정에서 10cm 이상의 과도한 복토가 일어날 경우 자운영의 출현이 일어나지 않으므로 파종 과정에서 복토심 조절에 주의하여야 할 것으로 나타났다. 그러나 비교적 깊게 파종되는 깊이인 5cm의 경우에는 출현이 다소 늦어질 수는 있으나 출현율과 유묘 생장이 유의성 있는 감소가 없으므로 자운영 파종시 한계 복토심의 5cm 정도로 볼 수 있다. 복토심이 얇은 0.3cm 복토의 경우 출현율과 그 속도는 가장 높게 나왔으나 토양이 건조할 경우 그 피해의 우려가 있으며 유묘 생장을 보더라도 1cm 복토심과 비교 시 지상부의 경우 80% 미만의 값을 보여 0.3정도로 얇게 파종될 경우 도리어 불리한 것으로 나타났다.

종자 0.3cm의 파종심도 하에서 담수심을 조절한 경우를 보면 담수심이 깊어질수록 출현율과 유묘 생장 모두 저하되는 결과가 나타났으나 10cm의 담수심에서도 생존하는 결과를 보였다. 자운영의 경우 포화된 토양 수분 조건에서도 생장이 일어나는 것은 논조건에서 일반적으로 관찰되는 것으로 자운영의 담수 저항성은 저온 저항성과 더불어 앞으로 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 담수심이 깊어질수록 5cm부터 유의성 있는 출현율의 감소는 물론 유묘 생장의 경우도 지상부와 지하부 모두에서 뚜렷한 감소가 나타났다. 이상과 같이 자운영의 포장 출현과 유묘 생장을 조장하기 위해서는 복토심은 0.3~3cm 정도로 하고 담수심은 5cm 이하가 되도록 조절할 경우 최적의 유묘 출현과 생육이 이루어질 것으로 사료된다.

Table 22. Effects of sowing depth or water depth on the emergence and seedling growth of CMV seeds

	Emergence	Cumulated emergence	Shoot DW	Root Dw
Soil depth (cm)	(%)		(g)	
0.3	51.4	40.7	0.28	0.17
1	50.2	37.9	0.36	0.17
3	49.6	34.3	0.24	0.19
5	43.8	7.4	0.24	0.15
8	27.6	11.1	0.13	0.08
10	14.6	4.6	0.10	0.05
15	0.0	0.0	0.0	0.0
LSD _{0.05}	5.86	3.4	0.06	0.03
Water depth (cm)				
0	48.2	37.6	0.31	0.17
1	48.4	37.3	0.28	0.14
5	19.8	14.5	0.10	0.05
10	10.4	6.9	0.04	0.02
LSD _{0.05}	8.38	6.3	0.05	0.02

10. 종실 성숙 단계별 종자 성분 변화 및 출현 특성

자운영은 남부지방의 경우 4월 초·중순 경에 개화가 시작되는데, 본 실험에서는 4월 9일에 개화가 시작된 후 개화 후 22일이 되는 5월 1일부터 5월 31일 까지 자운영 성숙기 별로 종자를 채취하여 이들의 발아 능력을 검정하였다. 본 연구에 이용된 종자는 종자 채취 후 별도의 후숙이나 휴면 타파 처리를 가하지 않아 상대적으로 발아율은 낮게 나타났다. 상용적으로 이용되는 자운영 종자는 종자를 잘 정선하고 휴면 타파 처리를 하여 적정 조건에서 85% 이상의 발아율을 보이지만 본 실험과 같이 자연 조건에서 채취한 종자는 30% 미만의 낮은 발아율을 보였다. 가장 발아율이 높은 시기는 개화 후 39일인 5월 17일로 이 시기는 30% 가까운 발아율을 나타내었다. 개화 후 29일인 5월 17일부터 발아가 개시되어 이 시기부터 종자는 자연 상태에서

발아능을 갖기 시작한다고 볼 수 있다.

자운영을 녹비작물로써 하작물의 前作物로 이용할 경우 남부 지방의 경우는 벼 이앙이나 다른 작물 파종기의 변동 없이 이용될 수 있으나 벼 이앙기가 5월 말인 중부 지방의 경우 자운영의 개화가 중부지방은 남부지방에 비해 10 ~ 15일 정도 늦은 점을 감안할 때 5월 말경부터 자운영의 발아력을 제대로 갖추게 된다고 볼 수 있다. 이 경우 벼 이앙기를 10일 정도 늦추어서 6월 초순에 이앙을 실시하면 자운영의 적정 발아능을 확보하게 되고 자연상태에서 자가재파(self-reseeding)가 가능할 것으로 나타났다.

자운영의 발아율이 개화 후 29일에 증류수에서는 발아를 안하는 이유가 종자의 휴면 때문인지를 알아보기 위하여 휴면 타파 효과가 있는 GA₃를 처리한 결과, 증류수 처리에서는 발아를 안했던 종자가 GA₃ 처리에 의해 5% 정도의 발아율을 나타내어 개화 후 한달 후부터 조건이 적합하면 발아가 가능할 것으로 나타났다. 그러나 종자의 발아력이 가장 높았던 개화 후 39일 쯤에는 GA₃ 처리의 효과가 없었으며 이후 개화 후 46일부터 다시 효과가 관찰되었다 (그림 42). 이와 같은 결과는 개화 후 39일에 발아력이 정점에 이른 후 종자의 휴면이 나타나기 시작하였기 때문에 종자 성숙 과정에서 관찰되는 종자의 경실화가 개화 후 39일 이후에 빠르게 진전되는 것으로 나타났다. 특히 식물호르몬의 효과도 이 시기 이후에 나타나지 않는 것으로 미루어 종자의 경실화에 의한 휴면이 개화 40일 이후부터 강하게 나타나 포장 조건에서 자운영의 입모를 결정하는 요인으로 작용하는 것으로 추정된다. 경실화 등의 요인으로 휴면에 접어든 종자는 자연 상태에서 토양 내에서 오랜 기간에 걸쳐 토양 미생물 등의 영향으로 경실에 의한 휴면이 타파되면서 발아가 지속적으로 일어날 것으로 생각된다.

자운영이 개화 후 종자의 발달과 내부 물질 변화는 그림 43와 같다. 자운영 종자의 무게는 100립중을 기준으로 개화 후 46일에 최대에 이르는데 위의 그림 2에서 발아율이 최고점에 달한 시기는 개화 후 39일로서 발아율은 종자의 발달이 완전히 이루어지기 전에 최대에 달해 종자 발달이 완전히 이루어진 시기부터 휴면이 급격하게 일어나는 것을 알 수 있다. 종자의 생체중은 그림 3에서 처럼 발아율이 가장 높았던 개화 후 39일에 가장 높았으며 이 시기부터 수분 함량의 감소가 일어나기 시작하였다. 즉 개화 후 39일에 수분 감소가 일어나는 것과 더불어 종자의 휴면 정도도 커지는 것으로 나타났다.

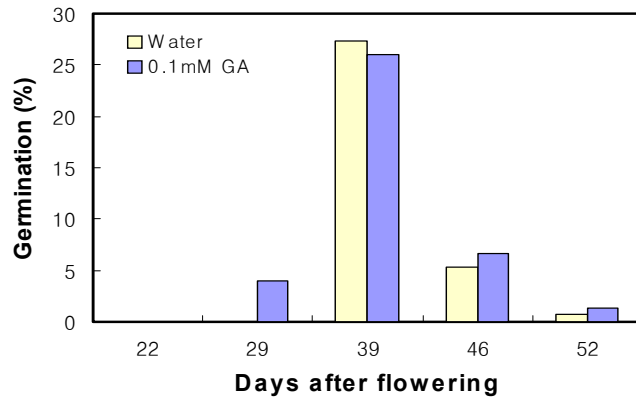


Fig. 42. Changes of germination percentage of CMV seeds during seed maturation. GA treatment was conducted with 0.1mM aqueous solution.

개화 후 52일의 종자의 건물중은 개화 후 46일 과 비교하면 다소 감소하는 경향을 보였다. 수분 함량의 감소로 인하여 생체중이 급격히 줄어들기 시작하는 개화 후 39일은 자운영의 지상부의 노화도 빠르게 진행되는 시기이므로 녹비작물로서 후작물에 대한 양분 공급 측면에서도 개화 후 40일 경에 자운영을 예취하고 토양내로 혼입하는 것이 가장 효과적인 방법으로 생각된다.

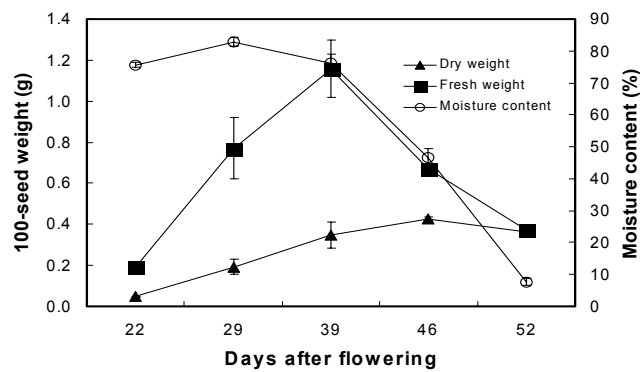


Fig. 43. Changes of seed weight and moisture content of CMV seeds during seed developmental stage. Germination tests were conducted at 20C and gibberellin (GA_3) was treated with 0.1mM aqueous solution.

종자 발달 단계에 따른 종자내 환원당과 전질소 함량의 변화를 보면 그림 44에 나타난 것처럼 환원당 함량은 개화 후 농도가 줄어들다가 개화 후 39일부터 안정된 수치를 나타냈고 전질소 함량은 반대로 증가하다가 개화 후 39일부터 안정된 값을 나타내었다. 이러한 결과는 자운영 종자가 종자 발달 과정에서 개화 후 약 40일 경부터 종자내 물질 함량이 안정된 값을 나타내는 것으로 종자 발달이 거의 이루어져 완전한 종자가 형성되는 것으로 나타났다. 환원당은 종자의 수분 흡수에 있어서 농도가 높을수록 삼투압을 높여 수분 흡수를 촉진시키는 것으로 나타났다. 이 시기 이후에 환원당이 감소하는 것은 당류가 전분과 같은 다당류 형태의 탄수화물로 저장되어 당 함량이 감소하는 것으로 생각된다. 이와 같이 자운영의 종자 발달 과정에서 물질 변화는 추후 연구가 더 수행되어야 할 것으로 생각된다.

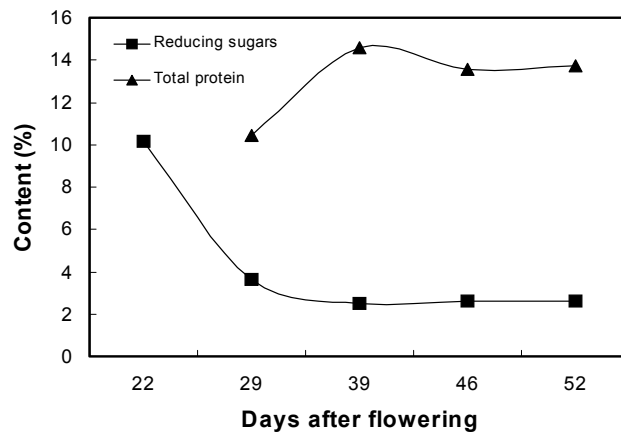


Fig. 44. Changes of the contents of reducing sugar and total protein in seeds according to the seed maturation of CMV.

11. 발아 과정 중 자운영의 수분 흡수 특성

자운영 발아 과정은 앞서 언급한 것처럼 경실로 인한 수분 흡수의 저해에 의해 발아율이 감소한다고 볼 수 있다. 발아 과정에서 일어나는 수분 흡수 양상을 보기위하

여 종자의 수분 흡수를 시간별로 나누어 48시간 동안 조사한 결과는 그림 45에 나와 있다. 수분 흡수는 15℃보다 25℃에서 조금 많은 양이 흡수되었고 초기 10시간 까지의 흡수 속도도 25℃에서 높게 나타났다. 그러나 약 15시간 이후에는 15℃와 25℃ 모두에서 안정된 함량을 나타내었다. 이러한 결과는 자운영이 발아 과정에서 수분 흡수에 대한 온도의 영향은 초기 흡수량의 경우는 영향을 받지만 수분 함량에 도달하는 데에는 두 온도간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 앞에서 나타난 온도에 따른 발아율의 결과에서도 25℃보다 15℃에서 다소 높아 초기 수분 흡수 속도가 최종 발아율은 물론 출현율에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

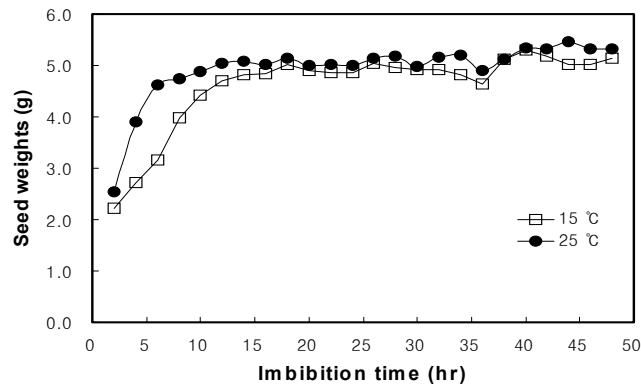


Fig. 45. Time course of the water uptake of CMV seeds at 15°C 25°C.

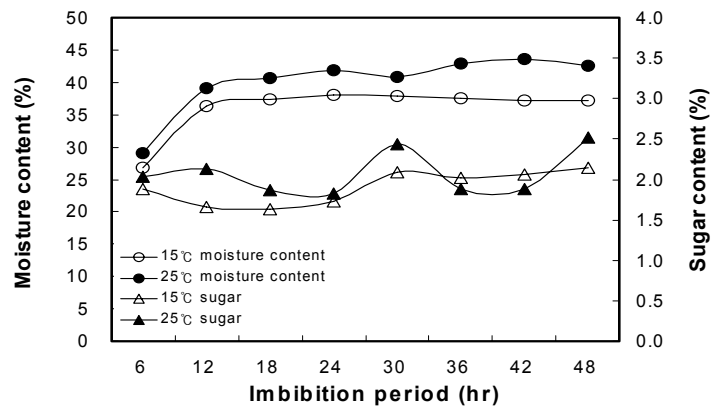


Fig. 46. Changes of moisture content and reducing sugar contents during the imbibition of CMV seeds at 15°C and 25°C.

종자의 수분 흡수는 그림 46와 같이 15°C와 25°C 간에 초기 수분 흡수율의 차이가 있었으나 이 두조건의 온도 하에서 종자 내부의 당함량은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 전반적으로 수분 흡수 과정에서 환원당 함량은 증가하는 경향을 보였으며 15°C보다는 25°C에서 높게 나타났다. 이와 같이 25°C 높은 당함량으로 인하여 종자내 수분 흡수도 많은 양이 이루어진 것으로 보인다.

12. 자가재파(self-reseeding) 관련 발아 특성

자운영의 지속성과 관련되어 가장 중요한 것은 후작물 재배를 위하여 자운영을 갈아엎는 시기이다 이 시기에 따라 자운영의 종자 성숙도가 차이가 나며 이에 따라 포장 발아 및 입모 등이 크게 영향을 받기 때문이다. 자운영은 남부 지방의 경우 4월 중순에 개화가 시작되며 중부 지방의 경우 약 15-20일 정도 개화가 늦게 일어난다. 개화 후 종자 결실 후 종자가 발아력을 갖기까지의 기간은 자운영의 자가 재파와 관련되어 매우 중요한 문제이다.

본 연구에서 자운영의 발아율은 종자의 발아율 향상을 위한 별도의 처리로서 GA₃ 처리를 실시하였고 종자 채종 시기에 따라 종자를 파종하거나 꼬투리에 들어있는 상태로 종자를 토양에 파종하여 토양이 수분으로 완전 포화된 과습한 조건과 적습 조건에 두어 종자 성숙기에 따른 종자의 발아력과 출아력 차이를 비교하였다. 종자 성숙도에 따른 출아율은 표 23에서 보는 것과 같이 성숙도간 차이의 유의성이 인정되었으며 토양 수분 상태에 따라서도 차이가 나타났다. 또한 자운영 종자는 자연 상태에서 미숙 상태는 물론 완숙된 상태에서도 탈곡이 불완전하여 꼬투리 안에 들어있는 상태로 토양 내로 들어가는 경우가 많다. 표에서 보는 바와 같이 종자가 토양내에 탈곡되어 들어갈 때와 꼬투리 내부에 들어있는 상태로 존재할 때 이들의 출현율은 유의성 있는 차이를 보였다. 종자 성숙도와 토양 수분 간에도 출현율에 대해 상호작용이 고도로 유의하여 상당히 깊은 관계가 인정되었고 종자의 탈곡 여부와 토양 수분 조건 간에도 상호작용이 존재하였다.

본 실험에 이용된 종자는 종자 개화기인 4월 9일부터 개화 후 22일인 5월 1일부터 5월 29일까지 수집하여 꼬투리에서 탈곡된 상태와 꼬투리에 들어있는 상태로 토양에

과중하고 담수 상태와 발 상태에서 출현율을 조사한 결과 표 24과 같이 개화 후 39일에 해당하는 5월 17일에 채종한 꼬투리에서 발아가 시작되었다. 이와 같은 결과는 20℃에서 수행한 발아실험과 같은 경향으로서 종자의 발아와 출현은 개화 40일 경부터 가능한 것으로 나타났다. 수분 조건에 따른 출현율의 차이를 보면 개화 후 46일까지는 담수보다 발상 상태에서 출현율이 높았으나 개화 후 52일째인 5월 29일에는 담수 상태에서 출현율이 높게 나타났다.

Table 23. Analysis of variance for emergence and cumulated emergence of CMV seed collected at different maturation

Source	df	Mean squares	
		Germination	Cumulated germination
Date (D)	4	77.18***	19.28***
Moisture (M)	4	42.92***	8.84***
Part (P)*	1	44.59***	10.87***
D X M	4	17.4***	2.94***
P X D	4	8.91*	1.91**
P X M	1	11.57*	2.72*
P X D X M	4	7.96*	1.41*
CV		63.6	59.0

* Seeds were sown with (seed) or without (pod) threshing.

이 시기에 채종한 종자의 경우 담수 상태에서 출현율이 더 높은 이유는 담수 상태에서 휴면 타파 정도가 높기 때문으로 생각되며 이에 대한 보강 실험이 필요한 것으로 사료된다. 토양에 종자 또는 꼬투리 상태로 과중한 경우 두 처리간에 출현율은 종자로 과중한 경우가 높았으며 꼬투리 내에 종자가 들어있는 상태로 과중한 경우 5월 29일에도 담수상태보다는 발 상태에서 출현율이 높게 나타났으나 차이의 유의성은 없었다.

Table 24. Effects of the degree of seed maturation on the emergence of CMV seeds with or without threshing

Date	Water condition	Seed		Pod	
		Emergence	Cumulated emergence	Emergence	Cumulated emergence
(%)					
1-May	Control	0	0	0	0
	Waterlogging	0	0	0	0
7-May	Control	0	0	0	0
	Waterlogging	0	0	0	0
17-May	Control	9.5	3.85	1.67	0.58
	Waterlogging	0	0	0	0
24-May	Control	9.0	4.52	5.33	2.41
	Waterlogging	5.33	2.41	3.00	1.46
29-May	Control	3.08	3.08	3.50	1.92
	Waterlogging	5.33	2.92	3.33	1.70

* Seeds were sown with (seed) or without (pod) threshing.

이 실험에서 특이한 결과는 5월 7일 채종한 종자와 같이 종자의 성숙도가 낮은 경우 담수된 상태에서는 출현이 심하게 저하되는 결과를 나타내어 작물 재배시 자운영 종자가 미숙한 상태에서 자운영을 갈아엎을 경우 토양의 수분 상태를 적절히 유지하여 발아가 잘 되도록 하며 출현이 완료될 때까지 가급적 담수에 의한 혐기 상태에 처하지 않도록 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

자운영을 작부체계에 도입하는 가장 큰 목적은 현재 전세계적으로 농업의 새로운 패러다임이 되는 지속가능한 농업에 대한 인식 확산, 국민들의 친환경 농산물에 대한 구매욕과 고부가가치 농산물 생산을 원하는 농민들의 관심 고조로 인한 친환경 녹비작물로 자운영을 이용하기 위해서이다. 현재 우리나라의 일부 지방자치단체들은 자운영을 이용한 축제 및 고장 농산물의 가치를 높이는 사업의 일환으로 국내 자운영의 재배가 매년 증가하고 있는 실정이다.

자운영은 경실비율이 높은 두과의 작물이기 때문에 국내 채종에 의해 수집된 종자

들은 발아율이 매우 낮은 경향을 보였다. 따라서 경실에 의한 자운영의 휴면은 자운영의 포장 영속생육과도 관련이 깊다고 볼 수 있다. 그림 47은 저장 조건에 따라 채종 후 실온저장의 경우 40일 이후부터, 저온저장의 경우 과중적기인 9월 중순, 이를 중심으로 20일 전후로 종자의 발아가 어떠한 경향을 보이는데 대한 결과이다.

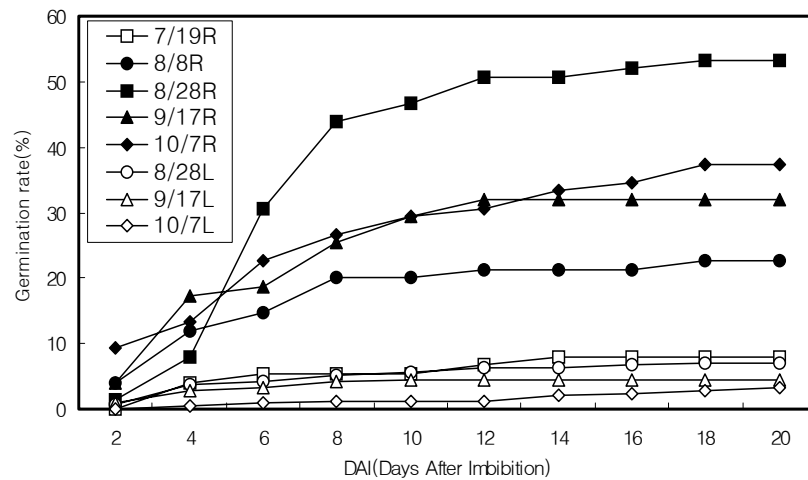


Fig. 47. Effect of seed storage condition on the germination of CMV seeds. The storage duration of 7/19 (Jun 19), 8/8, 8/28, 9/17, and 10/7 were 40, 60, 80, 100, and 120 days, respectively, R and L mean room temperature (25°C) and low temperature (4°C), respectively.

실온 저장한 자운영 종자의 경우 채종 후 40일 이후 종자는 발아율이 10% 미만으로 매우 낮음을 볼 수 있다. 그러나 또다시 20일 이후에는 약 10%정도 발아율 증가가 나타났지만 충분한 발아율을 보이지 않았다. 채종 후 100일이 지남에 따라 발아율의 급격한 증가를 볼 수 있다. 급격한 증가가 있다고는 하나 발아율은 50%를 넘어서지 않았다. 하지만 그 이후 다시 발아율이 30% 수준으로 낮아지는 것을 볼 수 있다. 흥미로운 점은 자운영의 과중적기인 8월 말 ~ 9월 중순을 기점으로 가장 높은 발아율을 보인 것으로, 이는 실온 저장 시 자운영 종자에 일종의 생체시계가 작동하고 있음을 확인할 수 있었다. 그러므로 이 생체시계가 자운영 종자의 구조적인 현상인지 종자 내부의 화학적인 변화에 기인한 것인지에 대한 연구는 향후 흥미

로운 과제라 할 수 있다.

반면 저온저장한 자운영 종자의 경우 모두 극심한 발아 저해가 나타났다. 일반적으로 경실의 콩과 종자는 저온저장 시 휴면이 조장된다는 연구결과들과 일맥 상통하는 결과를 가져왔는데, 국내 채종이 이루어져서 보급을 할 경우 저온 저장 시 발아율이 떨어지므로 고려해야한다.



Photo. 7. Improved germination of CMV seeds treated by seed coat scarification

사진 7은 저온 저장 및 실온 저장된 종자 중 발아시험 직후 발아가 되지 않은 종자를 다시 수거하여 종자파상처리 한 후 다시 치상한 결과이다. 치상 후 20일 지나도 발아되지 않던 종자를 대상으로 날카로운 침으로 살짝 상처를 내어 다시 치상한 결과 모든 처리구에서 100%의 발아율을 보였으며 발아세 또한 매우 우수하였다. 결국 자운영 종자의 발아율 저하 요인은 종자 내부의 생리적인 휴면이라기보다 물 흡수를 저해하는 기계적인 휴면의 형태를 띠고 있는 것으로 밝혀졌다. 즉 자운영 종자의 발아율을 증진시키고, 발아세를 높이려면 종자 상처법이 가장 효율적이라 할 수 있다. 그러나 자운영 종자의 크기가 작기 때문에 종피파상법을 대량으로 기계적으로 처리할 때에는 세심한 주의가 요구될 것이다.

일부에서 자연적인 재입모에 의한 재배가 이루어지고 있기는 하나 현재 재배되고

있는 자운영은 대부분 종자파종에 의한 재배가 이루어지고 있다. 이 자운영 종자는 채종작업이 매우 번거롭고, 작부체계상 종실이 성숙하기 이전에 후작물을 위해 갈아엎는 경향이 많기 때문에 매년 전량을 중국에서 수입하고 있는 실정이다. 중국산 종자의 수입이 주는 장단점은 다음과 같다.

○ 장점

- 가격이 저렴하다
- 품종에 대한 순계유지가 비교적 잘 되어있다
- 비교적 고른 발아율과 왕성한 발아세를 지니고 있다

○ 단점

- 종자를 통한 병해충의 유입우려
- 종자에 혼입된 유해 잡초 침투 가능성
- 급변할 수 있는 중국내 사정으로 인한 종자수급 불안정성
- 중국내에서도 점차 기피되고 있는 자운영 채종재배로 인한 생산량 부족
- 중부지방 재배 시, 다소 늦은 수입시기
- 검역법상 종자소독처리로 인해서 유기농 농가에서는 사용불가

위와 같이 중국산 종자의 가장 큰 장점은 가격이라 할 수 있다. 그러나 중국 현지 사정은, 중국내에서도 자운영의 채종이 번거롭고 가격이 유채나 무, 배추, 헤어리벳치 등 자운영과 재배시기가 겹치는 다른 종들에 비해 다소 낮은 경향이 있어서 그 생산량이 하루가 다르게 줄어들고 있는 실정이다. 더욱이 다른 종들에 비해 경실 비율이 높아 상업적 종자가 가져야 하는 발아율에 도달하기가 매우 어려운 점도 중국내에서 조차 채종재배가 꺼려지는 이유 중 하나이다. 그러나 우리나라의 경우 지속 가능한 농업과 친환경 농업에 대한 관심 고조로 인해 그 재배 면적이 폭발적으로 늘어나고 있어 올해만 해도 작년의 두 배인 3000ton의 종자가 수입되었을 정도로 향후 종자 수급에 큰 차질을 보일 것으로 사료되며, 이럴 경우 종자 가격의 폭등으로 이어질 전망이다. 그러므로 중·장기적으로는 국내에서 채종재배 후 보급할 수 있는 정책을 갖추어야 할 것이다. 그러나 선행되어야 할 몇 가지 문제점들이 있다. 현재 우리나라의 농촌은 일손이 절대적으로 부족하고, 고령화 되어있기 때문에 자운영 채종재배에 대한 여력이 거의 없는 실정이다. 또한 녹비로써 자운영의 재배도 실제 농

민들 사이에서는 농협이나 농업지도소의 종자지원이 없으면 기피하려는 경향도 같은 맥락에서 이해할 수 있다. 즉 자운영 채종재배에 대한 생력화 방안이 연구 되어야 하며, 채종재배에 대한 국가적인 지원이 절실하다.

최근 추곡 수매제도가 없어진 이후 생산한 쌀의 판로가 막혀서 수확을 못하고 있는 실정이다. 더욱이 일인당 쌀소비가 줄어들면서 쌀의 재고가 점차 늘어나고 있는 현실에서, 정부에서는 휴경지에 대한 직불제를 실시할 정도로 쌀 감산정책을 펴고 있지만, 직불제만으로는 농민들의 경제에 도움이 되질 못하고 있다. 이러한 감산정책과 더불어 휴경지에 자운영 채종재배를 하는 농가에 직불제와 더불어 종자수매를 하여 유기농단지 등 자운영이 필요한 다른 곳에 지원하는 방안을 강구하는 것이 바람직하다고 여겨진다.

포장에서 자연발아한 자운영이 연속성을 유지하기 위해서는 월동력이 중요하며 인위적 월동력 증진은 과중기 외에 지상부 예취를 통해 수분요구도를 낮추어서 가능해질 수 있다. 자운영의 월동률을 높이기 위해 조파할 경우 과도하게 웃자랄 수 있어 이를 위해 예취를 실시한 결과는 표 25에 나와 있다. 웃자란 자운영의 월동률은 매우 낮은 것으로 밝혀졌다. 무처리 자운영이 자란 자리에는 과중 적기인 8월 말 이후 다른 자운영이 발아하지 못하였고, 초장이 30cm 가까이 되어 월동에 불리한 조건이었다고 생각된다. 반면 예취한 구역은 지표면에서 약 5cm 정도만 남기고 예취하였는데 적기과중 했을 때 일반적으로 중부지방에서 보이는 월동률과 비슷하게 나온 것을 알 수 있다. 그러므로 중부지방에서 자운영의 자연적인 재입모를 위해서는 늦어도 9월 중순에 한번은 예취를 하여 웃자란 자운영의 월동률을 높일 수 있어야 하고, 경실인 자운영 종자의 특성상 예취 후 새로 발아하는 종자의 생육을 방해하지 않도록 관리해야 할 것이다.

Table 25. Effect of clipping of over-grown aerial part of CMV before overwintering on the overwintering ability of CMV plants

Treatment	Plant height (cm)	Overwintering (%)
Clipping	5.0	58
Untreated	27.6	11

IV. 결과요약

중부지방에서 친환경 농업을 위한 작부체계에 월동 녹비작물로 이용 가능한 자운영 소재 개발을 위하여 중부지방에서 자생하는 자운영을 수집하고 이들의 월동 및 생육 특성을 비교 분석하였다. 자운영의 월동 능력의 차이는 월동 후 토양 피복은 물론 생물량 생산에 큰 영향을 미치므로 녹비 및 피복작물로서 자운영의 능력에 가장 크게 작용하는 요인이 월동 능력이라고 볼 수 있다. 따라서 본 절에서는 자운영의 월동 능력 평가를 위하여 수집종 및 현재 농가에서 실제로 이용하고 있는 중국 수입종을 대상으로 내동성 및 월동 능력, 월동 후 생육 특성을 조사하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 중부지방에서 자생하는 자운영은 경기도 파주의 임진강변에서 자생하는 자운영을 확인하였다. 이 자생자운영은 수년간 자가재파(self-reseeding)을 통해 그 개체군을 유지하고 있어 중부지방의 환경에서 그 월동 능력이 인정되었다. 그러나 월동 기간 중의 주요 생육 특성은 중국 수집종과는 큰 차이를 보이지 않았다.
2. 중부 지방에서 자운영의 생육은 남부 지방에 비해 약 2주간 늦은 경향을 보였으며, 월동 기간 중 수분포텐셜은 시기별로 큰 차이를 보여 월동에 체내 수분 상태가 중요한 요인임을 알 수 있었다.
3. 벼의 수확기 차이에 따라 자운영의 파종기가 영향을 받아 조생종을 재배한 경우 자운영 파종기가 앞당겨져 자운영의 월동 후 생육이 왕성하였다.
4. 자운영의 내동성은 부위별로 차이가 있었으며 상위엽의 내동성이 강한 경향을 보였다. 또한 왕성하게 생육한 경우 내동성이 높아 월동 전 자운영의 생육 상태가 월동 능력에 크게 영향을 끼치는 것으로 나타났다.
5. 내동성에 대해 전해질 누출량 측정을 통한 LT_{50} 검정은 자운영 유전자형 간에 큰 차이를 보이지 않아 내재적 내동성은 유전자형 간에 중요한 요인으로 작용하지 않았다.
6. 저온에 의한 자운영의 피해는 -15°C 에서 급격하게 일어나기 시작하였으나, 월동 기간 중에 시기별 차이가 있었다. 파종 후 내동성이 지속적으로 증가하여 한 겨울인 1월말과 2월초까지에 가장 내동성이 높았으며 이후 급격하게 감소하였다.

7. 자운영 수집종간에 월동력과 가장 밀접한 관련이 있는 형질은 엽각과 관부의 두께였다. 중부지방 수집종은 지표부터 엽각이 작아 포복형의 초형을 보였으며 다른 유전자형은 직립하는 형태를 보였다. 중부지방 수집종은 또한 관부와 지하부의 발달이 좋은 형태적 특성을 보였다.
8. 자운영의 내부 물질은 온도가 낮아짐에 따라 당은 증가하고 전분은 감소하는 특성을 보였으며 엽록소는 감소하였고 안토시아닌 함량은 증가하는 경향을 보였다.
9. 자운영의 과중기는 월동력 외에도 월동 후의 생물량 생산에 직접적인 영향을 미쳤는데, 남부지방의 경우 10월에 과중할 경우 9월에 과중한 경우보다 생물량 생산이 약 40% 이상 줄어들어 과중기 지연이 녹비로써 자운영의 효과를 감소시키는 것으로 나타났다.
10. 자운영의 내동성을 증진시키는 재배적 방법으로는 과중기를 과번무 하지 않는 선에서 앞당기고 과중시 평휴 과중보다는 곁을 타고 곁뿌림한 경우 월동력이 증대되는 결과를 보였다.
11. 자운영을 늦게 평휴에 뿌린 경우 적기에 곁뿌림한 경우보다 저온 피해의 지표가 되는 안토시아닌 함량이 높고 엽록소 함량이 낮아 만파 및 평휴 과중시 내재적으로도 저온에 의한 스트레스를 많이 받게 되는 것으로 나타났다.
12. 자운영의 월동에는 토양 수분이 직접적으로 영향을 주었으며 과도하게 수분이 포화된 토양이나 매우 건조한 토양에서 자라는 자운영은 월동률이 극히 저하되었다. 또한 자운영 과중 후 벚짚 등으로 피복될 경우 자운영의 월동률은 크게 저하되었다.
13. 자운영이 월동전 뿌리 발달이 좋지 않은 경우 월동 기간 중 한발해를 입어 월동률이 크게 약화되었다. 따라서 객토 등을 통해 토양의 물리성 개선을 통해 토양의 보수력을 높일 경우 자운영의 월동률이 증가될 것으로 생각되며 장기적으로 유기물의 토양 환원을 실시할 경우 자운영의 월동률이 증대될 것으로 나타났다.
14. 자운영을 양액 재배하여 양분 부족에 따른 내동성의 변화를 보면, 내동성은 양액 내 K와 P의 감소로 인하여 약화되었다. 따라서 인산과 칼리가 결핍된 토양의 경우 인산과 칼리 시용을 통해 내동성을 증진시킬 수 있을 것으로 나타났다.
15. 자운영의 발아는 수분포텐셜이 0인 조건에서는 20℃가 최적 발아온도였으나 용액의 수분 포텐셜이 낮아지면 15℃가 최적 발아 온도였다. 따라서 포장 조건에

서 최적 발아 온도는 15℃인 것으로 확인되었다. 수분포텐셜이 크게 낮아져 -1.5MPa의 조건에서는 자운영은 10℃에서는 발아가 양호하였으나 20℃ 이상에서는 발아가 극히 불량하였다.

16. 담수 조건에서 자운영의 발아는 비교적 양호하였으나 20mm의 담수심의 경우 담수심이 깊은 경우보다 도리어 발아가 불량하였다. 따라서 논 조건에서 자운영을 파종하였을 경우에도 자운영의 발아는 크게 저하되지 않는 것으로 나타났다.
17. 자운영의 출현에 있어서 복토심은 커질수록 출현이 저하되었으나 5cm까지는 큰 감소가 나타나지 않았으며 출현 후 유묘 생육도 5cm까지는 크게 저하되지 않았다.
18. 자운영의 종자 발달 단계별 특성을 보면, 개화 후 39일을 정점으로 생체중이 감소하였다. 자운영의 발아는 후숙되지 않은 경우 개화 40일경부터 가능하였다.
19. 자운영의 후숙에 따라 발아율 증가가 나타났다. 상온저장시 채종 40일까지는 발아율이 낮았으나 100일이 경과함에 따라 발아율이 급격하게 증가하였다.

제 2 절 피복 및 녹비작물로써 자운영의 효과 검토

I. 서 론

자운영을 이용한 작부체계의 궁극적인 목표는 보다 친환경적인 농업을 하기 위해 서라고 볼 수 있다. 자운영은 피복작물이자 녹비작물이라고 볼 수 있다. 따라서 자운영의 피복작물로써의 기능과 녹비작물로써의 기능에 대한 능력 및 효과 평가가 제대로 이루어져야 자운영 도입이 활성화될 수 있을 것이다. 피복작물로써 자운영의 기능은 토양 침식 방지, 질소 유실 방지, 잡초 억제와 같은 전통적인 피복작물의 기능 외에도 동계 월동 작물인 자운영의 특성상 겨울철 농경지 녹화에 따른 경관 개선의 효과도 있다고 볼 수 있다. 그러나 자운영은 월동 기간 중 토양 피복율이 아주 우수하지는 않아 동계 토양 피복에 따른 경관 개선의 효과는 그리 크지는 않다고 볼 수 있다. 그러나 자운영은 다른 월동 작물에서 볼 수 있는 것처럼 월동 직후에 빠른 재생육을 보여 4월에 농경지 토양을 빠르게 피복하는 특성을 가지고 있어 봄철 하작물 재배 전 농경지의 피복 효과는 매우 우수하다고 볼 수 있다. 더욱이 4월 중순이후 개화가 시작되면서 남부 지방의 경우 4월 중순부터 중부지방의 경우 4월 하순부터 농경지의 심미적개선 효과가 뛰어난 작물이다. 더불어 자운영은 밀원작물로써도 기능을 하여 여러 가치 측면에서 환경친화적인 농촌을 조성하는데 기여할 수 있다.

피복작물이 친환경적 농업에 필요한 이유는 토양 보호와 질소 유실 방지 외에도 잡초 생육 억제가 중요한 기능이다. 잡초 억제는 잡초의 발아를 억제할 수도 있으며 잡초의 생육을 억제할 수도 있다. 발아 억제는 잘 알려진 allelopathy에 의한 결과라고 볼 수 있으며, 생육 억제는 봄철에 생육이 왕성한 자운영이 잡초와의 경합에서 우위를 보이기 때문이다. 잡초 억제 효과는 제초제 사용의 절감과 제초에 소요되는 노동력의 절감을 가져올 수 있어 아주 경제적으로 중요한 역할이라고 볼 수 있다. 피복작물의 잡초 억제는 일반적으로 잡초 발생시 광 차단에 의한 발아 억제 발생 후 광차단에 의한 광합성 저해 등을 통해 이루어지나 allelopathy 효과가 있을 경우 그 효과는 크게 증대되므로 자운영의 allelopathy 효과에 대한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 자운영의 잡초 억제 효과를 자운영 추출물을 통해 검토하여 allelopathy 효과를 확인하고자 하며 포장 조건에서 잡초 발생 및 생육에 대한 자운

영 재배의 효과도 검증되었다. 또한 자운영의 토양 혼입 유형에 따라 잡초 발생에 대한 효과가 달라질 수 있으므로 이러한 혼입 유형별 잡초 발생 양상도 확인하였다. 이 과정에서 자운영에 의하여 영향을 많이 받는 잡초와 영향이 적은 잡초종에 대한 결과 분석도 이루어졌다.

두과작물인 자운영은 녹비로써 질소공급 능력이 있다. 환경 친화적 농업에서 녹비작물의 이용은 질소 비료의 사용량 감소는 물론 완효성 질소원으로써의 장점으로 인하여 질소원의 용탈이나 유거에 의한 수질 오염의 방지 기능도 가지고 있어 앞으로 그 이용이 더욱 강조될 것이다. 녹비작물은 잘 알려진 바와 같이 작부체계에 도입할 경우 토양내 양분을 흡수하여 저장하였다가 분해되면서 후작물에 공급하고, 생육 과정에서 축적한 유기물을 토양으로 환원하여 토양 내 미생물의 생육을 조장하여 토양의 물리성 및 화학성을 개성하는 효과가 있어 작물의 생육을 이롭게 한다. 본 연구는 녹비로써 자운영의 효과를 알아보기 위하여 자운영을 재배한 후 후작물의 생육에 미치는 영향을 분석하고 자운영의 생육 단계별로 예취한 후 이들의 녹비 효율을 검증하여 최적의 녹비 효과를 갖는 자운영의 예취시기를 알아보았다. 자운영의 최적의 예취시기는 후작물을 고려한 작부체계 내에서 고려되어야 하나, 자운영의 녹비 효율과 잡초 억제 효율 측면에서 자운영의 토양 혼입 시기를 적절하게 조절할 경우 잡초 억제와 양분 공급 두 가지 효과를 극대화 시킬 수 있을 것이다.

자운영의 토양 혼입에 따른 토양내 양분 함량과 미생물 활성 변화는 친환경 농업 측면에서 매우 중요하다. 본 연구는 자운영의 혼입량을 달리하여 다른 온도 조건 및 수분 조건에서 배양시켜 유기태 질소의 무기화에 따른 질산태 질소와 암모니아태 질소의 변화량을 확인하여 자운영 혼입 후 일어나는 토양내 질소 양분 수준의 변화를 알아보았다. 또한 자운영 혼입 후 질소 무기화에 영향을 주며 토양 물리·화학성에도 영향을 주는 토양 미생물의 활성을 urease, phosphatase, dehydrogenase 활성 변화를 알아봄으로써 자운영 혼입시 토양내에서 일어나는 변화를 검토하였다.

본 연구에서 얻어진 결과들은 자운영의 적정 토양 혼입 시기 및 토양 혼입에 따른 후작물 생육 변화 예측에 이용될 수 있어 앞으로 친환경 농업을 위한 자운영 도입시 필요한 정보로 활용할 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 자운영의 발아 억제 효과 검정

자운영을 2004년 4월 13일, 4월 27일, 5월 4일, 5월 25일에 지상부를 예취하여 음건시킨 후 곱게 갈은 (0.5mm) 후 2.5g을 무게를 달아서 25mL의 95% ethyl alcohol을 첨가한 후 12시간 추출한다. 추출 후 여지(Whatman #1)로 거른 다음 회전감압농축기를 이용하여 알코올을 증발시킨 다음 증류수 물을 5mL 넣어서 추출물을 녹여내었다. 이 녹인 수용성 물질을 지름이 10cm인 petri dish에 0, 0.2, 1, 5mL을 첨가하여 종자를 치상하였다. 치상 후 종자는 25°C 항온기에서 발아를 실시하고 발아율과 누적발아율을 조사하였다. 발아 최종일에 유묘의 길이를 측정하였다.

누적발아율 (Weighted germination percentage)

$$\frac{(K \times N_1 + (K-1) \times N_2 \cdots \cdots 2 \times N_{(K-1)} \times N_K) \times 100}{K \times 100 \text{ (치상한 종자 수)}}$$

N : 발아한 종자수

K : 발아시킨 일수

2. 자운영내 total phenolics 함량

자운영 분말 100mg을 80% Methanol 1mL에 넣고 4시간 동안 흔들어 추출한다. 추출한 시료를 원심분리기에 넣고 원심분리 후 상등액만 0.2mL따서 Methanol로 10배 희석 시킨다. 10배 희석된 샘플 0.2mL에 증류수 2.8mL을 넣고 phenol reagent 0.2mL을 넣는다. 5분 경과 후 20% sodium carbonate sol.을 6mL 넣고, 40°C에 30분간 방치 한 후 720nm에서 흡광도를 측정한다. Standard는 gallic acid 10mg을 증류수 100mL에 녹여서 만든다.

3. 토양내 질산태 질소와 암모니아태 질소 함량 측정

토양 5g에 2M KCl 용액을 25mL을 가하고 1시간 진탕 후 진탕 추출한 거름종이로 거른 후 용액 내 NO_3^- 와 NH_4^+ 의 농도를 측정하였다.

가. Nitrate 농도 측정

1) 증류법

MgO를 가하여 NH_4^+ 태를 추출한 후 Devarda's alloy를 가하여 NO_3^- 태 질소를 NH_4^+ 태 질소로 전환시켜 2% 붕소용액에 질소를 포집하고 1/140N - HCl 로 적정하였다.

(계 산)

$$= (T-B) \times f \times N(1/140) \times 14 \times 1,000 / \text{건시료}(g) \times A / \text{여과액량}(20\text{mL})$$

$$= (T-B) \times 0.1 \times 1,000 / \text{건시료}(g) \times A / \text{여과액량}(20\text{mL})$$

T : 여과액 적정량(mL), B : Blank 적정량(mL), A : 추출액 + (습시료 무게 - 건시료 무게), 건시료무게(g) : 수분함량을 조사하여 습시료의 무게를 건시료 무게로 환산

2) ISE(ion selective electrode) 법

여과액 10mL에 ISA($(\text{HN}_4)_2\text{SO}_4$)를 0.2mL 첨가하고 Nitrate selective 전극을 이용하여 측정한다. Calibration은 NO_3^- 를 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} M로 녹인 용액으로 실시한다.

나. Ammonium 농도 측정

가) 증류법

여과액 20mL을 켈달 플라스크에 취한 후 MgO 가하고 2% 붕소용액에 포집 한 질소를 1/140N HCl 로 적정하고 nitrate에 준하여 농도를 계산하였다.

나) 발색법

NH_4^+ 추출액 5mL에 phenol solution 200 μL 와 nitroferricyanide 200 μL , oxidizing reagent 500 μL 를 넣는다. vortexing 후 1시간이상 발색시킨 후 630nm에서 OD를 읽는다. Standard는 NH_4^+ 를 500, 400, 300, 200, 100 $\mu\text{L/L}$ 로 준비한다.

4. 자운영 처리 토양의 침출수내 NO_3^- 와 NH_4^+ 농도 측정

미사질 양토의 밭 흙에 자운영을 600kg/10a의 수준으로 토양과 섞은 후 40×25×15cm의 플라스틱 통에 채운 후 8월 9일 온실에서 옥수수(찰옥 2호)를 파종한 다음 20일 후에 하면에 뚫어 놓은 구멍을 통해 흘러나온 침출수를 1L 수집한 침출수내 NO_3^- 와 NH_4^+ 농도를 측정하였다.

5. 자운영 혼입 후 토양 내 질소무기화 측정

사질 양토의 밭토양에 자운영 분말을 200kg/10와 600kg/10a 두 수준으로 처리하여 하면에 구멍이 뚫린 50mL짜리 플라스틱 원심분리 튜브에 채우고 수분 상태를 조절 한 다음 항온기에 넣고 10일 간격으로 토양내 질산태 질소와 암모니아태 질소 함량을 구하였다. 수분조건은 수분 포화된 조건과 포장용수량 조건으로 조절하고, 온도는 20℃와 30℃ 조건에서 실시하였다. 조건, 투입량, 시기별로 분리한 각각을 항온기에 넣어 두고, 10일 간격으로 8개의 샘플을 채취해 켈달장치를 이용하여 토양속 NH_4^+ , NO_3^- 을 분석한다.

6. 후작물 시험

밭에서 자운영 처리는 생체중 기준으로 40ton/ha로 처리하였고, 무경운의 경우 옥수수 파종전 20일 전 glyphosate를 처리하여 자운영을 고사 시킨 후 5월 30일에 호미를 이용하여 점파로 옥수수를 파종하고 나머지 처리는 뿌림골을 타고 60×20cm의 재식밀도로 파종하였다. 옥수수 포장에 대한 잡초 방제는 손제초를 실시하였다. 콧트 실험은 지름이 11cm인 콧트에 4월 13일, 4월 27일, 5월 11일에 예취 후 말린 다음 분쇄한 자운영 분말을 600kg/10a의 비율로 넣고 옥수수 (찰옥 2호)를 5립씩 파종 후 생육 조사를 실시하였다.

후작물 벼의 수량을 조사하기 위하여 경기도 남양주시 와부읍 고려대학교 실습포

장에서 실시되었다. 실험에 사용된 벼 품종은 오대벼였으며, 아래와 같이 자운영 지상부를 예취하여 혼입처리한 15일 후에 25일 묘를 6월 20일에 재식거리 30X18cm로 기계이앙 하였다. 처리내용으로는 녹비작물 무재배 조건, 자운영 과량(80ton/ha), 적량(40ton/ha), 반량(20ton/ha)으로 혼입처리 하였다. 대조구로는 복합비료(N-P-K = 21-17-17)를 시용한 후 오대벼와 일품벼(5월 10일 이앙)의 관행재배를 두었다. 자운영의 혼입은 초기분해에 의한 유해가스 방출 등에 필요한 최소한의 기간을 고려하여 벼 이앙 15일 전에 투입 후 로터리로 2회 갈아 혼입하였다. 이앙 후 이틀째에 토양 처리제인 cyclosufamuron-butachlor 입제를 토양처리하여 잡초방제를 실시하였다. 벼의 생육 및 수량조사는 자운영 투입에 의한 효과를 판단하기 위해 벼 생육 중기인 유수 형성기 및 출수기에 분얼수를 조사 하였고, 수량구성요소를 조사하였다.

7. 토양 미생물 활성 측정

가. Urease 활성

토양 0.5g에 80mM urea 용액 0.25mL과 75mM Borate buffer 2mL을 넣고 37℃에서 2시간 배양한다. Control은 urea 대신 물을 사용하여 배양한다. 배양 후 2M KCl을 3mL 첨가하고 30분간 흔든다. 원심분리후 상등액 0.2mL을 따서 1.8mL 증류수와 섞는다. 여기에 1mL의 salicylate/NaOH solution을 넣고, 0.4mL의 dichloroisocyanuric acid를 넣는다. 상온에 20분간 방치후 690nm에서 OD를 읽는다.

나. Phosphatase

토양 0.5g에 0.5M acetate buffer (ph 5.5)를 0.2mL을 넣고 0.115M p-nitrophenylphosphate 0.2ml를 넣은 다음 37℃에서 90분 배양하고 1 시간 경과 후 15분간 얼음물에서 반응을 정지시킨 후 0.2ml의 0.5M CaCl₂와 0.8mL의 0.5M NaOH를 넣는다. 원심분리후 410nm에서 흡광도를 측정한다.

다. Dehydrogenase

토양 2g에 2mL 1% TTC용액 (0.5M Tris buffer pH 7.6)을 넣고 마개를 꼭 막고 37℃ 암조건에서 24시간 배양한다. 여기에 5mL 메탄올을 넣고 추출 후 485nm에서 흡광도를 측정한다.

II. 결과 및 고찰

1. 생육 시기별로 예측한 자운영 추출물이 작물의 발아에 미치는 영향

자운영의 잡초 발생 억제에 효과는 아직까지 보고된 것이 없다. 피복작물로서 자운영이 갖추어야 될 요건 중의 하나가 잡초 발생 억제 효과임을 감안할 때 잡초 발생 억제에 대한 효과는 중요한 형질이다. 잡초발생 억제는 피복에 의한 잡초 생육 억제 효과 생겨나는 것도 있지만 allelopathy에 의한 효과도 관여한다. 지금까지 식물의 allelopathy에 대한 연구는 많은 식물종에서 이루어져 왔으나 allelopathy를 나타내는 가장 중요한 물질은 페놀화합물인 것으로 알려져 있다. 따라서 자운영의 allelopathy 능력을 알아보기 위하여 자운영 생육 시기별로 그 효과를 검정하였다.

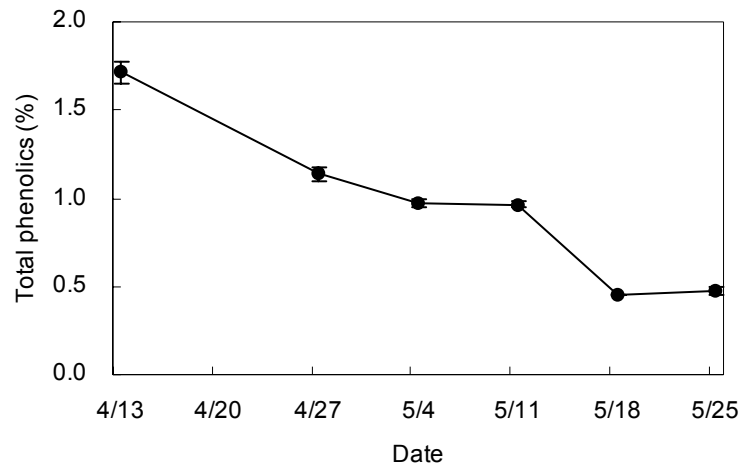


Fig. 1. Changes of total phenolics content in CMV after overwintering in 2005.

월동 후 자운영내 저장 물질 중 total phenolics의 함량 변화는 5월 중순까지 지속적으로 감소하였다. 페놀화합물은 대표적인 allelopathy를 나타내는 대표적인 물질로서 (Dalton et al., 1983), 자운영의 잡초 발생 억제 효과는 5월 초순부터 급격하게 감소하므로 자운영의 잡초 억제 효과를 이용하는 측면에서 볼 때 최대 건물 생산

기의 잡초 억제 효과가 가장 클 것으로 생각된다. 자운영 생육단계별로 수집한 후 알코올로 추출한 추출물을 증류수로 희석하여 단자엽 식물인 보리, 옥수수과 쌍자엽 식물인 무와 콩에 처리한 결과는 표 1 ~ 표 4에 나와 있다. 자운영 추출물은 보리, 무, 옥수수, 콩에 대해 발아 억제 효과를 보였으며, 특히 보리의 발아 억제 정도가 심하였다. 발아 억제는 위의 페놀 화합물의 함량과 깊은 관련이 있었으며 total phenolics가 감소함에 따라 다른 작물의 발아에 대한 억제 정도도 감소하였다. 보리의 경우를 보면 4월 13일 예취한 자운영의 추출물은 고농도(5mL)에서 보리의 발아를 완벽하게 억제시켰으나 콩의 경우는 그 효과가 약하게 나타나 중간에 발아 억제가 상이하게 나타났다. 특히 보리에 대해서는 예취시기에 관계없이 고농도에서 발아 억제 효과가 매우 높았으며 자운영의 지하부가 고사한 5월 25일 예취한 경우에도 그 효과가 나타났다. 그러나 자운영 예취 시기는 다른 작물의 발아에 효과가 다르게 나타났는데, 보리, 무, 옥수수의 경우는 5월 이후에 예취한 경우에는 발아 억제 효과가 매우 미약하였다. 콩의 경우는 예취시기에 관계없이 발아 억제 효과가 거의 없었으며 따라서 예취시기간의 차이를 확인할 수 없었다.

예취를 4월에 실시한 경우 4월 13일과 4월 27일 간에는 큰 차이를 보이지 않았으며 보리, 무, 옥수수의 경우에는 4월 23일 예취한 자운영 추출물의 효과가 다소 크게 나타났다. 콩에서 자운영 추출물에 의한 발아 억제 효과가 나타나지 않은 것은 여러 가지 요인이 있을 수 있으나 콩의 경우 자운영과 같은 두과 작물이므로 다른 비해 자운영과 유연관계가 크기 때문에 allelopathy 효과가 낮은 것으로 사료되었다. 그러나 이에 대한 이유는 추후 보다 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

자운영 추출물의 농도는 자운영 5g을 알콜로 추출 후 10mL의 증류수로 녹인 것이므로 매우 높은 농도이다. 따라서 포장 조건에서 이와 같은 고농도의 자운영 효과를 기대하기 힘들다. 저농도의 자운영에 유출물에서 보여준 생육 저해 효과는 나타날 것으로 생각된다.

Table 1. Effect of CMV extract on the germination of barley

	Concentration* (volume of extract)	CMV collection date			
		Apr. 13	Apr. 27	May 4	May 25
Weighted germination percentage	0	71.1±5.7	71.1±5.7	71.1±5.7	71.1±5.7
	0.2	25.6±4.5	33.9±3.3	35.6±7.3	44.8±6.5
	1	14.1±9.7	2.3±2.1	9.7±9.3	22.1±12.3
	5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	2.7±1.5
Germination percentage	0	85.7±4.2	85.7±4.2	85.7±4.2	85.7±4.2
	0.2	34.0±5.6	47.4±7.5	48.3±10.3	54.7±6.7
	1	22.0±15.1	11.0±11.4	16.7±16.1	29.8±18.4
	5	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	5.3±2.1

*CMV (5g) was extracted with ethanol and redissolved into 10mL distilled water

Table 2. Effect of CMV extract on the germination of radish

	Concentration* (volume of extract)	CMV collection date			
		Apr. 13	Apr. 27	May 4	May 25
Weighted germination percentage	0	88.0±4.1	88.0±4.1	88.0±4.1	88.0±4.1
	0.2	85.3±3.5	83.9±3.2	87.0±2.5	88.0±6.0
	1	72.0±3.1	66.9±6.3	77.9±1.9	78.8±0.3
	5	40.9±8.7	36.0±3.5	57.2±5.2	75.1±3.0
Germination percentage	0	94.0±3.5	94.0±3.5	94.0±3.5	94.0±3.5
	0.2	90.7±4.0	90.3±3.1	92.3±2.1	94.0±5.6
	1	81.7±4.0	82.3±7.4	84.7±4.9	85.0±1.7
	5	44.3±14.8	66.5±16.5	85.0±3.0	90.3±1.5

*CMV (5g) was extracted with ethanol and redissolved into 10mL distilled water

Table 3. Effect of CMV extract on the germination of corn

	Concentration* (volume of extract)	CMV collection date			
		Apr. 13	Apr. 27	May 4	May 25
Weighted germination percentage	0	86.5±2.4	86.5±2.4	86.5±2.4	86.5±2.4
	0.2	84.9±3.0	80.2±2.0	84.3±1.7	87.1±1.3
	1	79.2±2.9	76.8±6.0	78.2±12.7	86.9±3.2
	5	40.8±4.0	31.2±3.7	62.4±5.0	72.8±3.4
	0	98.0±2.0	98.0±2.0	98.0±2.0	98.0±2.0
Germination percentage	0.2	96.7±3.1	95.3±1.2	96.0±2.0	99.3±1.2
	1	96.0±2.0	96.7±2.3	91.3±13.3	98.7±2.3
	5	65.3±4.6	51.3±3.1	88.0±2.0	92.0±5.3

*CMV (5g) was extracted with ethanol and redissolved into 10mL distilled water

Table 4. Effect of CMV extract on the germination of soybean

	Concentration* (volume of extract)	CMV collection date			
		Apr. 13	Apr. 27	May 4	May 25
Weighted germination percentage	0	97.2±1.6	97.2±1.6	97.2±1.6	97.2±1.6
	0.2	95.0±5.0	95.1±2.6	91.1±2.1	91.5±5.6
	1	92.8±2.6	90.6±2.4	92.1±3.9	88.9±2.0
	5	67.7±5.4	57.0±7.2	73.1±1.2	74.6±2.2
	0	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0
Germination percentage	0.2	98.7±2.3	98.7±2.3	94.7±3.1	96.7±4.2
	1	98.7±2.3	98.0±2.0	98.0±2.0	98.7±1.2
	5	96.0±4.0	86.7±6.1	96.0±0.0	97.3±1.2

*CMV (5g) was extracted with ethanol and redissolved into 10mL distilled water

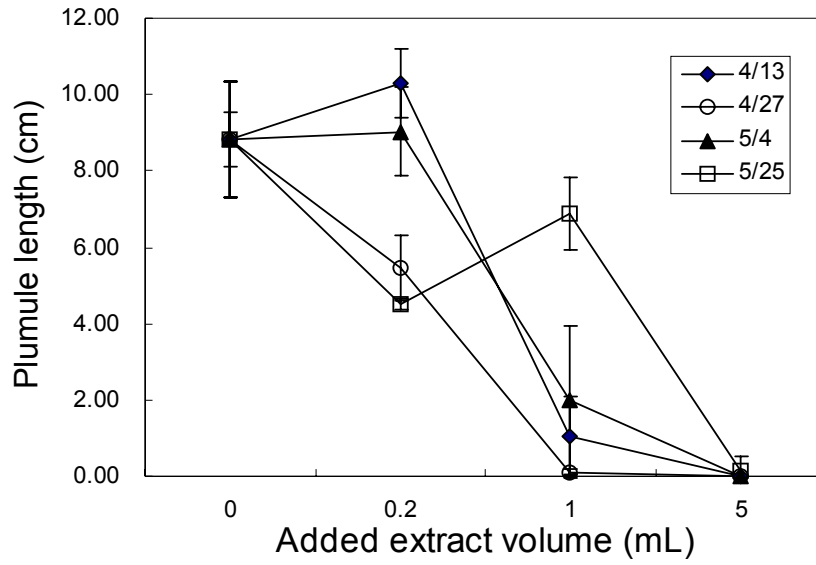


Fig. 2. Effect of CMV extract on the plumule growth of barley.

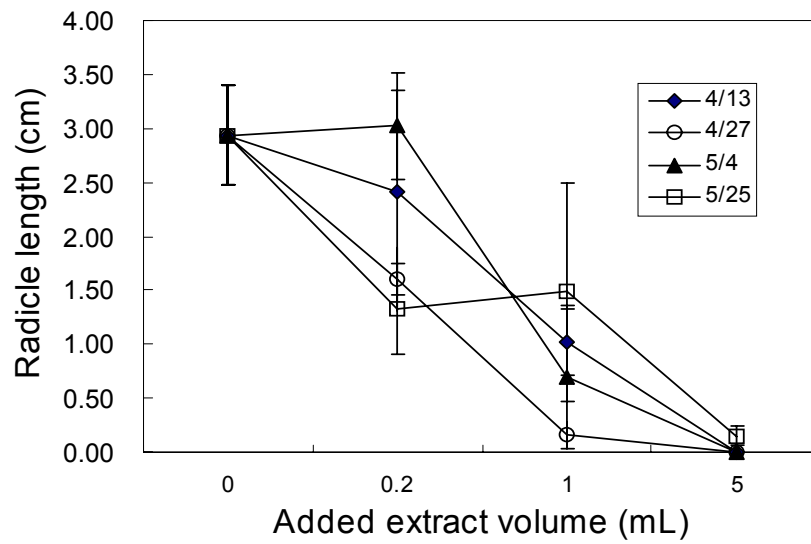


Fig. 3. Effect of CMV extract on the radicle growth of barley.

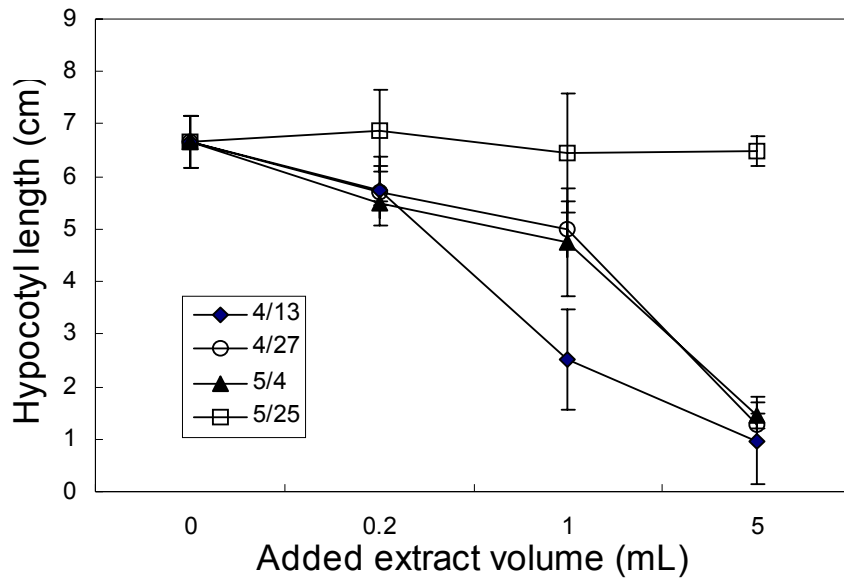


Fig. 4. Effect of CMV extract on the hypocotyl growth of radish.

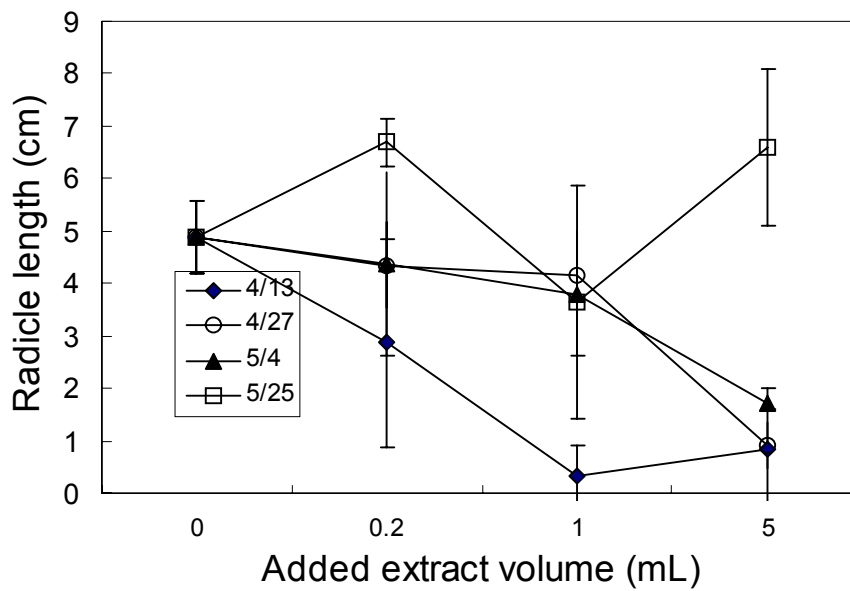


Fig. 5. Effect of CMV extract on the radicle growth of radish.

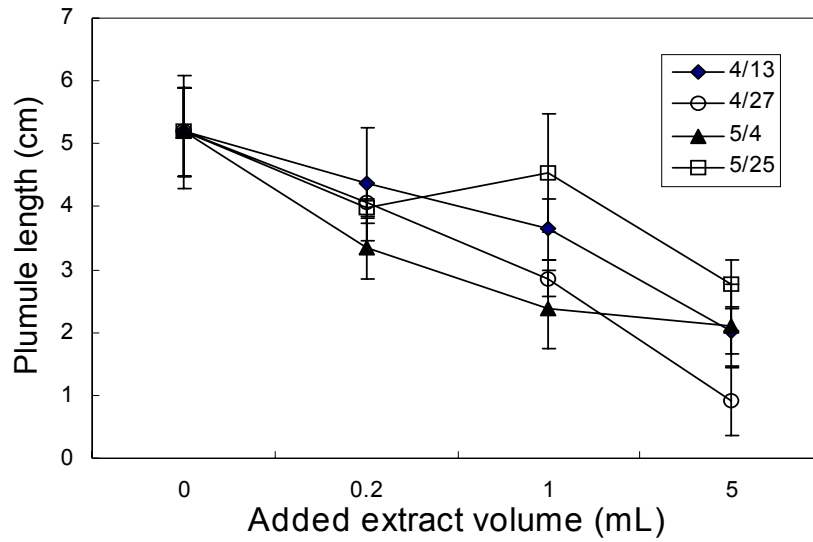


Fig. 6. Effect of CMV extract on the plumule growth of corn.

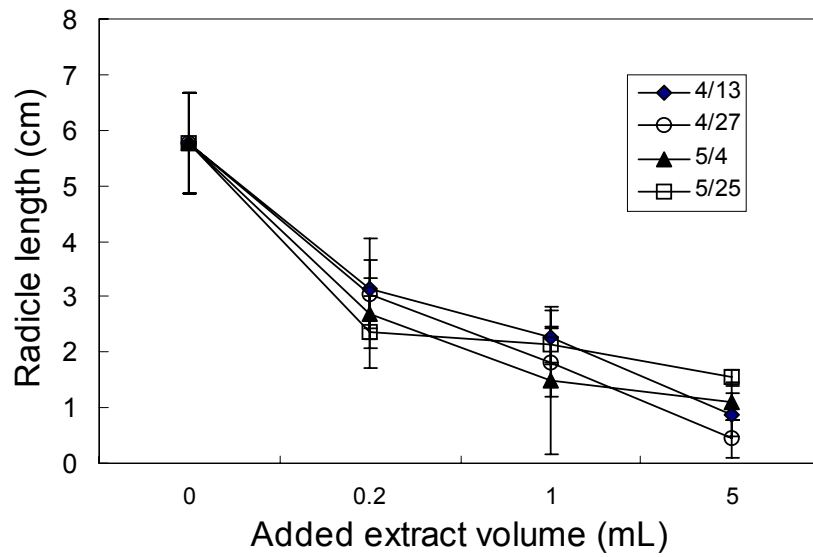


Fig. 7. Effect of CMV extract on the radicle growth of corn.

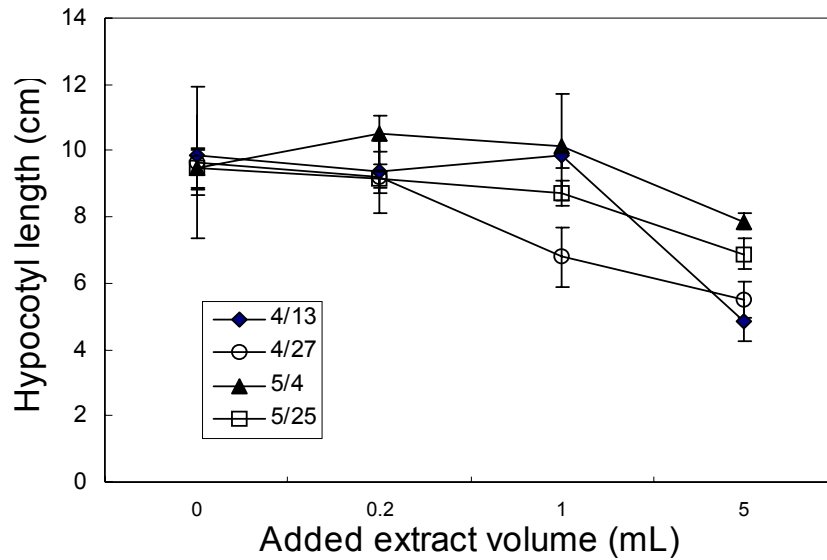


Fig. 8. Effect of CMV extract on the hypocotyl growth of soybean.

자운영 추출물의 발아 억제 효과는 보리에서 가장 강하게 나타났으며 발아 과정에서 유근과 유아의 성장에 대한 효과도 보리에서 강하게 나타났다(그림 2, 그림3). 그러나 발아 억제 효과가 옥수수에서는 무와 비슷한 정도로 그리 높지 않았으나 유근과 유아 성장에 대한 자운영 추출물의 효과는 옥수수에서 보리 정도로 매우 강하게 나타났다(그림 4~7). 따라서 자운영 추출물의 allelopathy 효과는 쌍자엽 식물보다 단자엽 식물에 대한 효과가 큰 것으로 확인되었다. 무의 경우는 5월 25일 예취한 자운영으로부터 얻어진 추출물의 경우 유근과 유아의 성장을 거의 억제하기 못하였으며 도리어 다소 촉진하는 결과를 보였는데, 이는 자운영 추출물 내에 들어 있는 다른 영양 성분이 무의 유아 및 유근의 성장을 조장하였기 때문인 것으로 사료되었다. 콩의 경우 자운영 추출물이 고농도에서 거의 50% 수준으로 하배축의 길이 신장을 억제하였으나 약한 농도들에서는 거의 억제 정도가 나타나지 않았다(그림 8). 따라서 자운영 추출물은 콩에 대해서는 거의 억제 효과가 나타나지 않는 것으로 확인되었다. 따라서 자운영을 작부체계내로 도입할 경우 보리나 옥수수와 같은 화본과 작물의 전작물로서 재배 후 토양으로 혼입시킬 때 allelopathy에 의한 생육 억제가 발

생활 수 있으며 특히 자운영의 혼입 시기가 4월인 경우 자운영의 allelopathy 효과가 이들 작물에 나타날 수 있을 것으로 보여 진다. 그러나 콩의 전작물로써 자운영을 재배 후 토양 혼입할 경우에는 이러한 문제가 발생하지 않을 것으로 생각된다. 따라서 자운영을 녹비로써 이용할 경우 혼입시기에 대한 결정은 자운영 후작물의 종류에 따라 다소 달리하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

2. 자운영을 재배한 옥수수 포장에서 잡초 발생 양상

피복작물로써 자운영의 잡초 억제 효과는 잡초에 대한 발아와 피복에 따른 잡초 발생 및 생육 억제 효과를 기대할 수 있다. 포장 조건에서 자운영에 의한 잡초 발생의 변화는 자운영의 발생 밀도와 깊은 관련이 있으므로 월동률 증진에 따른 월동 후 자운영의 포장 피복도 및 생물량 생산 능력 등이 관여한다고 볼 수 있다. 자운영 처리와 잡초 관리 방법에 따른 옥수수 포장의 잡초 발생 양상은 그림 9와 같다.

잡초조사는 8월 23일에 수행하였으며 옥수수 포장에서 많이 발생한 잡초는 돌피, 바랭이, 털별꽃아재비, 깨풀 등이었으며 자운영과 무제초 처리의 경우 옥수수의 생육이 극도로 저하되었다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 자운영을 재배하고 잡초 방제를 실시하지 않은 경우는 무처리 방임구에 비해 잡초 발생은 약 40% 정도 감소하였으나 잡초 관리 측면에서 볼 때 적절한 수준에는 이르지 못하여 자운영을 피복작물로 재배할 경우에도 부가적인 제초 관리가 요구되는 것으로 나타났다. 그러나 자운영 피복에 따른 잡초 발생 감소로 제초 작업에 소요되는 경비는 줄어들 것으로 보여 진다. 자운영 재배 후 무경운으로 옥수수를 재배한 경우 잡초 본수는 많이 줄어든 반면 발생한 잡초의 건물중은 무처리 수준으로 높은 값을 보였는데, 이러한 결과는 무비료, 무경운 옥수수 재배는 초기 잡초 발생은 억제한 반면 옥수수 생육에 필요한 양분이 부족하여 옥수수의 생육이 저하되어 잡초와의 경쟁력이 약해져 잡초 발생 후에 잡초의 생육이 상대적으로 왕성해졌기 때문으로 생각된다.

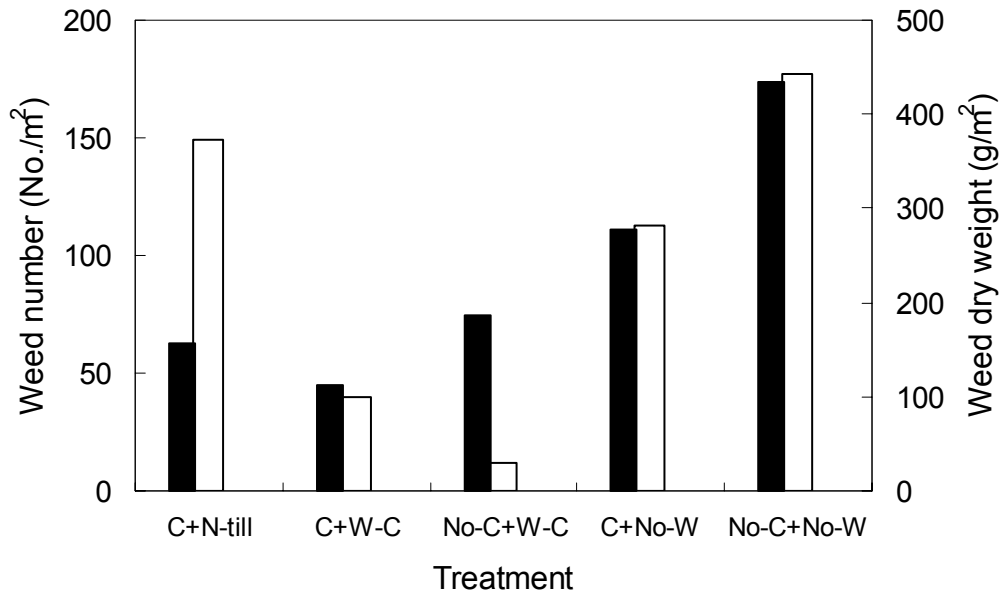


Fig. 9. Weed occurrence in the corn fields treated with different CMV and weed management practices. Filled and empty bars indicate weed number and dry weight in unit area (1m²). Corn seeds were sown on May 30 and weed occurrence was investigated on Aug. 23 in 2005. C, N-till, W-C, No-C, and No-W mean CMV, no-till, weed control, No-CMV, and no-weed control, respectively.

3. 자운영을 재배한 논에서 잡초 발생 변화

자운영은 녹비 효과 외에도 잡초 방제의 효과를 보일 수 있으므로 논에서 벼의 전작물로 자운영을 재배한 후 잡초 발생에 대한 자운영 재배의 효과를 확인하였다. 잡초 발생에 대한 자운영의 효과는 그림 10과 그림 11에 나와있다. 자운영 재배에 따른 잡초 발생 분수는 그림에서 볼 수 있는 것처럼 무처리구에 비해 현저히 낮은 발

생 본수를 보였으며 특히 자운영을 재배한 경우 자운영 재배 + 제초제 처리구와 자운영 재배 + 제초제 무처리구 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 본 시험은 자운영을 재배하지 않은 관행 재배의 경우 벼(오대벼)의 이앙기가 5월 25일 이었고 자운영을 재배한 경우는 6월 15일 이었다. 잡초 발생의 차이가 작부체계의 차이에 따른 이앙기 때문인지 자운영 재배에 따른 토양 조건의 변화 때문인지는 추후 보강 연구가 필요하며 자운영의 allelopathy 때문일 수도 있으므로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

자운영 재배에 따른 잡초 건물중의 변화를 보이는 것으로서 발생본수에 비해 자운영 재배 효과의 차이가 더욱 뚜렷하게 나타났다 (그림 11). 자운영 재배에 따른 잡초종 들의 발생 변화를 종별로 알아보면 표 5와 6에 나와 있는 것처럼 자운영을 재배한 경우는 피의 발생이 매우 억제되어 피의 우점도가 극히 낮았으며 여뀌바늘의 발생이 비교적 많았다. 이는 관행재배에서 피>알방동사니>여뀌 순으로 우점도를 보인 것과 달리 자운영을 도입한 작부체계에서는 벼>여뀌바늘>알방동사니 순으로 우점하였다. 이러한 잡초 발생의 차이는 자운영 자체의 효과 때문인지 작부체계 차이에 따른 이앙기 차이인지는 추후 지속적인 연구가 요망된다. 그러나 앞서 보인 결과와 같이 밭의 경우 자운영 재배에 의해 잡초 발생이 줄어들었기 때문에 논에서도 자운영 재배 후에 적절한 이앙기 조절을 실시할 경우 자운영 재배에 따른 잡초 발생 효과를 극대화 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

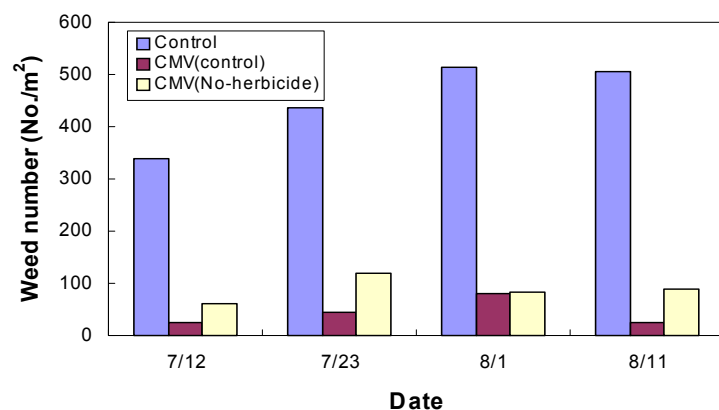


Fig. 10. Effect of CMV cultivation on the number of weed occurred in the paddy field.

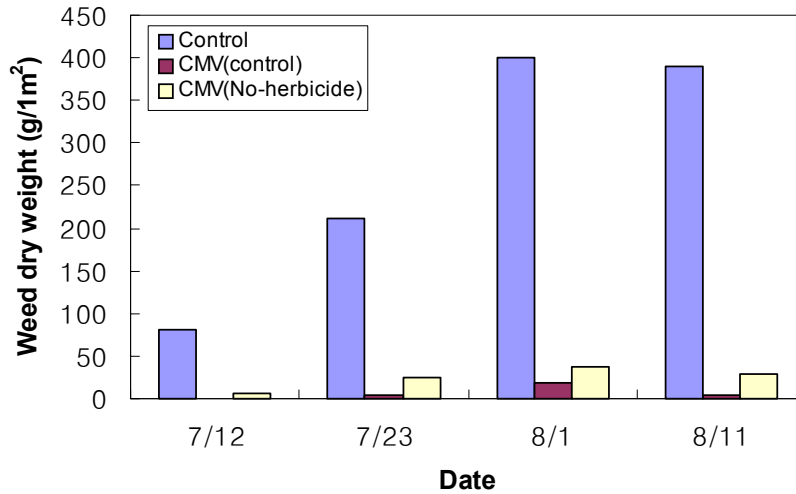


Fig. 11. Effect of CMV cultivation on the dry weight of weed occurred in the paddy field.

논에서 자운영 재배시 잡초 발생 양상을 표 5에 보는 바와 같이 벼풀, 알방동사니, 여뀌바늘이 우점하였고 표 6의 자운영 무처리 포장에서 발생한 피, 여뀌 등은 거의 발생하지 않았다. 두 처리구간의 Simpson dominance를 보더라도 자운영 처리시는 0.187이고 자운영 무처리시는 0.664로 관행 벼 재배 포장의 자운영 무처리시 잡초는 다양하게 발생하였다. 자운영 재배에 의해 잡초 발생은 큰 폭으로 줄어들었으며 이는 자운영 재배에 의한 작부체계의 차이 때문인지 자운영의 allelopathy 효과 때문인지는 추후 부가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 그러나 자운영 재배 도입을 통한 작부체계의 개선으로 인하여 잡초 발생이 큰 폭으로 줄어들었으므로 친환경 농업의 활성화에 가장 큰 걸림돌이 되는 잡초 문제가 자운영 도입을 통하여 많은 부분 해소될 수 있을 것으로 사료된다. 이 시험은 자운영은 이앙 직전에 갈아엎은 후 실시한 것으로 추후 자운영의 토양 혼입 시기에 따른 잡초 발생 억제 효과도 검토되어야 할 것으로 사료된다.

Table 5. Weed occurrence in C.M.V.-Rice cropping system paddy field at the heading stage

Weed species	Life cycle ¹⁾	Classification ²⁾	Number (No/m ²)	Dry weight (g/m ²)
<i>Cyperus difformis</i>	A	S	12	4.41
<i>Lindernia procumbens</i>	A	B	9.5	0.33
<i>Ludwigia prostrata</i>	A	B	22.5	6.42
<i>Monocharis vaginalis</i>	A	B	9.5	7.02
<i>Sagittaria pygmaea</i>	P	B	14.5	1.85
<i>Sagittaria trifolia</i>	P	B	20.5	8.71
Total			88.5	28.74
Simpson dominance			0.187	
Simpson diversity			0.813	

1 : A = Annual, P = Perennial, 2 : G = Grass, B = Broadleaf, S = Sedge

Table 6. Weed occurrence in traditional paddy field at the heading stage

Weed species	Life cycle ¹⁾	Classification ²⁾	Number (No/m ²)	Dry weight (g/m ²)
<i>Aneilema keisak</i>	A	B	7.5	2.00
<i>Bidens tripartita</i>	A	B	0.5	1.70
<i>Cyperus difformis</i>	A	S	40.0	73.10
<i>Cyperus flaccidus</i>	A	S	0.5	0.02
<i>Cyperus iria</i>	A	S	2.0	2.95
<i>Echinochloa crus-galli</i>	A	G	2.5	6.95
<i>Ludwigia prostrata</i>	A	B	409.5	248.45
<i>Monocharis vaginalis</i>	A	B	8.0	13.07
<i>Polygonum hydropiper</i>	A	B	2.0	22.50
<i>Rotala indica</i>	A	B	1.5	0.04
<i>Sagittaria pygmaea</i>	P	B	13.0	3.44
<i>Sagittaria trifolia</i>	P	B	16.0	12.30
<i>Scirpus juncooides</i>	P	S	3.0	3.60
Total			506.0	390.11
Simpson dominance			0.664	
Simpson diversity			0.336	

1 : A = Annual, P = Perennial, 2 : G = Grass, B = Broadleaf, S = Sedge

논에서 자운영에 의한 잡초 발생 억제 효과를 2005년 수행한 결과 앞의 2004년

의 결과와 마찬가지로 자운영을 혼입한 포장에서의 잡초발생 양상은 그렇지 않은 포장에 비해 월등한 잡초발생억제 효과가 인정되었다. 2년차 연구에서는 작부체계상 만생종인 일품벼 포장과 조생종인 오대벼 포장에 대한 비교실험을 수행하였는데, 본 실험에서는 자운영의 혼입과 그렇지 않은 오대벼 포장을 대상으로 실험을 실시하였다. 그림 12는 자운영을 투입한 포장과 화학비료 처리구 간의 건물중, 발생량, 초중수의 차이를 나타내고 있다. 자운영 재배에 따른 잡초 발생량(A)은 자운영 혼입처리구에서 월등히 낮음을 확인할 수 있었으며, 자운영 재배에 따른 잡초 발생 본수는 그림B에서 볼 수 있는 것처럼 무처리구에서 건물중과 더불어 현저히 높은 발생 본수를 보인다. 건물중의 경우 관행 비료사용 후 제초제 사용처리구와 자운영 혼입 후 제초제 무처리구와의 격차가 크지 않은 점은 상당히 고무적인 결과라 할 수 있다. 출수기 각 처리구에 나타난 초중 및 발생본수, 건물중은 표 7에 나와 있다.

2년차 결과와 마찬가지로 자운영 재배시 잡초발생 효과가 두드러지게 나타나는 결과를 보이는 것으로 미루어보아 자운영이 후숙되는 기간동안 산소 부족 및 타감물질의 작용으로 잡초종자의 발아가 크게 감소된 것으로 여겨진다.

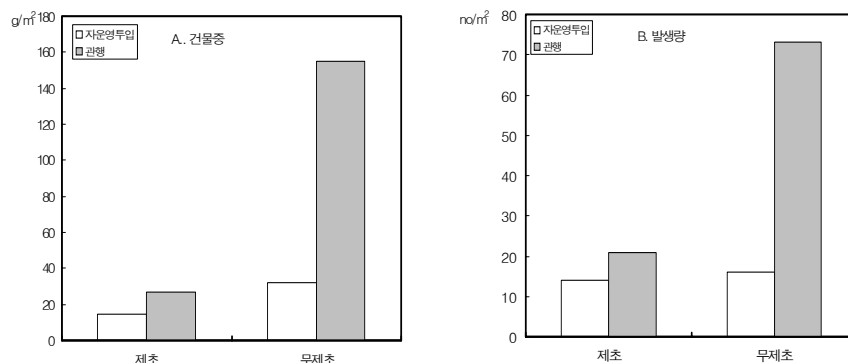


Fig. 12. Weed occurrence in paddy field treated with different CMV management and weed control practices at heading stage.

자운영은 질소 함유량이 많고, 탄질율이 낮으므로 토양중 분해는 빠르나 급속한 분해에 따라 토양의 산화환원전위가 저하하고, 분해시 유기산이나 유해 가스 및 교상물질이 생성되어 적당한 후숙과정을 거치지 않거나 너무 많은 양이 혼입될 경우

수도생육에 유해작용을 미칠 수도 있으나 이를 적절히 활용하면 생태적인 잡초방제법이 될 수 있을 것이다.

Table 7. Weed occurrence in paddy field at heading stage in 2005

CMV	Herbicide	Weed species	Life cycle ¹⁾	Classification ²⁾	Number (No/m ²)	Dry weight (g/m ²)
		<i>Aneilema keisak</i>	A	B	2	0.17
		<i>Eleocharis kuroguwai</i>	P	S	2	0.47
		<i>Ludwigia prostrata</i>	A	B	1	0.47
	+	<i>Monocharis vaginalis</i>	A	B	2	3.70
		<i>Sagittaria trifolia</i>	P	B	5	9.00
		<i>Scirpus juncooides</i>	P	S	2	0.57
		TOTAL			14	14.38
	+	<i>Aneilema keisak</i>	A	B	3	1.53
		<i>Cyperus difformis</i>	A	S	1	0.94
		<i>Eleocharis kuroguwai</i>	P	S	4	1.35
		<i>Ludwigia prostrata</i>	A	B	1	0.88
	-	<i>Monocharis vaginalis</i>	A	B	4	15.92
		<i>Sagittaria trifolia</i>	P	B	3	11.69
		TOTAL			16	32.31
		<i>Aneilema keisak</i>	A	B	1	0.33
		<i>Cyperus difformis</i>	A	S	5	0.29
		<i>Eleocharis kuroguwai</i>	P	S	4	0.9
		<i>Lindernia procumbens</i>	A	B	2	0.02
	+	<i>Monocharis vaginalis</i>	A	B	2	7.14
		<i>Sagittaria pygmaea</i>	P	B	2	1.29
		<i>Sagittaria trifolia</i>	P	B	4	16.35
	-	<i>Scirpus juncooides</i>	P	S	1	0.4
(Artificial fertilizer)		TOTAL			21	26.72
		<i>Aneilema keisak</i>	A	B	23	19.72
		<i>Cyperus difformis</i>	A	S	8	10.64
		<i>Eleocharis kuroguwai</i>	P	S	7	3.79
	-	<i>Monocharis vaginalis</i>	A	B	14	59.01
		<i>Sagittaria trifolia</i>	P	B	17	41.28
		<i>Scirpus juncooides</i>	P	S	4	20.45
		TOTAL			73	154.89

1 : A = annual, P = perennial, 2 : G=grass, B=broad leaf, S = sedge

4. 자운영 재배가 밭에서 후작물의 생육에 미치는 영향

자운영을 작부체계로 도입할 경우 자운영의 재배 밀도는 물론 월동 후 자운영 토양 혼입시 자운영의 혼입 방법도 후작물의 생육에 영향을 주게 된다. 따라서 월동 후 자운영의 처리 방법도 후작물의 생육에 영향을 미치게 된다. 옥수수 재배 전 자운영 재배 및 잡초 관리 방법에 옥수수의 엽록소 함량은 표 8에 나와 있다. 엽록소 함량을 대별하는 SPAD 값은 작물 엽내 질소함량과 밀접한 관계가 있는데, 자운영 무처리와 무잡초 (방입) 처리에 의해 옥수수의 엽록소 함량은 다른 처리에 비해 매우 낮은 값을 보였으며 특히 7월 초의 SPAD 값은 극히 낮았다. 가장 높은 값을 보인 경우는 자운영을 재배하고 손제초를 1회 실시한 경우로 48.1로 매우 높은 값을 보였다. 따라서 자운영을 재배하고 제초를 1회 실시한 경우 옥수수 생육에 필요한 양분 공급은 물론 잡초 억제 효과도 뛰어나 가장 적합한 재배 방식인 것으로 나타났다.

Table. 8. Changes of chlorophyll content (SPAD) of corn plant by CMV and weed management practices

Management practice	June 5	June 18	June 28
----- SAPD value -----			
CMV+ No-till	38.5bc*	42.6b	37.5 bc
CMV+ Weed Control	48.1a	53.1a	52.2a
No CMV+ weed control	40.1b	43.1b	41.3b
CMV+ No weeding	37.5c	40.0b	38.2bc
No CMV+ No weeding	28.8d	30.2c	33.8c

* same letter in a column means no difference statistically by DMRT at 0.05 probability level.

자운영 재배에 따른 옥수수의 초장 변화는 표 9에 나와 있는 것처럼 뚜렷한 차이를 보였는데 자운영을 녹비 작물로 재배 하였을 경우 화학 비료의 공급이 없어도 비

교적 생육이 양호 하였으며 특히 손제초를 1회 실시하였을 경우 가장 우수한 옥수수 생육을 나타내었다. 자운영 재배 후 토양 혼입 없이 무경운을 실시한 경우와 자운영 재배 후 무제초를 실시한 경우는 초장이 거의 비슷하였는데, 무경운의 경우 초기 잡초 발생 및 생육 억제 효과는 있었으나 자운영의 토양 혼입이 불량하여 옥수수의 생육이 불량하였으며 상대적으로 잡초의 후기 생육이 왕성한 결과를 보였다. 자운영 재배 후 무경운으로 옥수수를 재배한 경우와 자운영 재배 후 토양 혼입 후 무제초 처리의 경우는 무자운영구에 제초를 실시한 경우보다 옥수수 생육이 불량한 결과를 보였다. 처리별 초장 차이는 7월 초순에는 비교적 차이가 크게 나타났으나, 7월말에 초장 차이가 많이 감소 하였다.

Table 9. Changes of plant height of corn plant by CMV and weed management practices

Management practice	July 5	July 18	July 28
	----- height (cm) -----		
CMV+ No-till	114.9c	193.1c	190.1c
CMV+ Weed Control	163.2a	222.6a	230.3a
No CMV+ weed control	127.0b	213.9b	215.6b
CMV+ No weeding	114.9c	187.8c	187.4c
No CMV+ No weeding	93.0d	164.4d	175.6d

* same letter in a column means no difference statistically by DMRT at 0.05 probability level.

자운영 재배에 따른 옥수수의 건물중은 초장과 유사한 경향을 보였으나 초장 보다 뚜렷한 차이가 나타났다(표 10). 옥수수의 건물중은 자운영 재배 여부와 처리 방법 보다는 잡초방제의 실시 여부에 더욱 크게 영향을 받았다. 가장 건물중이 높게 나타난 처리는 자운영 재배 후 잡초방제를 실시한 경우로 무처리에 비하여 거의 2배 이상의 값을 보였다. 옥수수는 질소를 비롯한 양분을 비교적 많이 요구하는 작물로서

표준 시비량도 다른 작물에 비해 많다. 옥수수 식물체의 건물중 차이는 자운영 재배에 따른 양분 공급이 일차적인 요인이며 잡초 제거에 따른 양분에 대한 경합의 감소가 두 번째 요인이나 양분 공급 정도 차이보다 잡초 방제의 효과가 더욱 큰 것으로 나타났다.

Table 10. Changes of dry weight of corn plant by CMV and weed management practices

Management practice	July 5	July 18	July 28
	----- dry weight (g/plant) -----		
CMV+ No-till	9.8c	53.3b	65.9c
CMV+ Weed Control	21.0a	74.0a	126.0a
No CMV+ weed control	12.5b	72.8a	104.6b
CMV+ No weeding	11.7c	58.9b	57.6c
No CMV+ No weeding	7.9d	40.7c	59.8c

* same letter in a column means no difference statistically by DMRT at 0.05 probability level.

옥수수의 광합성 능력을 보여주는 엽록소 형광(Fv/Fm) 값은 처리간에는 차이가 크지 않았으며 초장, 건물중과 같은 다른 형질과의 관련성이 확인되지 않았다(표 11). 따라서 자운영 재배와 잡초 관리 방법에 따른 옥수수의 광합성 능력 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

Table 11. Changes of chlorophyll fluorescence of corn plant by CMV and weed management practices

Management practice	July 5	July 18	July 28
	----- Fv/m -----		
CMV+ No-till	0.7979ab	0.7963ab	0.7958a
CMV+ Weed Control	0.7911bc	0.8111a	0.7920a
No CMV+ weed control	0.8044a	0.8066a	0.7982a
CMV+ No weeding	0.7837c	0.7978ab	0.7897a
No CMV+ No weeding	0.7861c	0.7819b	0.7964a

* Same letter in a column means no difference statistically by DMRT at 0.05 probability level.

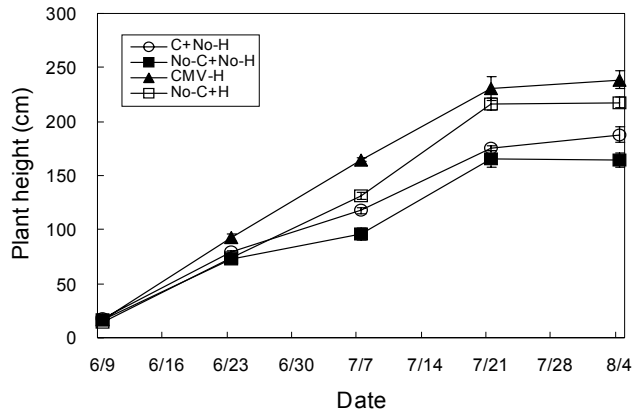


Fig. 13. Changes of corn height according to the CMV and weed management practices.

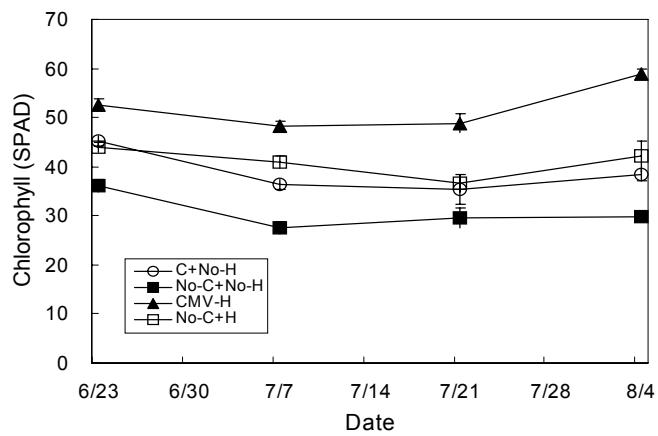


Fig. 14. Changes of chlorophyll content of corn according to the CMV and weed management practices.

자운영 재배에 따른 초장과 엽록소의 시기별 차이는 그림 13과 그림 14에 나와 있다. 엽록소 함량(SPAD)의 경우는 초기부터 차이가 뚜렷하였으나 초장은 7월 7일부터 차이가 심하게 나타났고 그 차이는 계속 유지되었다.

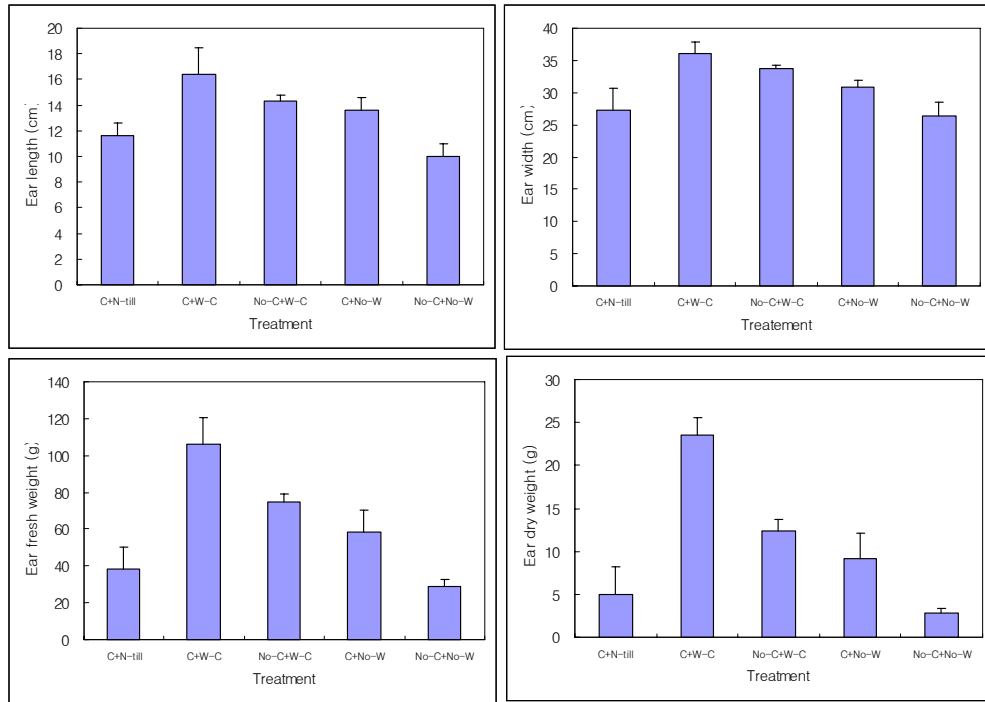


Fig. 15. Ear growth responses of corn plant on July 28 to the different CMV and weed management practices.

자운영 재배에 따른 옥수수의 이삭 생장은 7월 28일에 조사한 그림 15와 8월 5일에 조사한 그림 16에서 보는 것과 같이 식물체의 초장이나 건물중 차이보다 더욱 처리간 차이가 뚜렷하였다. 특히 이삭의 건물중은 자운영 재배 후 토양 혼입을 실시한 후 제초를 실시한 경우 무처리 방입구에 비해 7배 이상의 큰 차이를 나타내었다. 암 이삭의 길이와 두께는 이에 비해 상대적으로 차이가 크지 않았는데 이는 이삭내 종실의 발달이 무처리의 경우 매우 불량하였으며 자운영 토양 혼입 후 제초를 실시한 경우에는 식물체의 건물 축적이 양호하여 이삭 형성 후 다른 처리보다 이삭으로의 물질 전류가 잘 이루어졌기 때문인 것으로 추정된다. 이삭이 보다 성숙한 8월 5일의 결과는 7월 28일에 비해 그 차이가 줄어들기는 하였으나 무처리 방입구는 자운영 혼

입 후 제초 처리구에 비해 이삭중이 1/3 이하의 값을 보여 매우 불량한 이삭 발달을 보였다. 따라서 옥수수를 친환경적으로 무비료로 재배할 경우 자운영을 월동 후 혼입하고 물리적인 제초를 1회 정도 실시하면 수량이 양호할 것으로 생각되며 제초시기는 옥수수 초판이 형성되기 전에 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

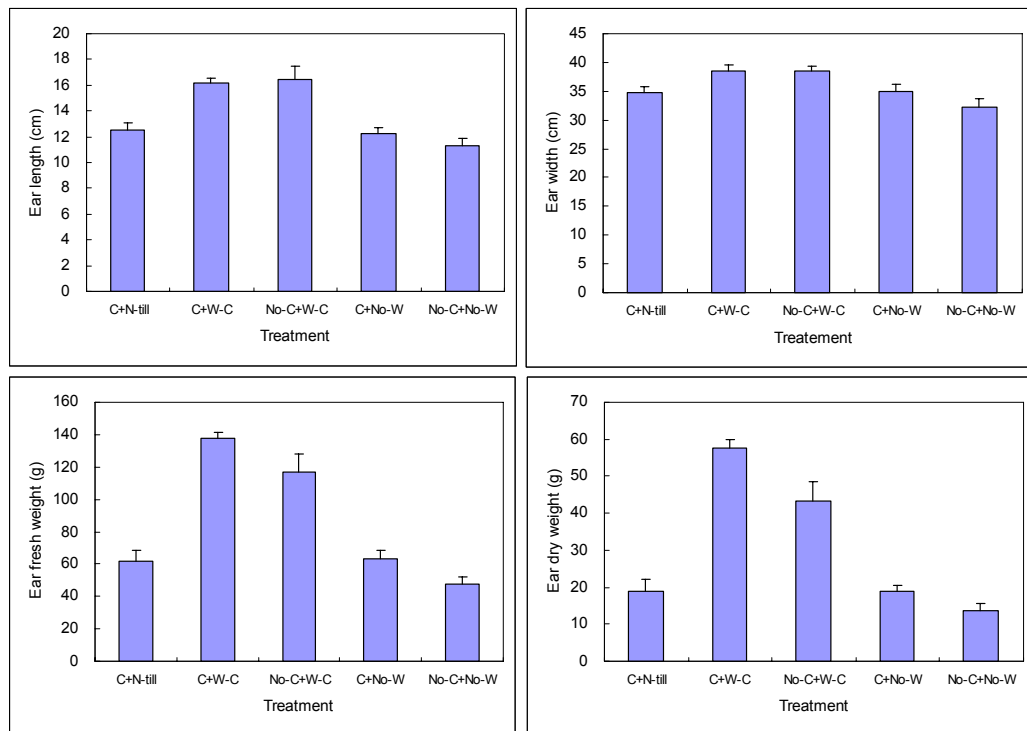


Fig. 16. Ear growth responses of corn plant on Aug. 5 to the different CMV and weed management practices.

옥수수의 생육에 대한 자운영의 효과는 2004년도에 수행한 시험에서도 같은 결과를 보였는데(그림 17), 자운영의 재배는 초장에 대한 효과는 상대적으로 작았으나 열량소 함량은 큰 차이를 보였으며 건물 중에 있어서도 큰 차이를 보였다. 상대생장율은 초기에는 자운영 처리구가 높았으나 후기에는 자운영 처리구에서 도리어 낮아지

는 결과를 보였다. 이러한 결과는 질소를 많이 요구하는 옥수수 영양 성장 초기에는 자운영 무처리구에서 상대생장율이 낮았으나 후기에 접어들면서 질소 요구도가 낮아져 무처리구의 상대생장율 감소 폭이 상대적으로 작았기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 자운영 처리는 옥수수에서 초기 질소를 많이 요구하는 시기에 그 효과가 큰 것으로 나타났다.

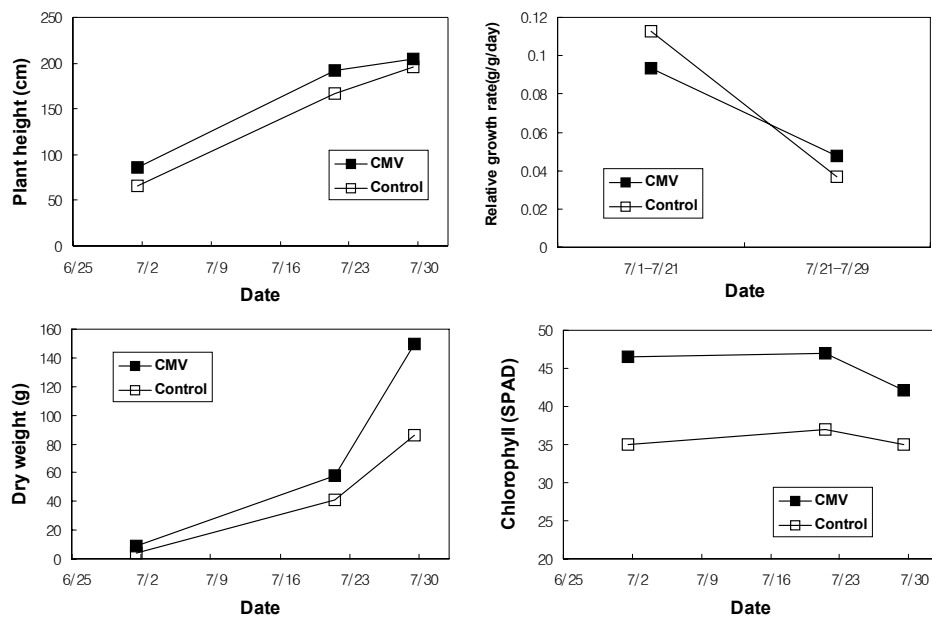


Fig. 17. Effect of soil-incorporated CMV on corn growth in 2004

5. 예취 시기를 달리한 자운영의 토양 혼입이 옥수수 생육에 미치는 영향

자운영을 녹비로 이용할 경우 작부체계에 따라 그 예취 시기가 달라진다. 예취 시기는 자운영의 잡초 억제 효과에 대한 결과에서 볼 수 있는 것처럼 그 시기에 따라 녹비로써의 효과도 달라질 수 있다. 자운영을 늦게 예취할 경우 종실 성숙이 진전되어 자가재파 측면에서 유리한 점이 있으나 잡초 억제 측면에서는 불리한 것이 앞서

의 결과에서 확인되었다. 그러나 자운영의 예취시기가 녹비로써의 능력에 어떠한 영향을 주는지에 대해서는 자운영 생육 시기별로 예취하여 그 효과를 검증해 보아야 한다.

예취시기가 다른 자운영이 옥수수의 생육에 미치는 영향을 보기 위하여 자운영을 600kg/10a의 수준으로 포트에 혼입하고 옥수수 초기 생육에 대한 그 효과를 검증하였다. 자운영의 효과는 그림 18에 나와 있는 것처럼 옥수수 5월 7일 파종한 옥수수를 6월 4일과 6월 23일에 채취하여 체내 질소 함량을 확인한 결과 6월 4일에는 자운영의 예취시기에 따라 질소함량의 차이가 있었으나 6월 23일에는 그 차이를 확인할 수 없었다. 이러한 결과는 자운영의 토양 혼입시 그 효과는 초기에 크게 나타난 포장 시험의 결과와 같은 양상이었다. 자운영의 예취시기는 4월 13일 예취한 것이 가장 옥수수 체내 질소 함량을 높였으며 이는 질소 함량과 엽록소 함량, 광합성 능력이 서로 깊은 상관성이 있다는 결과(Karim et al. 1999)를 고려하더라도 자운영 혼입, 특히 4월 중순에 예취한 자운영 처리가 옥수수 생육을 조장하는 것으로 나타났다.

옥수수 엽내의 질소 함량 증가 외에도 자운영 처리는 표 12에서 보는 바와 같이 옥수수의 엽록소 함량, 초장, 건물중 모두를 증가시켰다. 특히 4월 13일과 4월 27일 예취한 자운영을 처리한 경우 건물중은 1.7 배 이상 높이는 결과를 보였다. 초장을 비롯한 모든 형질은 자운영 처리에 의해 증가하였으며 그 효과는 4월 13일 예취한 자운영과 4월 27일 예취한 자운영 간에는 큰 차이가 없었으나 5월 11일에 예취한 자운영을 처리한 경우에는 그 효과가 낮게 나타났다. 그러나 5월 11일 예취한 자운영을 처리한 경우에도 무처리구에 비해서는 모든 값이 증가함을 보였다. 5월 11일 예취한 자운영은 남부 지방의 경우 개화 후 종자가 비대하는 시기로 자운영 내에 있는 양분이 종자내로 전류되어 체내에 남아 있는 양분 수분은 낮아지는 시기이다.

옥수수의 생육에 대한 자운영의 효과는 옥수수가 성장함에 따라서 그 차이가 있었다. 옥수수 생육 초기인 5월 21일에는 자운영 처리구에 비해 무처리구는 건물중이 약 58% 정도로 낮았으나 6월 4일에는 4월 13일 예취한 자운영 처리를 기준으로 약 30%정도로 낮아졌으며, 6월 23일에는 18.5% 로 더욱 큰 차이를 보였다. 따라서 녹비 효과는 옥수수 유묘기에는 점차 그 효과가 커지는 것으로 나타났다(표 12, 13, 14). 이 결과는 포트실험은 온 포장 실험과는 달리 한정된 부피의 토양 조건에서 수행되므로 양분 고갈 정도가 점차 심해지기 때문인 것으로 생각된다. 엽록소 함량을 나타내는 SPAD 값과 초장 역시 5월 21일 보다 6월 4일과 6월 21에 차이가 더욱 커졌으

나 그 정도는 건물중에 비해 약하였다.

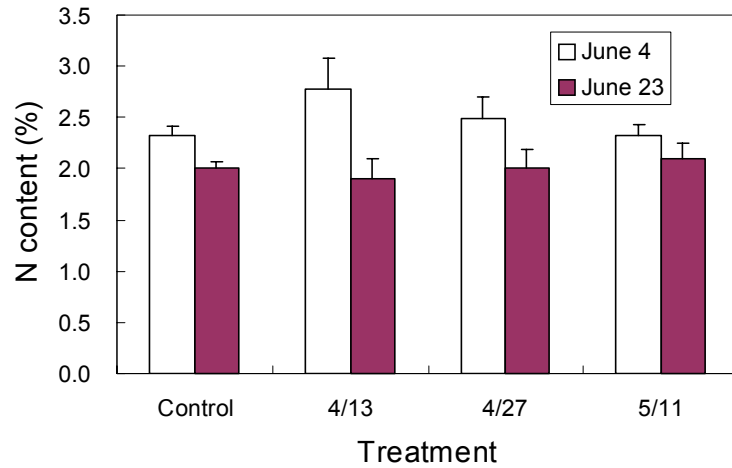


Fig. 18. Leaf N content of corn plant treated by different CMV litters harvested at different growth stages.

옥수수 초기생육이 불량하면 옥수수 생육 초기에 발생하는 잡초와의 경합력이 약해지고 초관 형성이 늦어져 단위면적당 광합성량이 줄어 수량이 줄어들게 된다. 그러나 포장의 경우 토양이 갖는 완충력으로 인하여 포트 실험의 결과보다는 그 차이가 덜 나타날 것으로 생각된다

Table. 12. Differences of corn growth on May 21 treated by CMV litter harvested at different growth stages.

Treatment	SPAD	Plant height (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Control	34.3c	21.9c	3.5c	0.36c
4/13	44.0a	28.1b	6.2a	0.62a
4/27	44.1a	31.1a	6.9a	0.63a
5/11	40.8b	26.4b	4.9b	0.48b

Table 13. Differences of corn growth on June 4 treated by CMV litter collected at different growth stage

Treatment	SPAD	Plant height (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Control	18.2c	35.8c	9.6c	1.34d
4/13	33.5a	66.7a	35.4a	4.43b
4/27	26.6b	67.5a	37.6a	5.01a
5/11	24.6b	53.2b	21.4b	2.60c

옥수수는 흡비력이 강한 만큼 양분 요구도가 큰 작물이므로 옥수수에 비해 다른 작물의 반응을 약할 것으로 생각되나 자운영 혼입에 의해 후작물의 초기 생육이 양분이 적은 조건이나 무비료 재배의 경우 그 효과가 뛰어날 것으로 사료된다. 따라서 친환경농업을 위한 무화학비료 재배에 자운영을 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 14. Differences of corn growth on June 23 treated by CMV litter collected at different growth stage

Treatment	SPAD	Plant height (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Control	13.13b	48.00c	15.36d	2.52c
4/13	17.03a	85.41a	77.74a	13.06a
4/27	15.61a	84.90a	69.73b	12.17a
5/11	15.51a	78.61b	57.68c	9.33b

자운영 처리후 시기별 옥수수의 엽록소 함량의 변화는 SPAD 값과는 다소 차이가 있었으나 그 경향은 유사하였다(그림 19). 파종 14일후에 처리간 차이를 보면 4월 27일 예취한 자운영 처리구에서 가장 함량이 높았으나 옥수수 파종 28일에는 4월 13일 예취한 자운영 처리구에서 높게 나타났다.

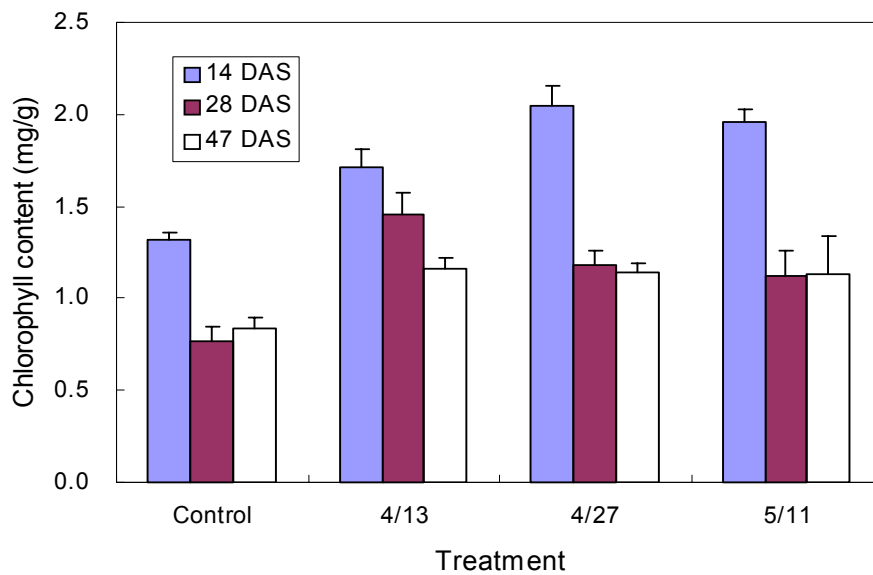


Fig. 19. Chlorophyll content of corn leaves treated by different CMV.

옥수수의 건물중 차이는 파종 28일 이후부터 뚜렷한 차이를 보였는데, 5월 11일 예취한 자운영 처리구는 다른 시기 예취한 처리구보다 건물중이 낮아 녹비로써 자운영의 5월 11일 예취후 처리는 그 효과가 낮았다. 그러나 건물중은 무처리와 자운영 처리구간 차이가 점차 커지는 경향을 보였다(그림 20). 옥수수의 초장 변화는 건물중과 같은 경향이나 그 차이가 작았다.

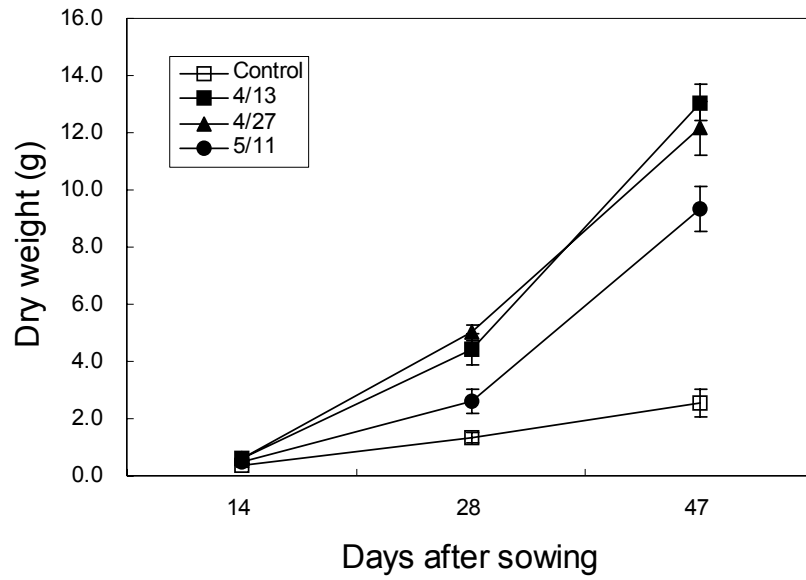


Fig. 20. Changes of corn height treated with CMV clipped at different stages.

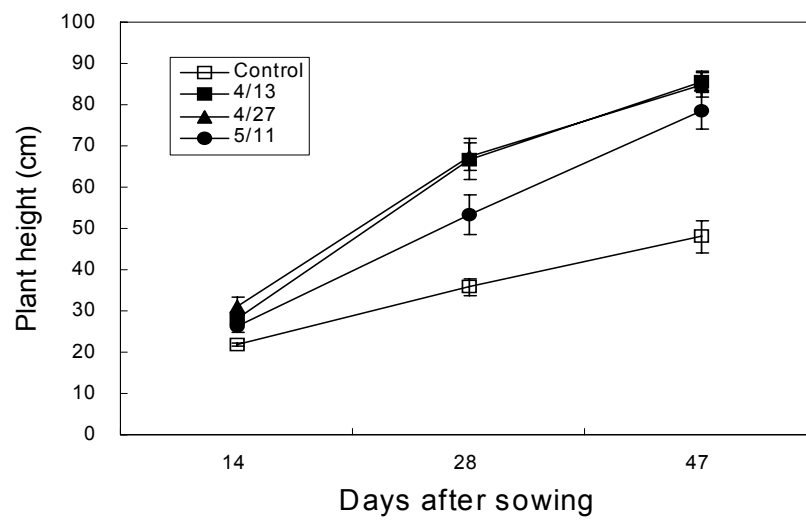


Fig. 21. Changes of corn cry weight treated with CMV clipped at different stages.

6. 자운영 재배가 논에서 벼의 생육과 수량에 미치는 영향

논에서 자운영의 효과를 시험한 결과는 그림 22와 그림 23에 나와 있다. 그림 22는 유수 형성기부터 출수기까지 분얼 양상을 나타내고 있다. 자운영 처리는 이앙 20일 전에 적량을 생체중 기준으로 40ton/ha로 투입하였고 배량과 반량을 투입하였다. 관행재배 일품벼는 만생중으로 이앙기가 약 한달 가량 빠르기 때문에 유수형성시기 및 출수기에 도달해서도 오대벼 보다 높은 분얼수를 기록 하였다. 자운영이 많이 투입될수록 총 분얼수가 뚜렷하게 높아짐을 볼 수 있다. 즉 자운영 투입에 따른 질소 비료 효과 뿐 아니라 유기물 혼입 효과가 확인되었으며, 지금까지 보고된 결과들과 유사한 경향을 보였다. 벼 생육기간 중 질소의 공급량이 너무 많게 되면 지상부의 과도한 분얼과 초장의 증가로 인한 도복문제, 병충해 증가 등이 야기되지만 유기물이 포함된 완효성 비료로써 개선 할 수 있으며, 유기물의 혼입으로 인한 생육 후기의 이삭수확보는 물론 최종적인 수량 구성요소 형성에 유리한 방향으로 유도할 수 있을 것이라 생각된다.

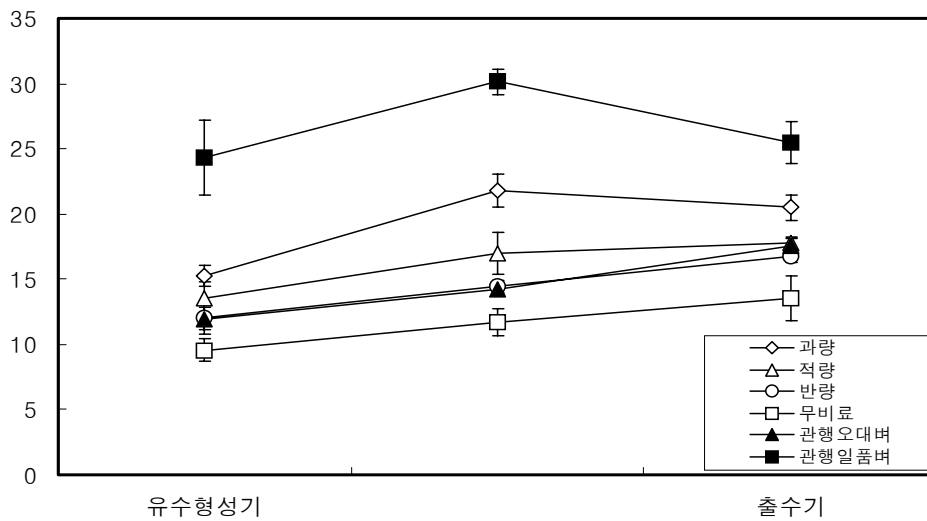


Fig. 22. Effect of CMV cultivation on the tiller number of rice plant during panicle formation stage and heading stage. CMV

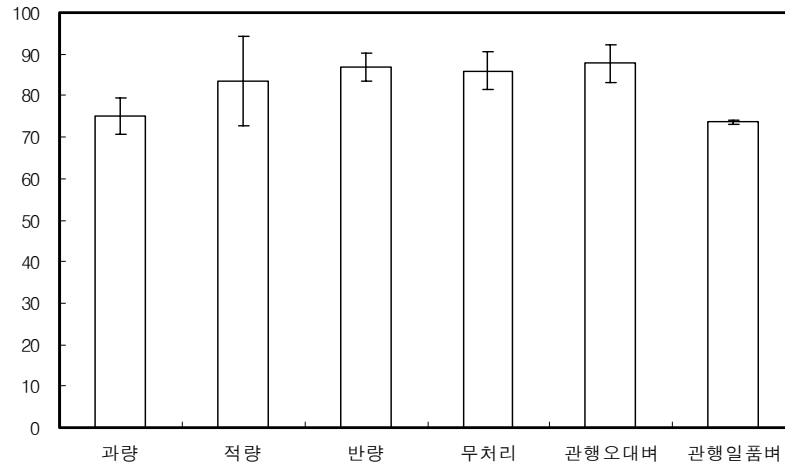


Fig. 23. Effect of CMV cultivation on the percentage of productive tiller of rice plant.

유효경비율을 보면 그림 23에 나타나 있듯이 일품벼는 분얼수 자체는 많지만 무효분얼의 비율이 높고 천립중이 낮은 관계로 실제 수량은 크게 높지 않았다. 자운영을 과량 투입한 실험구에서도 유효분얼 비율이 떨어지는데 이는 과도한 질소공급이 주 원인인 것으로 생각되며, 수량은 높지만 향후 때에 따라서는 병해충 발생의 증가와 도복, 미질의 저하 등이 우려된다.

완전립으로 풍선을 하기 전의 천립중과 풍선 후 완전립의 천립중은 그림 24에 나와있다. 일품벼를 제외한 모든 처리구에서 천립중은 유의한 차이를 보이지 않았다. 등숙율(그림 25) 또한 관행일품벼가 가장 높았을뿐, 오대벼에 대한 처리 사이에 뚜렷한 경향은 없었다.

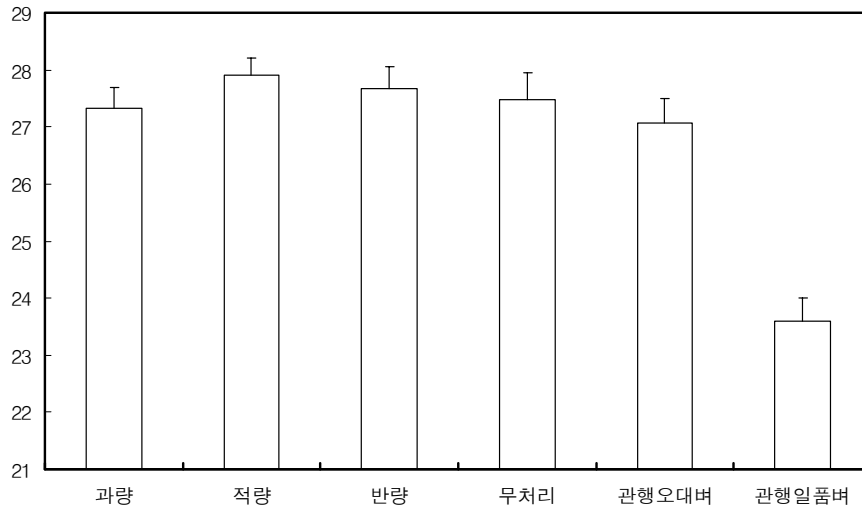


Fig. 24. Effect of CMV cultivation on TKW of rice cultivated with various cropping systems.

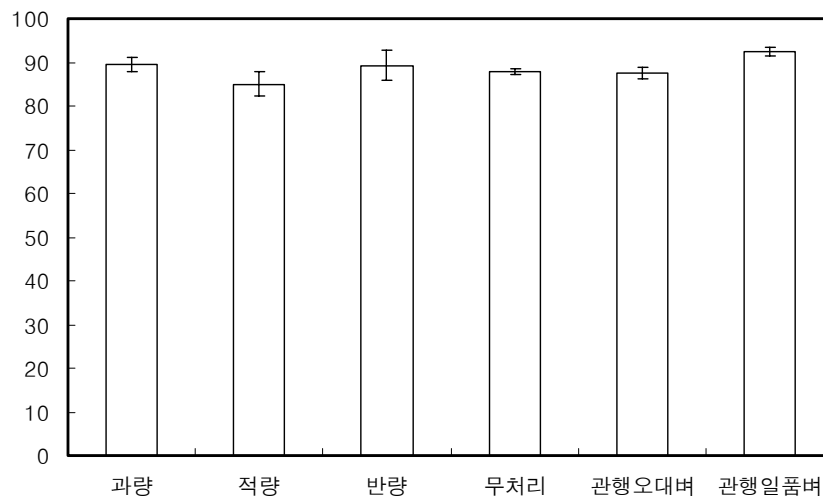


Fig. 25. Effect of CMV cultivation on percent ripened grain of rice cultivated with various cropping systems.

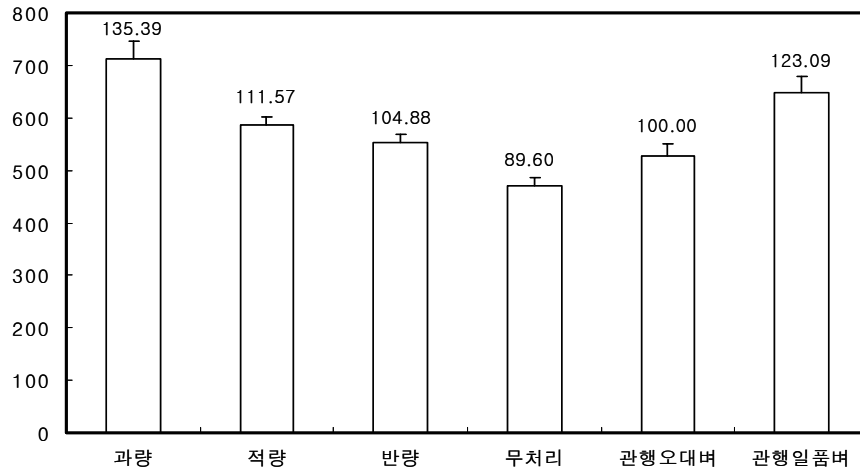


Fig. 26. Effect of CMV cultivation on the yield and harvest index of rice cultivated with various cropping systems. The values on bars indicate harvest index.

위의 수량 구성요소를 토대로 단위 면적당 수량 및 수확지수를 살펴보면, 자운영의 투입량에 따라 수량이 뚜렷한 증가를 보이는 것을 볼 수 있다(그림 26). 과량을 투입한 처리구에서는 만생종인 일품벼보다 수량이 높아진 결과를 보였다. 관행오대벼의 수량을 100으로 보았을 때 무처리구만이 89.6으로 낮았을 뿐 모든 처리구에서 높은 수량을 기록하였다. 그러나 본 실험은 모든 작업을 수작업화 하여 기계수확, 탈곡과정에서 발생하는 샘플의 손실이 거의 없었기 때문에 수량이 다소 높게 나온 경향이 있음을 명시해 둔다. 위의 실험 결과대로라면 지금까지 알려진 40ton/ha의 생자운영 투입량은 오대벼와 같은 조생종 재배시 관행농법보다 높은 수량을 올릴 수 있을 것이라 생각된다. 일반적으로 작물의 재배에 있어서 만식재배시에는 밀식, 다비재배하면 증수를 피할 수 있다고 알려져 있는데, 본 실험에서도 어느정도 입증되었다고 할 수 있으나 무조건적인 비료분의 투입은 수량은 높아지나 향후 미질의 저하를 가져올 수 있으므로 자운영 투입에 의한, 혹은 다른 녹비작물 투입에 의한 수량과 품질에 대한 연구는 주목해 볼만한 연구과제이다.

6. 자운영 재배에 따른 벼농사 경제성 분석

자운영-벼 작부체계에 의해 생산된 벼는 이앙기가 다소 늦어져 수량 감소가 나타나지만 가격으로 보상받을 수 있다. 표 15는 자운영을 도입한 벼생산 시스템에서 얻어진 쌀 가격을 시중의 쌀 가격과 비교한 것이다. 단위면적당 수익을 보면 여주쌀보다는 다소 낮으나 다른 쌀보다는 단위면적 당 수익이 높게 나타났다. 쌀 생산을 줄이는 정책과 생활수준의 향상으로 소비자들은 고품질쌀을 요구하며, 고품질의 쌀은 고미질(품종)과 안정성이 높은(저비료와 저농약) 쌀로 구분되고, 소비자들은 믿을 수 있는 안전성인 쌀에 값을 더 지불하는 경향이다.

중부지방에서도 논에 자운영을 답리작으로 재배한 후 고품질이며 안전성이 높은 조생종(오대벼, 상미벼 등)을 도입하여 농가수익을 향상시킬 수 있다. 5월 한 달간 자운영이 개화하며 6월10~20일경에 모내기를 하여, 9월초에 자운영을 파종하고, 10월 5~10일 경에 벼를 수확하면 환경에 친화적인 벼농사가 가능하다. 자운영 재배로 질소고정이 되어 저비료 시용이 가능하며, 자운영 재배 후 조생벼를 도입하면 생육기간 단축으로 저농약(저제초제, 저살충제, 저살균제)의 시용이 가능하다.

조생종 벼를 재배하면 본답의 생육기간이 1개월 이상 단축되어 농업용수가 절약되므로 환경에 친화적이다. 자운영 재배하면 5월에 개화기가 길어 밀원으로 이용되어 꿀 생산이 가능하고, 자운영은 개화 전에 식용이 가능하여 볶나물로 이용이 가능하며, 가축에 청예용 사료로 이용된다. 봄에 푸른 들이 형성되며 개화기간이 길어 도시민에게 관상식물로 이용되고, 나비축제가 가능하여 학생들과 일반인에게 자연보호에 대한 관심이 유도된다. 과수원(배, 사과, 복숭아, 포도 등)에서 초생재배하면 잡초발생을 억제하고, 개화기가 중복되어 벌과 나비에 의한 수정율이 향상된다.

자운영을 도입한 작부체계는 이와 같이 저비료, 저농약, 저제초제, 경관식물 및 농업용수 절약 등 작부체계의 변동시 자운영을 도입한 작부체계가 친환경적임을 고려할 때 실제적 효과는 더욱 크다고 볼 수 있다.

본 시험에 공시한 오대벼는 1982년 작물시험장에서 육성한 유전적으로 밥맛이 우수한 품종으로 우리나라에서 20년간 재배된 장수하는 품종으로 미국의 캘리포니아, 중국의 동북 삼성에서 재배되고 있는 유명한 품종이며, 쌀알이 약간 크고 밥을 지어 보관해도 노화가 아주 적은 것이 특징이다.

Table 15. Comparison of the price and farm income of rice produced with conventional cultivation and CMV-used cultivation

Brand name	Packing unit(kg)	Price	Income (won/10a)
여주쌀	80	208,000	1,157,000
철원오대쌀	80	216,000	1,201,500
파주청결미	80	196,000	1,090,250
강화으뜸쌀	80	196,000	1,090,250
수라청쌀	80	188,000	1,045,750
고대농장 자운영쌀(오대벼)	80	256,000	1,146,880

오대벼는 2003년도에 수량과 도정율이 평년보다 낮았는데(표 16), 이러한 결과는 등숙기 기상악화와 일조시간 부족으로 등숙이 불량한 것이 원인이었다. 수량이 지난해보다 줄어든 이유로 모내기 이후 잦은 비로 인한 병충해 증가와 일조량 부족과 저온으로 인한 결실 불량 및 냉해와 태풍 ‘매미’의 여파로 인한 벼 쓰러짐과 침수 피해 등이 원인이다. 이와 같은 조건에서도 비교적 단위면적당 수익이 높은 이유는 자운영과의 작부체계에 의한 친환경 쌀이라는 이유 때문이며 오대벼의 수량이 평년 수준을 유지할 경우 그 경우 수익성을 더 높아질 것으로 나타났다.

Table 16. Rice yield and milling recovery rate in 2003

Rice name	Yield (kg/10a)	Milling recovery (%)
오대벼	358.4	52.06
일품벼	398.4	54
National average	445	*

7. 월동 후 시기별 자운영내 저장 물질의 변화

녹비로써 자운영은 체내의 질소 함량이 중요한 요소이다. 자운영은 두과 작물로써 질소고정을 하므로 자운영 재배 후 토양으로의 환원을 통해 후작물에 질소 양분을 공급해줄 수 있다. 자운영 생육기간별로 질소 함량은 그림 27에 나와 있다.

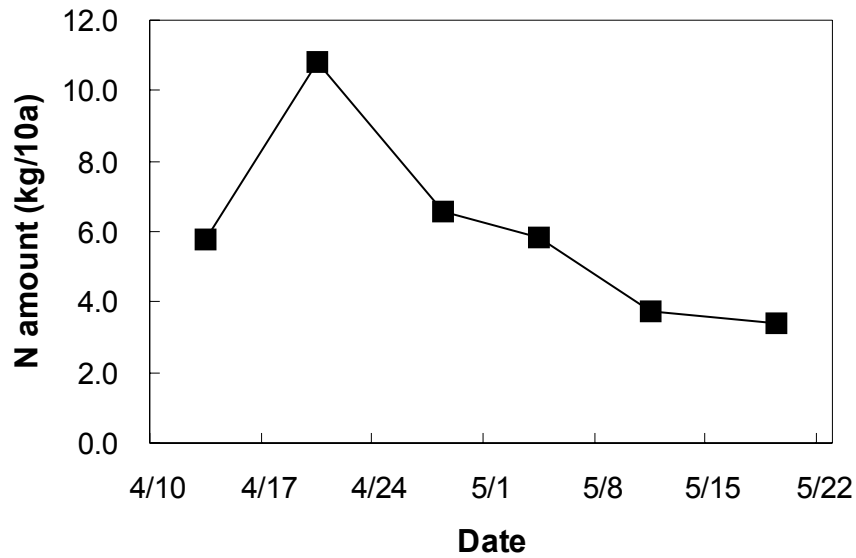


Fig. 27. Nitrogen yield of CMV per unit area (10a) after overwintering.

개화기를 전후로 자운영내 전질소 함량은 4월 중순을 정점으로 하여 낮아지기 시작하였다. 이러한 결과는 5월말에 자운영이 개화 결실을 마치고 고사가 일어나면서 체내 가용성 단백질 함량이 줄어들었기 때문인 것으로 생각된다. 이와 더불어 자운영의 건물중이 낙엽등으로 인하여 남부 지방의 경우 5월 초순부터 줄어들기 시작하므로 낙엽을 통한 질소의 토양 환원이 일어날 수 있으나 자운영에 의한 질소분의 공급은 4월 20일 경이 최대를 보이는 것으로 나타났다. 그러므로 녹비를 목적으로 할 경우 남부지방의 경우는 4월 중순에 자운영을 갈아엎는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다. 그림에서 보이는 것과 같이 질소 공급 능력은 건물중이 최대에 이르는 시기에 역시 최대가 되므로 중부 지방의 경우도 단위면적당 건물 생산이 최대인 시기

에 자운영을 토양으로 혼입하는 것이 녹비로써 가장 효율적인 것으로 나타났다.

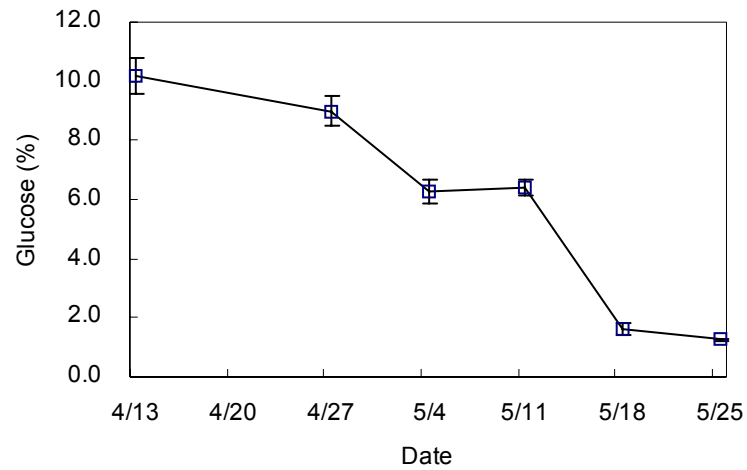


Fig. 28. Changes of glucose content in aerial part of CMV after overwintering in 2005.

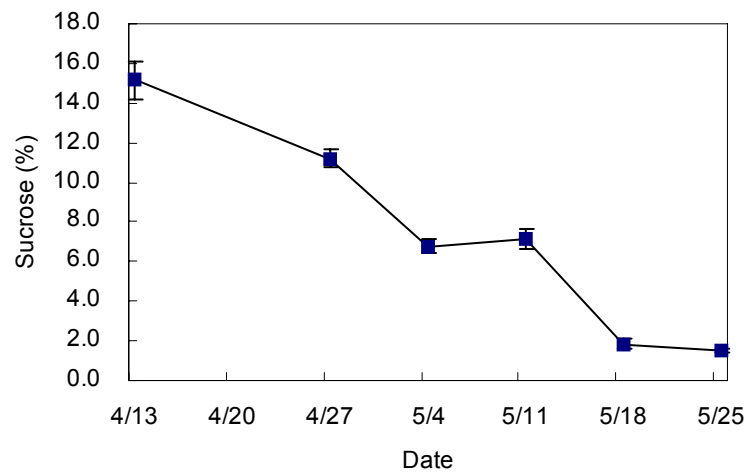


Fig. 29. Changes of sucrose content in aerial part of CMV after overwintering in 2005.

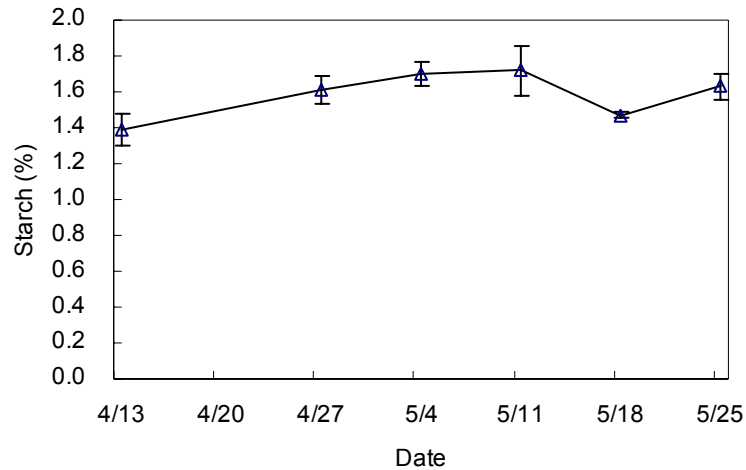


Fig. 30. Changes of starch content in aerial part of CMV after overwintering in 2005.

월동 후 자운영의 영양 성장 및 생식성장 과정에서 체내 탄수화물의 함량은 전분은 증가하는 경향을 보이다가 5월 중순 이후 결실 및 고사가 진행 되면서 낮아졌으나 당인 glucose와 sucrose는 월동 후 지속적으로 감소하였다 (그림 28, 29, 30). 이와 같은 결과는 온도가 높아지면서 내동성을 증가시키기 위하여 높아진 체내 당 함량은 낮아지고 당이 전분으로 바뀌어 체내에 저장되기 때문인 것으로 추정된다. 체내 당함량은 체내 수분 함량이 낮아지고 개화 후 종실이 발달함에 따라 낮아지는 경향을 보였다. 또한 앞서 언급한 것처럼 allelopathy와 밀접한 관계가 있는 total phenolics의 함량도 당함량과 유사한 경향을 보이므로 잡초 발생 억제용 피복작물 및 질소 공급용 녹비로써 자운영을 이용하고자 할 경우 자운영의 토양 혼입 시기는 건물 수량이 최대에 이르기 직전이 가장 적합한 것으로 사료된다. 이 경우 체내 당분 함량도 높을 뿐만 아니라 수분도 많은 시기 이므로 토양 내로 혼입되었을 경우 분해가 빨리 일어나 녹비로써의 효과도 빠르게 나타날 것으로 보인다. 그러나 이 시기는 하작물의 파종기보다 다소 많이 앞서는 시기이므로 이를 고려한 작부체계의 수립이 필요할 것으로 보여지며 자운영의 자가 채파를 통한 영속 재배를 하고자 할 경우 자운영의 결실이 이루어지는 5월 하순까지 기다려야 하므로 다소 문제가 발생한

다. 그러므로 자운영의 녹비로써의 효과와 자가재파를 통한 영속 재배 두 가지 요인을 고려하여 적합한 시기에 자운영을 혼입하여야 할 것으로 생각된다.

앞에서 본 것과 같이 월동 후 시기별로 성분 차이가 있는 자운영을 토양에 혼입하여 옥수수 파종 후 변화하는 토양내 NO_3^- 와 NH_4^+ 의 함량을 알아본 결과 그림 31과 그림 32와 같이 무처리에 비해 질산태 질소의 함량은 자운영 처리에 의해 매우 높아졌으며 특히 5월 7일 옥수수 파종 후 14일이 지난 5월 21일의 풋트내 질산태 질소 함량은 4월 13일 예취한 자운영을 처리한 풋트에서 가장 높았다. 그러나 4월 27일 예취한 자운영과 5월 11일 예취한 자운영을 처리한 풋트간에는 차이가 인정되지 않았다. 옥수수 파종 후 4주가 지난 이후에는 질산태 질소 함량이 낮아지기 시작하여 약 7주가 지난 6월 23일에는 자운영 처리간에 차이가 거의 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 옥수수가 성장 함에 따라 자운영의 유기태 질소가 무기화 되면서 방출된 질산태질소가 소모되었기 때문으로 생각된다.

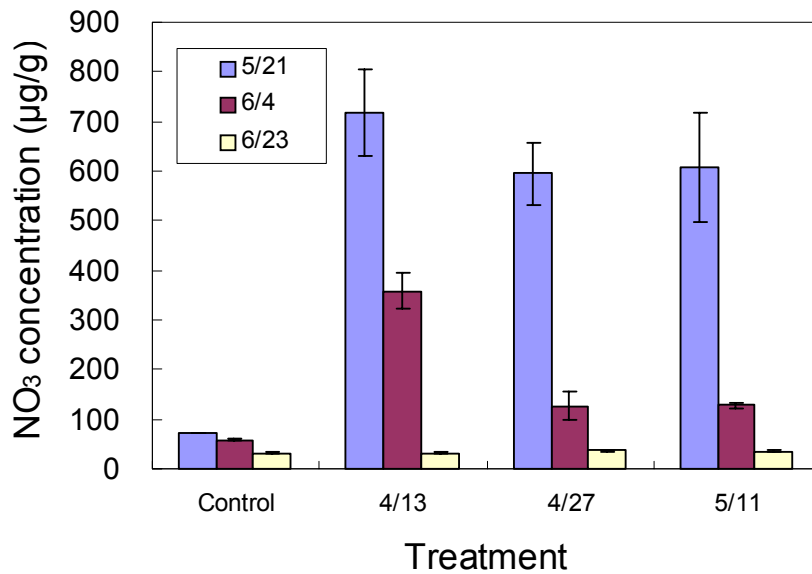


Fig. 31. Nitrate concentration in soil mixed with CMV litter collected at different CMV growth stage.

암모니아태질소의 경우는 자운영 처리에 의해 그 함량이 높아짐을 확인 할 수 있었으나 질산태 질소와는 달리 일찍 (4월 13일) 예취한 자운영 처리구보다 늦게 예취한 자운영 처리구에서 높은 값을 나타내었다. 그러나 옥수수 생육 초기의 암모니아태 질소의 경우 일찍 예취한 자운영 처리구에서 높은 값을 보였는데, 이와 같은 결과는 일찍 예취한 자운영을 처리한 포트의 경우 옥수수의 초기 생육이 왕성하여 암모니아태 질소를 빨리 소모하여 옥수수 생육이 진전된 6월 4일과 6월 23일에는 예취 시기가 늦은 자운영을 처리한 포트내 암모니아태 질소의 농도가 낮아진 것으로 사료되었다.

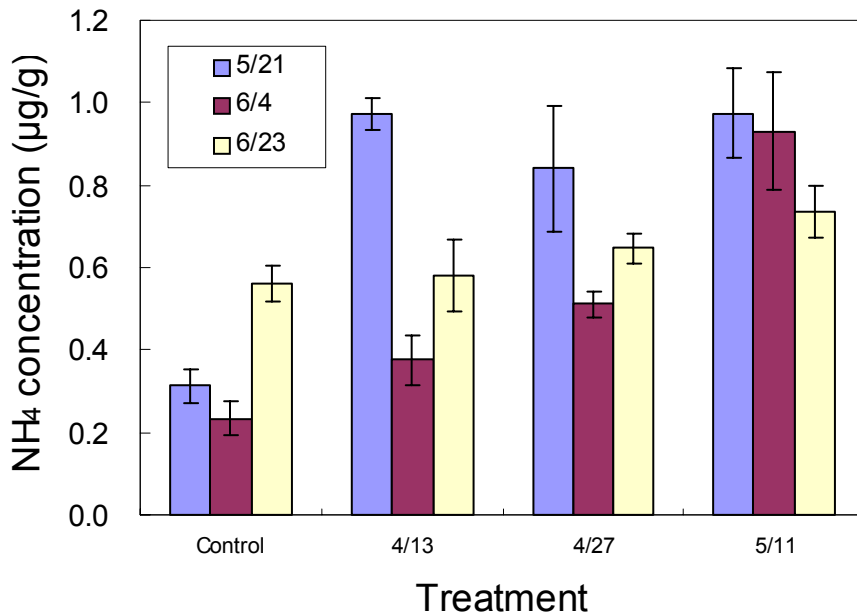


Fig. 32. Ammonium concentration in soil mixed with CMV litter collected at different CMV growth stage.

8. 자운영처리 후 토양 침출수내 질산태 질소와 암모니아태 질소의 농도

자운영의 토양 혼입은 혼입 후 질소 무기화를 통해 질산태 질소와 암모니아태 질소의 농도를 증가시키고 과다하게 무기화가 될 경우 지하수나 주변 수계로 질산태 질소나 암모니아태 질소의 유출이 일어날 수 있다. 본 실험은 자운영을 600kg/10의 수준으로 혼입한 후 옥수수를 파종하고 옥수수 생육 과정에서 유출되는 침출수내 질산태 질소와 암모니아태 질소의 농도를 측정하였다.

자운영 혼입 후 옥수수의 생육은 무처리에 비해 4월 13일 예취한 자운영을 처리한 경우 좋았으며 특히 개체당 건물중의 경우는 뚜렷한 차이를 보였다(표 17). 이와 같은 결과는 4월 13일 예취한 자운영을 처리한 경우 옥수수 생육이 다른 처리에 비해 질소분이 상대적으로 충분히 공급되었음을 의미하는 것으로서 이 경우 침출되는 침출수내 질산태와 암모니아태 질소의 농도는 표 18과 같다.

Table. 17. Corn growth at 24 days after sowing under different CMV incorporation

Treatment	Plant height	SPAD	DW
Control	91.1±8.1	25.7±2.5	2.1±0.8
4/13*	111.1±7.3	31.6±4.1	4.2±1.0
5/11	106.9±10.0	32.6±3.8	2.9±1.3

* Harvest date of CMV in field

침출수내 질산태 질소와 암모니아태 질소는 공히 4월 13일 예취한 자운영을 처리한 경우 매우 높게 나타났으며 이것은 이시기에 자운영내 유기태 질소가 무기화되면서 방출되는 무기태 질소가 옥수수가 필요로 하는 질소 수준이상으로 방출되었음을 의미하는 것으로 앞에서 나온 결과들이 모두 4월 13일 예취한 자운영을 처리한 경우 후작물에 대한 생육이 초기에 좋았음을 감안할 때 이 시기에 예취한 자운영은 조직의 노화가 상대적으로 덜하여 토양내에서 분해가 빨리 일어난 질소 무기화가 다른 시기에 예취한 자운영 보다 빠르게 진행되었음을 시사하는 것이다. 따라서 4월 13일 예취한 경우 자운영의 혼입 효과는 빨리 나타나므로 4월 중순에 자운영을 혼입할 경우 후작물 재배를 빨리 시작하여야 자운영의 분해에 의해 방출되는 무기태 질

소가 용탈되어 허비되는 양을 줄일 수 있을 것으로 나타났다. 그러므로 자운영을 4월 중순 경에 예취하여 혼입하는 경우 이 시기에 하작물의 파종은 이루어지지 않으므로 이 시기에 자운영을 토양내로 혼입하기 보다는 자운영의 분해 속도가 상대적으로 느려지도록 자운영의 성숙이 진행된 4월 말이나 5월 초순에 혼입하는 것이 보다 바람직한 방법인 것으로 보여 진다. 그러나 앞서 나타난 것처럼 자운영의 예취가 4월 이후로 늦어질 경우 자운영내 질소 함량이 낮아지기 시작하므로 4월 말 이전에 예취하는 것이 바람직할 것이다. 본 실험은 8월에 온실 조건에서 실시한 것이므로 4월과 5월의 포장 조건과는 환경 조건이 다르며, 특히 온도는 4월의 포장 조건이 훨씬 낮으므로 분해가 온실 조건보다는 천천히 일어날 것이므로 포장에서 자운영을 혼입하는 것은 4월 말 경이 적절한 것으로 사료되나 이에 대한 보다 세밀한 연구가 필요하다.

Table. 18. Ammonium and nitrate concentration of leachates from the corn-growing soil amended by different CMV residue

Treatment	NO ₃ (mM)	NH ₄ (μM)
Control	2.79±0.10	20.15±8.72
4/13*	18.98±0.66	790.86±23.08
5/11	3.76±0.13	20.15±8.72

* Harvest date of CMV in field

9. 토양 수분 조건과 온도에 따른 자운영내 유기태 질소의 무기화

온도와 토양 수분 상태가 다른 조건에서 토양내 혼입된 자운영의 질소 무기화를 알아보기 위하여 토양 수분을 논과 같이 완전 포화시킨 조건과 포장 용수량 조건으로 맞추고 온도를 20℃와 30℃로 달리하여 배양한 결과 암모니아태 질소와 질산태

질소의 토양내 수준은 그림 33과 그림 34와 같다. 암모니아태 질소의 경우 습한 조건에서 농도가 높았으며 온도가 높은 조건에서 그 농도가 높아졌다. 건조한 조건에서는 자운영 처리량 간에 차이가 크지 않았으며 특히 20℃ 조건에서는 그 차이가 미약하였다. 따라서 암모니아태는 저온의 건조한 조건에서 무기화에 생성이 천천히 일어남을 알 수 있었다. 600kg/10a를 처리한 경우 30℃의 습한 조건에서 30일 이후에 농도가 감소한 것은 양탈과 휘산에 의해 양이 줄어들었기 때문인 것으로 사료되나 이에 대한 추후의 연구가 필요하다.

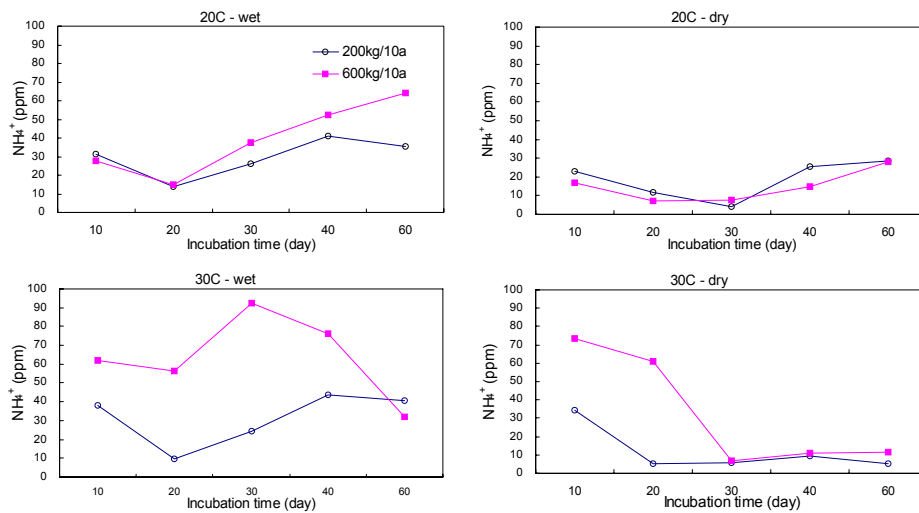


Fig. 33. Changes of ammonium concentration in the CMV-incorporated soil.

질산태 질소의 경우는 온도가 높은 조건에서 그 농도가 높았으며 건조한 상태에서 그 농도가 높게 나타났다. 그러나 습한 토양의 경우 20℃의 낮은 온도 조건에서는 처리량 간의 차이가 거의 나타나지 않았다. 질산태 질소는 무기화에 따른 생성이 포화 수분 조건보다는 상대적으로 건조한 포장용수량 조건의 토양에서 빨리 일어났으며 30℃의 상대적 고온에서 빨리 진행됨을 알 수 있었다.

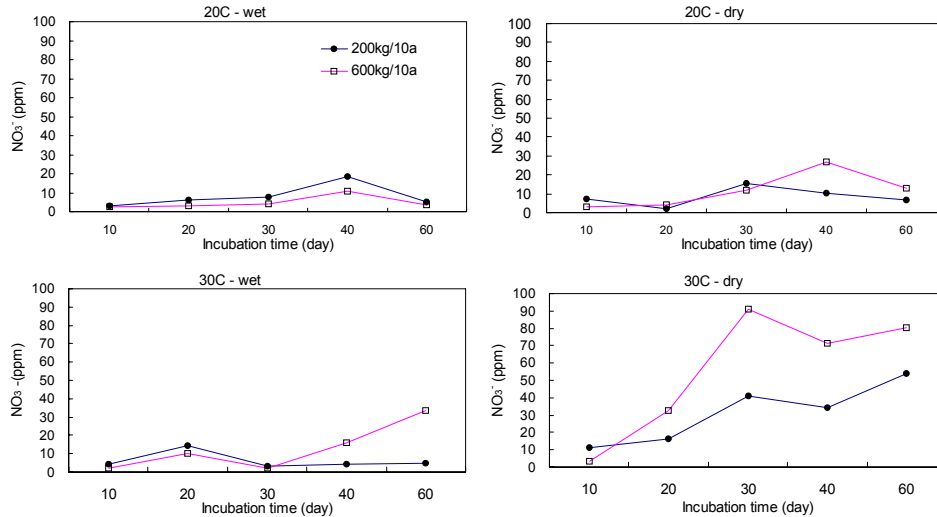


Fig. 34. Changes of nitrate concentration in the CMV-incorporated soil.

자운영이 토양에 혼입된 경우 자운영 내의 유기태 질소가 무기화 과정을 거치면서 토양내 질산태 질소와 암모니아태 질소를 공급하여 녹비로써 후작물의 생육에 기여한다. 그러나 위의 결과에서 보는 바와 같이 토양 수분 조건과 온도 조건에 따라 그 무기화 진행 양상이 달리 나타나므로 자운영을 녹비로써 토양에 혼입할 경우 이 점을 고려하여 적정량을 적기에 혼입하여야 할 것으로 사료된다.

10. 자운영 처리가 토양의 건전성에 미치는 영향

토양의 건전성은 여러 가지 측면에서 접근할 수 있으나 가장 대표적인 것 중의 하나가 토양의 미생물 활성을 측정하는 것이다. 토양 미생물은 토양 내 오염이 적고 환경이 양호할 때 높은 활성을 보이며 질소 무기화 등 작물 생육에 필요한 과정을 진행 시킬 수 있다. 미생물 활성을 측정하는 가장 적합한 방법은 미생물에 의한 토양 효소의 활성도를 측정하는 것이다.

토양 미생물의 활성은 여러 종류의 토양 효소 활성 중 urease, dehydrogenase,

phosphatase 등이 가장 널리 이용되고 있다. Phosphatase의 활성은 자운영 처리에 의해 높아졌으나 전반적으로 자운영 예취 시기에 따른 활성 차이는 거의 나타나지 않았다 (그림 35). 그러나 자운영 처리 후 시간이 경과함에 따라서 그 활성은 낮아지는 경향을 보였다.

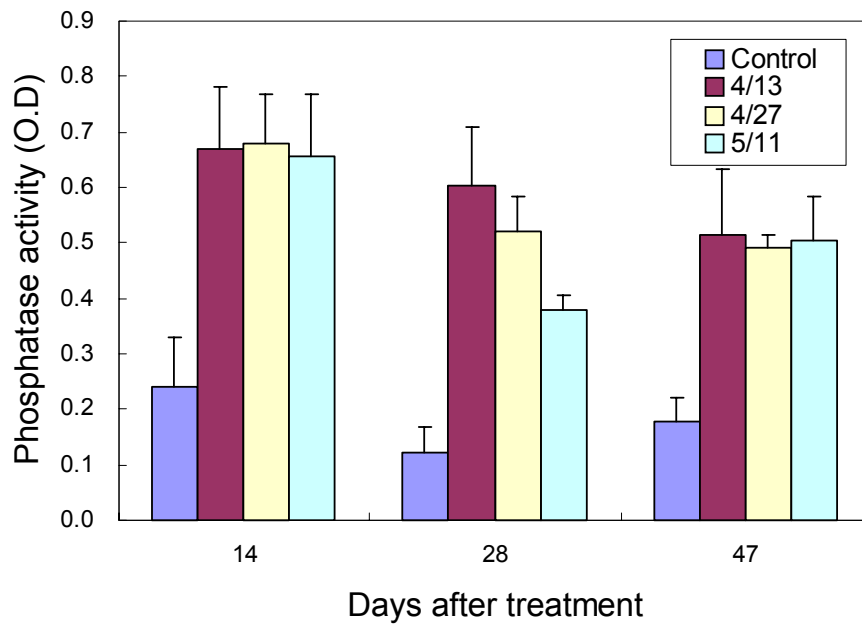


Fig. 35. Effect of soil-incorporated CMV litter on soil phosphatase activity.

토양내 질소양분 수준과 밀접한 관련이 있는 urease의 활성은 그림 36과 같다. phosphatase에 비해 urease 활성은 자운영 처리구와 무처리구 간에 차이가 크지는 않았으나 무처리구는 시간이 지남에 따라서 상대적으로 큰 폭으로 그 활성이 저하되었으나 자운영 처리구의 경우 낮아지는 정도가 약하였다. Urease의 경우도 자운영의 예취시기 간에는 차이를 확인할 수 없었다.

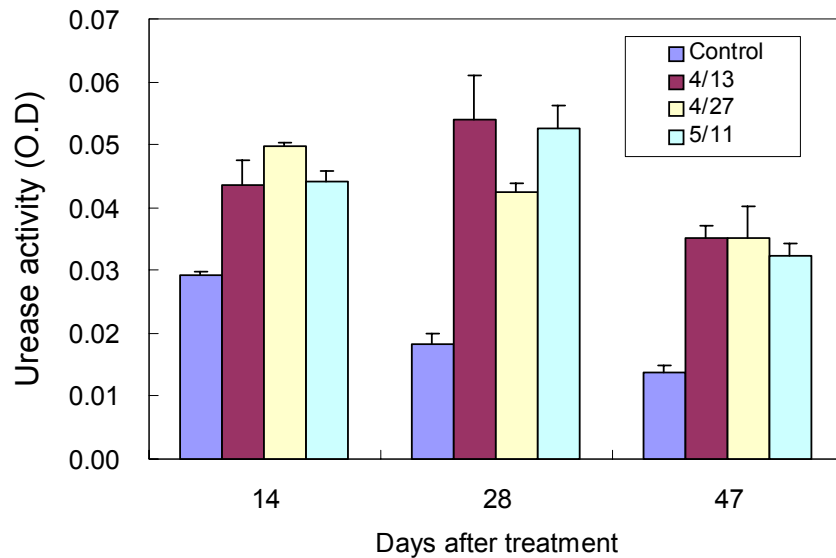


Fig. 36. Effect of soil-incorporated CMV litter on soil urease activity.

Soil dehydrogenase의 활성은 phosphatase와 urease와는 달리 시간이 경과함에 따라서 그 활성이 높아졌는데, 그러나 무처리구에서는 미약하게 활성이 증가하였다 (그림 37). dehydrogenase는 자운영 예취시기별로 보면 4월 13일과 4월 27일 예취한 자운영을 처리한 경우 5월 11일 예취한 자운영을 처리한 경우보다 처리 28일 이후에는 높은 경향을 나타내었다.

토양 효소 활성을 기준으로 보면 자운영의 토양 혼입은 토양내 미생물의 활성을 증진시켜 토양의 건전성을 높여주는 효과가 있는 것으로 확인되었다. 따라서 친환경 농업 목적으로 자운영을 녹비로 토양내로 혼입시킬 경우 토양내 미생물 활성이 증가하여 토양의 물리성과 화학성의 개선을 꾀할 수 있어 작물의 생육을 조장함은 질소 무기화 등 토양내의 생물학적 과정들이 촉진되어 농업의 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

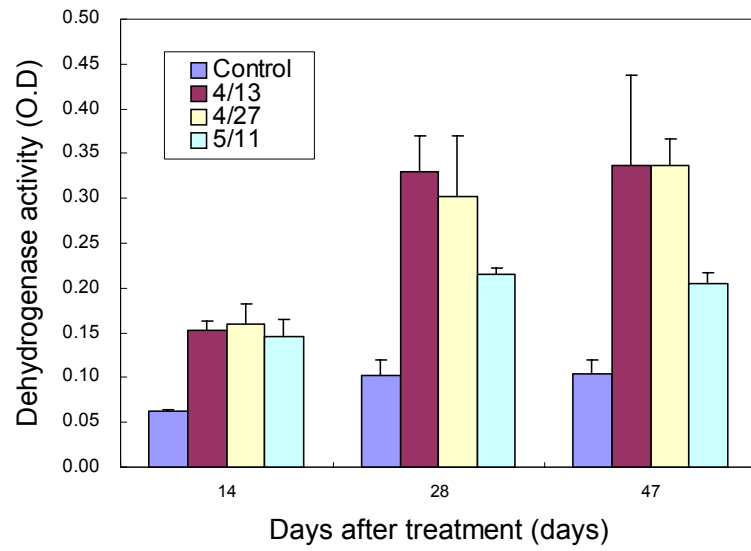


Fig. 37. Effect of soil-incorporated CMV litter on soil dehydrogenase activity.

IV. 결과요약

자운영은 녹비로써의 동계 두과 피복작물으로써 녹비 효과 뿐 만 아니라 피복작물로 그 역할이 중요하다. 피복작물으로써 자운영은 토양 침식 방지, 질소 유실 방지 외에 잡초 발생 억제 효과를 가지고 있다. 이와 같은 자운영의 효과는 비료의 저감, 제초제 사용량의 감소를 통해 환경 친화적인 농업에 크게 기여할 수 있다. 본 절에서는 피복작물으로써 자운영의 효과를 잡초 억제 측면에서 알아보고 효과적인 관리 방법을 알아보았다. 또한 녹비로써 자운영의 효과를 알아보고자 자운영의 토양 혼입에 따른 후작물의 생육을 검토하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 자운영의 잡초 발아 억제는 자운영내 total phenolics의 함량과 깊은 관련이 있었다. 페놀화합물의 함량은 월동 후 개화기 이후에 급격하게 감소하였고 자운영의 발아억제 효과도 더불어 감소하였다.
2. 자운영의 수용성 추출물은 보리와 옥수수의 발아는 강하게 억제시켰으나 콩에 대한 억제 효과는 거의 없었으며 무에 대해서는 상대적으로 약하게 나타났다. 유근과 유아 신장에 대한 효과도 보리와 옥수수에서는 강하였으나 콩과 무에서는 약하게 나타났다.
3. 자운영-옥수수 재배 포장에서 무처리 방입구에 비해 잡초 발생이 약 40% 줄어들었다. 그러나 자운영을 혼입하지 않고 무경운으로 옥수수를 파종한 경우에 잡초 발생수는 줄어들었으나 잡초 건물중은 큰 차이를 보이지 않았다
4. 논에서 자운영 재배 후 이앙을 늦춘 경우 잡초 발생이 매우 효과적으로 줄어들었으며, 특히 피의 발생이 줄어드는 특징을 보였다. 또한 발생 잡초의 다양성도 줄어들었다.
5. 녹비로써 자운영은 후작물인 옥수수의 생육을 촉진 시켰으며 엽내 엽록소 함량도 화학비료를 시비 하지 않은 경우에 비해 높아지는 결과를 보였다. 자운영을 혼입한 경우 옥수수의 초기 생육은 물론 후기 생육도 좋아지는 결과를 보였으며 암이삭의 크기와 이삭중도 증가하였다.
6. 옥수수에 대한 자운영의 효과는 자운영 예취 시기의 차이가 있었으며 4월 13일에 일찍 예취한 후 혼입한 경우에 옥수수의 엽록소 함량이 가장 높았다, 그러나

옥수수 건물중은 4월27일 예취한 자운영 처리에서 가장 높았으며 5월에 예취한 경우는 그 효과가 낮게 나타났다.

7. 자운영을 토양에 혼입한 경우 질산태 질소 농도의 증가는 4월 13일 예취한 것을 혼입한 경우 가장 높았으나 암모니아태 질소의 경우는 예취 시기 간 차이가 인정되지 않았다.
8. 논에서 자운영의 효과는 자운영 투입량이 증가하면 분얼수가 증가하였고, 관행 재배에 비해 높은 수량을 나타내었다. 특히 만기 재배 시 자운영의 투입량 증가는 그 효과가 더욱 뚜렷하였다.
9. 자운영의 토양 혼입에 의해 토양 미생물 활성은 urease, phosphatase, dehydrogenase 모두 크게 증가하여 토양의 건진성이 크게 향상됨을 알 수 있었다.
10. 자운영을 처리하여 다른 온도와 수분 조건에서 배양한 경우 토양내 질산태 질소는 수분이 적은 조건에서 높았으나 암모니아태 질소는 습한 토양에서 그 농도가 높아 발조건과 논조건에서 질소 무기화 양상이 다르게 나타났다.

제 4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

I. 목표 달성도

1. 자생자운영의 수집과 월동능력 평가

친환경농업을 위한 작부체계 개선에 필수적인 동계 피복 녹비작물로서 현재 남부 지방에서 이용되고 있는 자운영을 중부지방의 작부체계에 도입하고자 월동력이 높은 내동성 자운영 계통을 수집하고 그 능력을 평가하여 향후 중부지방에서 자운영 도입 작부체계를 활성화시키기 위하여 연구를 수행하였다.

본 연구를 통해서 경기도 파주 지역의 자운영과 중국 흑룡강성에서 수집한 자운영 및 국내에서 수집한 다른 계통의 자운영을 수집하였고 이들의 월동력을 내동성을 기준으로 하여 평가하였다. 내동성 평가를 통해 이들의 내재적 내동성 정도와 내동성과 관련된 형태적 특성을 검정하였고 이 과정에서 내동성에 관여하는 주요 형질들의 특성을 확인하였다. 내재적 요인으로는 다른 작물과 같이 당의 축적과 전분의 분해가 내동성과 관련이 있었으며 안토시아닌 축적을 통해 내동성이 증가하는 결과는 얻었다. 그러나 내재적 물질 변화는 자운영 수집 계통 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 자운영의 월동 능력은 내재적 물질 변화 보다는 형태적 차이가 더 중요한 요인으로 밝혀졌는데, 파주 수집종의 경우 포복형의 초형을 보였으며 관부의 발달이 다른 계통보다 뛰어남을 알 수 있었다. 월동력이 약한 계통은 직립형의 초형을 보였으며 관부의 발달이 비교적 불량한 특성을 보였다. 자운영에서 내동성은 저온에 의한 피해는 물론 월동 중 한발 피해가 그 중요한 원인으로 나타났는데, 발근이 불량하여 뿌리 심도가 깊지 않은 경우 한발에 의한 월동 기간 중의 고사가 일어나 월동 전 뿌리 발달 정도가 월동력에 직접적으로 작용하는 요인으로 밝혀졌다.

자운영의 내동성 증진을 위해서는 영양적으로 K와 P의 결핍이 일어나지 않도록 양분 관리를 해주는 것이 중요한 것으로 나타났으며, 월동 전 자운영의 생육 상태가 월동전의 양분 축적 및 뿌리 발달에 영향을 주므로 중요한 요인인 것으로 나타났다. 따라서 월동 전 자운영의 생육이 왕성한 경우 높은 월동력을 보인다고 볼 수 있다. 그러나 월동 전 자운영이 지나치게 웃자랄 경우 뿌리 발달의 저하 등 월동 능력이

저하될 수 있으므로 지나치게 옷자랄 경우 지상부를 적절히 예취하여 월동력을 증진시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 재배적으로 자운영의 월동력을 증진시키기 위해서는 파종기를 옷자람이 없는 한도에서 앞당기는 것이 중요하며 남부 지방을 기준으로 9월 이내에 파종이 이루어져야 한다. 월동 중 저온의 피해가 우려될 경우 자운영 파종시 골을 8cm 이상으로 깊게 파고 골 파종할 경우 월동력이 현저히 향상되는 결과를 얻었다. 자운영의 발아 실험에서 자운영의 최적온도는 수분포텐셜이 0MPa인 조건에서는 20℃였으나 토양과 같이 수분 포텐셜이 0 이하인 조건에서는 적온이 낮아져 -0.5MPa 이하인 경우에는 15℃가 최적 온도임을 알 수 있었다. 또한 담수 심과 복토심 조절 실험을 통해 온도에 따른 자운영의 최적 발아 및 출현 조건을 확립하였다.

2. 피복 및 녹비작물로서 자운영의 효과

피복작물로서 자운영의 효과 중 실제적으로 뚜렷하게 나타나는 효과는 잡초 발생 및 생장 억제 효과이다. 자운영이 토양에 혼입될 경우 자운영의 유출물에 의해 다른 식물의 발아가 억제됨을 확인하여 자운영의 잡초 발아 억제 효과가 증명되었다. 이 과정에서 자운영 추출물이 쌍자엽 식물보다는 단자엽 식물에 보다 효과적임을 증명하였다. 포장에서 자운영 재배는 자운영을 혼입하지 않고 무경운을 실시할 경우 초기 잡초 발생을 억제하였으나 후기 잡초 생육에 대한 억제 효과가 떨어져 잡초 관리 면에서는 그 효율이 낮았으나 자운영을 토양에 혼입하고 손제초를 1회 실시한 경우 옥수수 재배에서 잡초에 의한 생육과 수량 감소 없이 재배가 가능하였다. 이 결과를 통해서 피복작물로서 자운영의 효과가 검증되었다. 더불어 이 과정에서 자운영의 생육 단계별 잡초 억제 효과의 차이가 확인되어 잡초 관리 측면에서 자운영 도입시 적절한 관리법 수립에 필요한 기초 자료를 마련하였다.

녹비작물로서 자운영의 역할을 확인하기 위하여 논과 밭 조건에서 후작물에 대한 자운영의 녹비 효율이 검증되었으며, 이 과정에서 자운영 도입 작부체계 수립시 무비료재배가 가능함을 입증하였다. 또한 녹비로서 자운영의 생육 단계별 차이가 나타남을 확인하여 자운영 혼입 시기의 최적화를 위한 기준이 되는 결과를 도출하였다. 특히 자운영의 경우 생육 단계 별로 앞의 잡초 억제 효과와 유사한 녹비로서의 능력

차이가 나타남을 확인하여 지금까지 자운영 생육 단계에 대한 고려 없이 수행된 재배법의 개선에 중요한 자료로서 활용될 수 있다. 토양 내에서 자운영 혼입 후 일어나는 질소의 무기화가 토양의 수분 조건과 온도 조건에 따라 상이함이 입증되어 토양 조건에 따라 녹비로서 자운영 이용 시 기초자료가 활용할 수 있는 결과를 얻었다. 친환경농업의 가장 중요한 목적 중 하나인 토양 환경의 건전성 증진과 관련하여 자운영 처리 시 토양의 건전성 지표인 토양 미생물 활성이 증가함을 입증하여 자운영 도입이 친환경적임을 입증하는 중요한 근거를 제시하였다.

II. 관련분야에의 기여도

1. 자생자운영의 수집과 월동능력 평가

자운영의 월동이 중부지방에서 가능성이 입증되어 자운영을 도입한 작부체계가 우리나라의 남부지방에 국한되지 않고 중부지방까지 확산이 가능하다는 결과를 얻어 친환경농업의 확산에 기여하게 될 것이다. 본 연구 과정에서 얻어진 월동률 증진 방안이 앞으로 보강되면 우리나라 어디서나 자운영을 도입한 작부체계를 통해 화학비료의 사용 없이 제초제 사용량을 크게 줄인 새로운 재배법이 개발되고 활성화될 것이다. 이를 위하여 국가 시험기관의 실증 시험이 추가되어야 하면 더불어 월동력이 높은 자운영 품종이 육성될 경우 본 연구의 결과에 비추어 보더라도 충분히 자운영을 이용한 작부체계 개선이 전국적으로 확대될 수 있을 것이다.

2. 피복 및 녹비작물로서 자운영의 효과

친환경농업 특히 유기농업은 무비료, 무농약은 물론 수입산 자운영 종자의 이용도 원칙적으로는 금하고 있다. 따라서 국내 자생자운영의 월동이 확인되었으므로 이 수집 계통을 앞으로 선발 및 육성하여 개선할 경우 국내 환경에 맞는 자운영 품종이 개발 될 수 있을 것이다. 본 연구에서 얻어진 자가재파 능력 향상법은 앞으로 자운

영을 매해 과중하지 않고 영속적으로 재배할 수 있는 기술 개발의 토대를 마련하였으므로 추가적 연구가 진행될 경우 자운영의 영속 재배가 가능해져 종자 구입과 파종에 소요되는 경비가 절약될 수 있을 것이다. 피복 작물로 자운영의 잡초 억제 효과가 검증되었으므로 친환경농업에서 가장 해결하기 어려운 것 중의 하나인 잡초 문제 해결에 기여할 수 있다. 작부체계와 재배법 개선의 추가적인 실험이 진행될 경우 현재보다 잡초 발생을 획기적으로 줄여 간단히 손제초만으로 잡초 문제를 해결할 수 있는 재배법이 확립될 수 있을 것이다. 또한 녹비로서 자운영의 탁월한 효과는 화학비료 사용 및 이에 따른 수질 오염 문제를 해결할 수 있으며 보다 안전한 먹거리 생산이 가능해져 농가의 수입 증대에 기여하게 될 것이며 나아가 우리 농촌의 환경 개선에 기여하게 될 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

I. 추가연구의 필요성

자운영에 대한 연구는 아직까지 그 중요성에 비추어 볼 때 매우 미흡한 실정이다. 그러나 최근 농업의 방향이 친환경농업임을 감안할 때 자운영을 이용한 친환경적 작부체계의 개선은 반드시 필요하므로 이에 대한 지속적인 연구가 요망된다. 본 연구는 중부지방에 자생하는 자운영 수집과 이의 이용 가능성을 확인하고 자운영 도입 작부체계에서 자운영의 피복작물로서의 효과 및 녹비로서의 효과를 검증한 것이므로 다양한 재배 조건에서 본 연구 결과에 대한 검증과 분석이 이루어지고 체계적인 실증 시험이 수행될 때 우리나라 농가에 적합한 재배법이 확립될 수 있을 것이다.

II. 타 사업에의 응용

자운영의 녹비 및 피복 작물로서의 효과가 인정되었으므로 농가에서 직접적으로 자운영을 도입한 작부체계를 활용하여 친환경 농업을 수행할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 물론 국가기관의 실증연구가 보강되어야 하므로 연구기관에서는 본 연구의 결과를 바탕으로 하여 보다 효율적인 자운영 도입 작부체계 확립을 위해 다음과 같은 연구에 본 과제의 결과를 응용할 수 있다.

1. 월동력이 향상된 자운영 품종 개발
2. 녹비효율이 증진된 자운영 예취법 개발
3. 자운영 이용 효율을 높이기 위한 수분 관리법 개발
4. 자운영을 이용한 효율적인 잡초 관리법 개발
5. 자운영을 도입한 최적의 양분 관리법 개발

이 밖에 본 과제에서 얻어진 자운영의 잡초 억제 효과는 그 효과가 비교적 탁월하므로 자운영 추출물을 이용한 생물 제초제의 개발에 연구 결과를 활용할 수 있을 것이다.

자운영은 기본적으로 습생 식물이 아닌 건생 식물이므로 밭에서 생육이 왕성하나

본 연구의 결과에서 본 것과 같이 논에서 침수조건에서도 발아하여 생육이 잘된다. 따라서 자운영을 작부체계내로 도입할 경우 논, 밭에 다음과 같이 활용이 가능하다.

① 논

논에서 벼 수확 전에 9월 초순까지 파종하여 초기 생육을 확보한 다음 자운영의 월동이 잘 되도록 하고 이듬해 모내기를 5월이 아닌 6월에 실시하여 자운영의 지상부 생육이 왕성한 시기에 토양에 혼입하여 재배한다. 이 경우 녹비와 피복 효과를 극대화 시킬 수 있다.

② 밭

재배 시기는 논에 준하여 재배하여 월동률을 높이는 것이 중요하며 특히 월동중 토양이 과습하지 않도록 배수를 잘하고 건조해를 입지 않도록 조치하는 것이 중요하다. 특히 골 파종을 통해 건조해를 예방하고 파종을 빨리하여 발근이 왕성하도록 유도해 한해를 예방한다. 밭에서는 옥수수, 콩 등 대부분의 하작물과의 작부체계에 이용할 수 있다.

③ 푸르들가꾸기

자운영의 파종기를 빨리하여 월동전 충분한 토양 피복이 가능하기 위해서는 최소한 9월10일 이전에 파종하여야 하며 이 경우 이듬해 녹비와 잡초억제 효과가 높은 유기농자재로의 기능이 극대화된다.

Ⅲ. 기업화 추진방향

본 연구는 국가의 기간산업인 농업 기술 분야이나 종자 산업법의 개정으로 민간 육종이 활성화될 것이므로 월동력과 녹비효율 및 잡초 억제 효과가 향상된 자운영 품종 개발 사업이 기업형태로 추진되어야 할 것으로 사료된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

친환경농업은 환경 보존의 측면 외에도 안전한 농산물 생산이라는 중요한 의미가 있다. 세계적으로 안전한 농산물에 대한 관심이 증대되고 있으며 CODEX 규격을 보더라도 무비료, 무농약 재배가 점차 세계적으로 그 중요성이 강조되고 있으므로 기존의 농약 사용 및 다비농업에서 무농약, 무비료 재배에 의해 생산된 안전한 농산물 생산을 통해 우리 농산물의 국제 경쟁력을 키워야 하며 이 과정에서 수입 농산물에 대한 우리 농산물의 경쟁력이 강화될 수 있다. 국제적으로 농업의 패러다임이 지속 가능한 농업으로 바뀌고 있으므로 이러한 측면에서 자운영의 이용은 세계적 추세에 맞추어 반드시 필요하다. 자운영 (*Astragalus sinicus*)는 서양의 문헌에서는 연구된 결과가 없으나 중국의 경우 1997년에 “中國紫云英”이라는 책을 발간하여 중국에서 수행된 자운영 연구를 집대성한 결과를 발표하여 자운영 연구자들의 지침서로 활용하고 있다.

녹비작물에 대한 연구는 유럽에서 유기농업의 발전을 위해 최근 연구가 많이 진행되고 있으며 연구의 초점은 토양 내 가용 양분의 동태와 토양의 건전성에 대한 녹비작물의 효과에 대해 맞추어져 있다. 특히 토양 미생물의 활성 증진을 통한 토양의 건전성 확보가 지속가능한 농업의 기틀이 된다는 결과들이 최근 많이 발표되고 있다.

제 7 장 참고문헌

- Abdina, A., X.M. Zhoua, D.Cloutierb, D.C. Coulmanc, M.A. Farisa, and D.L. Smith. 2000. Cover crops and interrow tillage for weed control in short season maize (*Zea mays*). *Eur. J. Agron.* 12:93-102.
- Aita, C., S. Recous, and D.A. Angers. 1997. Short-term kinetics of residual wheat straw C and N under field conditions. Characterisation by $^{13}\text{C}^{15}\text{N}$ tracing and soil particle fractionation. *Eur. J. Soil. Sci.* 48: 283-294.
- Amato, M., R.B. Jackson, J.H.A. Butler, and J.N Ladd. 1984. Decomposition of plant material in Australian soils. II Residual organic ^{14}C and ^{15}N from legume plant parts decomposing under field and laboratory conditions. *Aust. J. Soil Res.* 22: 331-341.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24:1-15.
- Badaruddin, M. and D.W. Meyer. 1990 .Green-manure legume effects on soil nitrogen, grain yield, and nitrogen nutrition of wheat. *Crop Sci.* 30: 819-825.
- Bassam, B.J., Caetano-Anolles, and P.M. Gresshoff. 1991. Fast and sensitive silver staining of DNA in polyacrylamide gels. *Anal. Biochem* 196:80-83.
- Berg van den, R., and T.M. Linden van der. 1994. Agricultural pesticides in groundwater. In: Zoller, U. (Ed.), *Groundwater Contamination and Control*. Marcel Dekker, New York, pp. 293-313.
- Bernfeld, P. 1955. Amylase, α and β . *Methods in enzymology* 1:149-158.
- Bilbo, J.D. 1989. Evaluation of sixteen fall-seeded cultivars for controlling wind erosion. *J. Soil Water Conserv.* 44:228-231.
- Blevins, R.L., J.H. Herbek, W.W. Frye. 1990. Legume cover crops as a nitrogen source forno-till corn sorghum. *Agron J.* 82:769-772.
- Bollero, G.A. and D.G. Bullock. 1994. Cover cropping systems for the central corn belt. *J. Prod. Agric.* 7:55-58.
- Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Total nitrogen. In: Page, A.L. et al(eds)

- Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties, 2nd edn. ASA and SSSA, Madison, WI pp 595-624.
- Cakmak, I., and W. J. Horst. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean(*Glycine max*). *Physiol. Plant.* 83:463-468.
- Cicerone, R.J. 1987. Changes in stratospheric ozone. *Science* 237:35-42.
- Dalton, B.R., Blum, U. and Weed, S.B., 1983. Allelopathic substances in ecosystems: effectiveness of sterile soil components in altering recovery of ferulic acid. *J. Chem. Ecol.* 9, pp. 1185 - 1201
- Decker, A.A., J. Clark, J.J. Meisinger, F.R. Mulford, and M.S. McIntosh. 1994. Legume cover crop contribution to no-tillage corn production. *Agron. J.* 86:126-135.
- Dinesh, R. M.A. Suryanarayana, G. Shyam Prasad, A.K. Bandyopadhyay, A.K. Nair, and T.V.R.S. Sharma. 1998. Influence of leguminous cover crops on microbial and selected enzyme activities in soils of a plantation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162:57-60.
- Doyle JJ, Doyle JL (1990) Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus* 12:3-4
- Ebelhar, S.A., W.W. Frye and R.L. Blevins. 1984. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. *Agron. J.* 76:51-55.
- Echtenkamp, G.W. and R.S. Moomaw. 1989. No-till corn production in a living mulch system. *Weed Technol.* 3:261-266.
- Frankenberger, W.T. and H.M. Abdelmagid. 1985. Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. *Plant Soil* 87: 257-271.
- Frankenberger, W.T. and M.A. Tabatabai. 1980. Amidase activity in soils. I. Method of assay. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 282-287.
- Franzluebbers, K., R.W. Weaver, A.S.R. Juo, and A.J. Franzluebbers. 1994b. Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plant parts decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1379-1387.

- Franzluebbers, K., R.W. Weaver, and A.S.R. Juo. 1994a. Mineralization of labeled N from cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] plant parts at two growth stages in sandy soil. *Plant Soil* 160: 259-266.
- Franzluebbers, K., R.W. Weaver, and A.S.R. Juo. 1994a. Mineralization of labeled N from cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] plant parts at two growth stages in sandy soil. *Plant Soil* 160: 259-266.
- Frye, W.W., W.G. Smith and R.J. Williams. 1985. Economics of winter cover crops as a source of nitrogen for no-till corn. *J. Soil Water Conserv.* 40:246-249.
- Hadas, A., A. Hadas, B. Sagiv and N. Haruvy. 1999. Agricultural practices, soil fertility management modes and resultant nitrogen leaching rates under semi-arid conditions. *Agri. Water Manag.* 42:81-95.
- Hall, J.K., N.L. Hartwig and D.L. Hoffman. 1984. Cyanazine losses in runoff from no-tillage corn in living and dead mulches vs. unmulched conventional tillage. *J. Environ. Qual.* 13:105-110.
- Hargrove. 1986. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agron J.* 78:70-74.
- Harris, G.H. and O.B. Hesterman. 1990. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agron. J.* 82: 129-134.
- Hauggaard-Nielsen, H., A. de Neergaard, L.S. Jensen, H. Høgh-Jensen, and J. Magid. 1998. A field study of nitrogen dynamics and spring barley growth as affected by the quality of incorporated residues from white clover and ryegrass. *Plant Soil* 203:91-101.
- Haynes, R.J. 1997. Fate and recovery of ¹⁵N derived from grass/clover residues when incorporated into a soil and cropped with spring or winter wheat for two succeeding seasons. *Biol. Fert. Soils* 191: 77-87.
- Hegde, M.R., M. Yusuf, and M.K. Muliyar. 1993. Organic nutrition in Omura, H., F. Sato, and K. Hayano (1983): A method for estimation of L-glutaminase activity in soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29, 295-303.

- Hoffman, M.L., E.E. Regnier and J. Cardina. 1993. Weed and corn (*Zea mays*) responses to a hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crop. *Weed Technol.* 7:594-599.
- Huber, A., M. Bach, and H.G. Frede. 2000. Pollution of surface waters with pesticides in Germany: modeling non-point source inputs. *Agric. Ecosystems Environ.* 80:191-204 .
- Huett, D.O., and J.F. Dirou. 2000. An evaluation of the rationale for fertilizer management to tropical fruit crops. *Aust. J. Exp. Agric.* 40:1137-1143.
- Jacithe, P.-A., W.A. Dick, and L.C. Brown. 2000. Bioremediation of nitrate-contaminated shallow soils and waters via water table management techniques: evolution and release of nitrous oxide. *Soil Biol. Biochem.* 32:371-382.
- Janzen, H.H., C.A. Campbell, S.A. Brandt, G.P. Lafond, and L. Townley-Smith. 1992. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1799-1806.
- Jensen, E.S. 1994. Availability of nitrogen in ¹⁵N-labelled mature pea residues to subsequent crops in the field. *Soil Biol. Biochem.* 26: 465-472.
- Johnson, G.A., M.S. Defelice and Z.R. Helsel. 1993. Cover crop management and weed control in corn (*Zea mays*). *Weed Technol.* 7:425-430.
- Karim, M.A., Y. Fracheboud and P. Stamp. 1999. Photosynthetic activity of developing leaves of *Zea mays* is less affected by heat stress than that of developed leaves. *Physiol Plant* 105: 685 - 693.
- Keeney, D.R. and D.W. Nelson. 1982. Nitrogen-inorganic forms. In: Page, A.L. et al(eds) *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*, 2nd edn. ASA and SSSA, Madison, WI pp 643-698.
- Kolpin, D.W., J.E. Barbash, and R.J. Gilliom. 1998. Occurrence of pesticides in shallow ground water of the United States: initial results from the national water-quality assessment program. *Environ. Sci. Technol.* 32:558-566.
- Kuo, S., U.M. Sainju, E.J. Jellum. 1997. Winter cover crop effects on organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:145-152.
- Ladd, J. N., M. Amato, R.B. Jackson, and J.H.A. Butler. 1983. Utilization by

- wheat crops of nitrogen from legume residues decomposing in soils in the field. *Soil Biol. Biochem.* 15: 231-238.
- Mahler, R.L. and D.L. Auld. 1989. Evaluation of the green manure potential of Austrian winter peas in northern Idaho. *Agron. J.* 81: 258-264.
- Mahler, R.L. and H. Hemamda. 1993. Evaluation of the nitrogen fertilizer value of plant materials to spring wheat production. *Agron. J.* 85: 305-309.
- McCracken, D.V., M.S. Smith, J.H. Grove, C.T. Mackown, and R.L. Blevins. 1994. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1476-1483.
- Nei, M, W.H. Li. 1979. Mathematical model for studying genetical variation in terms of restriction endonuclease. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 74:5267-5273.
- Nei, M. 1973. Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 70:3321-3323
- Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from small number of individuals. *Genetics* 89:583-590
- Phillips, D.J., A.G. Watson, A.R. Weinhold, and W.C. Snyder, W.C. 1971. Damage of lettuce seedlings related to crop residue decomposition. *Plant Dis. Rep.* 55:837-841.
- Quemada, M. and M.L. Cabrera. 1995. Carbon and nitrogen mineralization from leaves and stems of four cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 471-477.
- Ranells, N.N. and M.G. Wagger. 1997. Winter annual grass-legume bicultures for efficient nitrogen management in no-till corn. *Agri. Ecosystems Environ.* 65:23-32.
- Sadeghi, A.M. and A.R. Isensee. 2001. Impact of hairy vetch cover crop on herbicide transport under field and laboratory conditions. *Chemosphere* 44:109-118.
- Schertz, D.L., D.A. Miller. 1972. Nitrate-N accumulation in the soil profile under alfalfa. *Agron J.* 64:660-664.
- Shim, S. I. and R. B. Jørgensen. 2000. Genetic Structure in Cultivated and Wild Carrots (*Daucus carota* L.) revealed by AFLP analysis. *Theo. Appl. Genetics*

- 101:227-233.
- Shipley, P.R., J.J. Meisinger, A.M. Decker. 1992. Conserving residual corn fertilizer nitrogen with winter cover crops. *Agron. J.* 84:869-876.
- Sullivan, P.G., D.J. Parrish, and J.M. Luna. 1991. Cover crop contributions to N supply and water conservation in corn production. *Am. J. Altern. Ag.* 6:106-113.
- Tabatabai, M.A. 1982. Soil enzymes, in A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.): *Methods of soil analysis, Part 2*, Agron. 9, 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, WI, p. 903.
- Teasdale, J.R. and C.S. Daughtry. 1993. Weed Suppression by live and desiccated hairy vetch (*Vicia villosa*). *Weed Sci.* 41:207-212.
- Torbert, H.A., D.W. Reeves, R.L. Mulvaney. 1996. Winter legume cover crop benefits to corn: rotation vs. fixed-nitrogen effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 88:527-535.
- Touchton, J.D., D.H. Ricker, R.H. Walker, and C.E. Snipes. 1984. Winter legumes as a nitrogen source for no-tillage corn. *Soil Tillage Res.* 4:391-401.
- Utomo, M., W.W. Frye and R.L. Blevins. 1990. Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. *Agron. J.* 82:979-983.
- Van Gestel, M., J.N., Ladd, and M. Amato. 1992. Microbial biomass responses to seasonal change and imposed drying regimes at increasing depths of undisturbed topsoil profiles. *Soil Biol. Biochem.* 24:103-111.
- Vanlauwe, B., O.C. Nwoke, N. Sanginga, and R. Merckx. 1996. Impact of residue quality on the C and N mineralization of leaf and root residues of three agroforestry species. *Plant Soil* 183: 221-231.
- Vos P, R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijans, T. Van De Lee, M. Hornes, A. Frijters, J. Pot, J. Peleman, and M. Zabeau. (1995) AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res.* 23:4407-4414
- Wagger, M.G. 1989a. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops *Agron. J.* 81:236-241.

- Wagger, M.G. 1989b. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till corn. *Agron. J.* 81:533-538.
- White, R.H. and A.D. Worsham. 1990. Control of legume cover crops in no till corn and cotton. *Weed Technol.* 4:57-62.
- Williams, P.H., S.C. Jarvis, and E. Dixon. 1998. Emission of nitric oxide and nitrous oxide from soil under field and laboratory conditions. *Soil Biol. Biochem.* 30:1885-1893.
- Wyland, L.J., L.E. Jackson, W.E. Chaney, K. Klonsky, S.T. Koike, B. Kimple. 1996. Winter cover crops in a vegetable cropping system: impacts on nitrate leaching, soil water, pest and management costs. *Agric. Ecosystems Environ.* 59:1-17.
- 김충수, 이석영, 조진웅, 강래성. 1993. 자운영(*Astragalus sinicus* L.) 종자의 발아에 관한 연구. *충남대 농업과학연구* 19:1-8.
- 배원길. 2002. 친환경농업 정책과 발전 방향. (사)한국지속농업산학연구회 특별강연회. pp. 1-11.
- 성락춘, 박근용. 1991. 자운영 수집종의 생육 및 사료생산특성. *한국작물학회지* 36:7-11.
- 성락춘, 손용석. 1990. 자운영을 이용한 유기농업에 관한 연구. 1. 녹비 및 사료 생산성. *고려대 농림논집*. 30:11-16.
- 엄기철, 양재의, 정영상. 1999. 작부체계에 따른 환경적 가치 평가. '99 농업과학기술학술회의 '환경친화형 농경지 고도이용기술. 농촌진흥청, pp. 61-143.
- 조진웅, 김충수, 이석영. 전작으로서 녹비작물인 자운영(*Astragalus sinicus* L.) 재배가 후작물인 벼 생육에 미치는 영향. *충남대 농업과학연구*. 20:103-108.
- 지영린. 1967. 사료·녹비작물학. 향문사 pp. 257-265.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.