

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “稀土鑛物(Rare Earth)이용 農用 신소재 개발” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2004년 08월 17일

주관연구기관명 : 전북대학교

총괄연구책임자 : 박 홍 석

세부연구책임자 : 한 강 완

세부연구책임자 : 허 삼 남

세부연구책임자 : 손 재 권

요 약 문

I. 제 목

稀土鑛物(Rare Earth)이용 農用 신소재 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구의 목적은 희토류 광물들의 식물과 동물의 생리 기능적 역할을 규명하고 희토를 동물과 식물 농업에 이용할 수 있도록 희토 사료 첨가제와 사료작물용 희토 복합비료 그리고 환경 친화용 희토 복합비료를 개발하는데 연구개발의 목적이 있다. 희토란 Lanthanide 원소를 주축으로 하는 일련의 원소 집합체로서 그 화학적 성질이 독특하여 식물과 동물의 생리 대사를 조절하는 독특한 기능을 갖고 있으며, 동식물의 생산성에 지대한 효능을 지니 것으로 알려져 있으나 농업적 이용에 대한 조직적 연구가 이루어지지 않아 실용화되지 못하고 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 희토를 이용한 동물용 사료첨가제 개발, 식물용 환경 친화 희토 복합비료 개발 그리고 희토의 사용 효과를 극대화하고 희토 원료 소모를 최소화할 수 있는 희토와 유기산의 chelation 기술 개발로 이어지는 세부적 연구들이 다듬과 같이 진행되었다.

● 혼합 희토 사료첨가제 개발에 대한 연구

- 쥐를 이용한 주요 개별 희토 원소들의 생체 반응에 대한 효과 검증
- 쥐를 이용한 복합희토의 적정 수준에 대한 예비 예비 검증
- 쥐를 이용한 희토의 안전성 검토에 관한 연구
- Lanthanum(La^{3+})의 *E. coli*의 성장과 증식 억제 효과 연구
- Lanthanum(La^{3+})의 *Salmonella*의 성장과 증식 억제 효과 연구
- 자돈 및 육성돈을 이용한 최적 복합 희토 배합비율에 검토 연구

- 자돈을 이용한 복합회토의 적정 사료첨가 수준 측정에 관한 연구
- 육성 비육돈에 대한 복합회토의 사료첨가 효과 검증 연구
- 육계에 대한 복합회토의 적정 사료첨가수준 측정 연구
- 종계에 대한 복합회토 적정 첨가수준 측정에 관한 연구
- 종계를 연계한 육계 사료의 복합회토 첨가효과 검증 연구

● Organic acid-RE chelate 제제 개발을 위한 연구

- 회토 원소 분석 방법 확립을 위한 개별 원소 분리 연구
- 주요 개별 회토원소별 정량적 분석 방법 확립
- EDTA, citric acid, 아미노산을 이용한 회토의 chelation 방법 개발
- RE-OA chelate 생산 및 chelate 안정성 검증

● 사료작물용 회토 복합비료 개발 연구

- 주요 회토 원소의 개별 효능 검증 연구
- 적정 시용농도 결정(작물안전성)에 대한 연구
- 혼합형태의 복합회토 배합비 결정을 위한 연구
- 사료작물용 회토 복합비료 시제품 개발
- 목초에 대한 시제품의 효과검증 연구
- 회토복합비료로 생산된 사료작물의 가축급여 효과

● 친환경용 회토 복합제 개발

- 주요 회토원소의 농약 및 질산염 강하효과에 대한 연구
- 회토 시용체계(처리농도, 시기, 횟수 등) 구명에 대한 연구
- 친환경용 단일회토 및 미량원소 배합비 결정을 위한 연구
- 환경 친화용 회토 복합제 개발에 관한 연구
- 사료작물, 엽채류의 식품적 안전성 증진효과 검증연구

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

회토라 하는 새로운 천연 물질을 우리 농업에 접목시키려는 본 연구 결과 가축 생산과 사료작물 및 친환경 식용작물 생산에 우리 농민들이 활용하면 효과가 좋은 회토

사료 첨가제와 희토 복합비료가 개발 되었다. 그러나 실제 활용에는 두 가지 어려움이 있다. 첫 째는 기술적인 문제로 식물용과 동물용 개발 시제품을 보다 완벽한 제품으로 개발을 지속하기 위한 차후 연구에 대한 대책이 있어야 하겠고, 실제로 문제는 둘째로 우리나라의 사료법 내지는 농약법이다. 새로운 물질을 쉽게 수용하지 못하는 우리의 제도상 문제점이라고 할 수 있다. 이에 대한 대책을 강구하는 것이 본 연구 결과를 활용하게 하는데 함께 풀어야할 과제로 남는다고 하겠다.

SUMMARY

TITLE : DEVELOPMENT OF NEW MATERIALS USING RARE EARTH FOR AGRICULTURAL USE

Rare earth indicates a group of 17 chemical elements composed of 15 lanthanide elements, Sc and Y. and they are so called because they are known to be very rare on earth. The atomic structures of these elements are so unique as to retain very singular biological activities in living cells. They are known to stimulate the germination of seeds and root growth, and the formation of chlorophyll in plants. They keep anti-microbial activity by themselves and this should explain the reduced diarrhea that is responsible for the death of many young animals. In animals they are also known to increase the level of immune body and growth hormone in blood serum of animals. In addition, they also get rid of stress in animals through minimizing the formation of free radicals. In order to make benefits out of these biological functions of rare earth in plants and animals a series of studies have been conducted to develop new materials that can be used to enhance the productivities of crops and livestock.

I. Development of compound rare earth feed additives

1. Purpose and significance do the study

The purpose of this study is to develop feed additives using rare earth that can be used in replacement for many synthetic animal growth promoters including antibiotics to promote the performance of livestock and the quality of many animal products. In doing so this study is developing environmental friendly feed additives because rare earth is a natural but not chemically synthesized material.

2. Materials and method

This study is composed mostly of a series of animal feeding experiments using experimental rats, chicken, breeding hens, weanling piglets, and growing

pigs. All the experiments were properly designed as any other animal feeding trials. The major difference among feeding experiments was some manipulation with respect to dietary supplementation of rare earth and all others were as usual. Using a general laboratory experimental procedure in vitro microbial studies were also conducted to test the anti-microbial property of rare earth .

3. Results

- 1) There were not much difference among major rare earth elements in affecting the growth of rats
- 2) No harmful effects of rare earth were found and no different appearance of internal organs even with a rare earth level as high as 5000ppm in a diet were found in rats.
- 3) Rare earth exhibited the activity of depressing the multiplication of pathogenic microorganisms in vitro such as *E. coli* and *Salmonella* at concentrations higher than 100ppm and 200ppm, respectively.
- 4) Rare earth enhanced the growth of growing pigs by a range from 5.2% to 15.4% depending upon the type of rare earth.
- 5) Rare earth improved the growth of weanling piglets by 5.6–6.1% with dietary supplementation of rare earth at levels of 100–200mg/kg. The reduced incidence of diarrhea and death of young pig were also observed.
- 6) Feeding rare earth to finisher pig decreased back fat thickness and improved pig carcass quality. It increased the incidence of grade "A", the highest grade, and decreased the grade "D", the lowest grade.
- 7) Proper dietary levels of rare earth for broilers appeared to be about 50–100ppm that stimulate the growth and reduce the death of broiler chicks.
- 8) Feeding rare earth at a level of 300ppm in diets increased the production of breeder eggs by 4.4% and reduced the mortality of breeding hens remarkably.

II. Development of organic acid-RE wet chelation reaction method

1. Purpose and significance

The purpose of this study is to develop extraction of rare earth elements in

plant and soil sample and organic acid-RE wet chelation reaction method

2. Contents and scopes

- 1) Analysis system of RE using ICP/AES
 - Investigation of analysis condition ICP/AES (ICPS-7500 Shimadzu)
 - Investigation of extraction efficiency for rare earth elements in plant and soil sample
- 2) Development of RE-Organic acid wet chelation reaction method
 - Recovery of Re-OA chelation compound
 - Characteristics of visible spectroscopy of RE-OA chelation compound
- 3) Improvement of side-reaction for Re-OA chelation compound

3. Results and recommendations

- According to the instrumental analysis by ICP/AES (ICPS-7500 Shimadzu), detection limit of rare earth elements was 0.005ppm
- We established a effective extraction method for rare earth element in plant and soil samples
- According to the kind of chelating agent, absorption wavelength of RE-OA compound was different.
- In case of addition of cysteine and methionine, recovery of rare earth elements was increased about 24%

III. Development of rare earth compound fertilizer for forage crops.

1. Effects of concentration of rare earth on the emergence and growth of forage crops.

To study the effects of application level of rare earth seedling emergence and growth of forage crops were measured. Seeds of corn, Italian ryegrass, and alfalfa were soaked in 0, 50, 100, 300, 500, and 800ppm solutions of $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$, and $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ for six hours. The seeds were sown 1cm deep in vermiculite and emergence rates were investigated.

Seedlings of corn, Italian ryegrass, and alfalfa were hydroponic cultured, and those shoot and root growth were measured. The emergence rates of corn, Italian ryegrass, and alfalfa were best, when the seeds were soaked in 10ppm solution of $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Best results of emergence rate(ER), maximum emergence rate(MER), and days to reach 50% of final emergence rate(Et50) were shown with the seeds of corn treated with 100ppm $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$. Italian ryegrass and alfalfa seeds soaked in 100ppm $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ were also emerged best, but not appeared statistical significance among concentrations of rare earth. $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$ solution did not affect the emergence of corn, whereas, the seeds of Italian ryegrass were affected much to 300ppm $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$. Cumulative emergence percentage(CEP), ER, and MER were highest, when alfalfa seeds were treated to 100ppm solution of $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$. Corn seeds soaked in 300ppm $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ showed high ER, MER, and Et50, but alfalfa seeds were damaged by $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ treatment. $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ and $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ did not affect the yield of corn, but the plants applied with 50ppm $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$ and 50~300ppm $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ were yielded much more than non treated control. Sorghum plants treated with 300~500ppm $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ or $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ was yielded more. As the concentrations of $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ and $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ were high, as the yield of sorghum was increased. Dry matter yield was highly increased, when Italian ryegrass was sprayed with 100~300ppm $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$, or $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$. Dry matter yield of root was much higher compared to that of shoot. Rare earth gave damage to the growth of alfalfa, and the damage was increased as the treated level of rare earth was higher.

2. Developing rare earth fertilizer

In order to develop rare earth fertilizer five kinds of rare earth fertilizer were made, and sprayed to forage crops to study their effects. Alfalfa, Italian ryegrass and corn were soil cultured. Plants were foliar sprayed twice by raw rare earth(RE), RE+PGR(plant growth regulator), RE+minerals, RE+multinutrient, and introduced RE fertilizer, and investigated leaf thickness, plant weight, chlorophyll content, and root activity. Leaves of alfalfa became significantly thicker by foliar spraying of RE+minerals and RE+multinutrient. Yield of alfalfa was increased by all kinds of RE fertilizers, but not Statistically significantly different among treatments. Number of tillers was highest by applying RE+PGR. Leaf thickness of Italian ryegrass was increased by RE, and number of tillers was highest by spraying RE+minerals. Fresh and dry weight yield of Italian ryegrass were

highest, when the plants were sprayed with RE+minerals or RE fertilizer. Plant height, leaf thickness and root activity of corn were increased by sprinkling RE, highest increase by RE+minerals. Sprinkling of corn with RE+minerals increased dry weight yield by 29%. Root/shoot ratio was highest when forage crops were foliar sprayed with RE+minerals, next to RE fertilizer. Root activities of Italian ryegrass and corn applied with RE+minerals were higher than the other treatments.

3. Effects of rare earth and nitrogen application on the growth and nitrate content of chicory

The effect of rare earth(RE) at three different levels of nitrogen on the growth and nitrate content of chicory (*Cichorium intybus* L.) were studied in terms of leaf size, fresh and dry weight increase, and chlorophyll and nitrate content grown in plastic pots within glasshouse. Leaf size was enlarged as the level of nitrogen applied was high, and leaf width, length, and thickness of leaf were increased by RE treatment showing significant difference at high nitrogen(N+1) plot. As the level of nitrogen applied was high, as fresh and dry weight per plant was increased significantly($p<0.05$), and sprinkling cabbage with RE increased fresh and dry matter yield to 2~12, 4~6.2% more, respectively. Dry matter content of Chinese cabbage was increased by RE sprinkling. At all levels of nitrogen fertilized chlorophyll contents were increased by RE treatment. As the level of nitrogen was high, as the content of chlorophyll was highly increased by RE. Nitrate was accumulated more at high level of nitrogen application, but nitrate was decreased by RE application, 40% decrease at very high nitrogen plot(N+2). RE stimulated the growth of chicory with high chlorophyll content, and showed the possibility producing high quality agricultural products low in nitrate content.

4. Effects of rare earth on the growth, nitrate accumulation and insecticide remained in spinach and lettuce

To study the effect of rare earth on the growth and quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.) and lettuce(*Lactuca sativa* L.), fresh weight yield, chemical composition, chlorophyll, nitrate and imidacloprid content were investigated. Rare

earth application increased chlorophyll contents of spinach and lettuce by 13.3 and 2.6% when compared to the no rare earth applied control. Fresh weight of spinach per plant was increased by 22.7%, and leaves became thicker by rare earth fertilization. Nitrate contents of spinach and lettuce were reduced by 23.0 and 19.9% by rare earth application. Three times of sprinkling rare earth showed the best result in reducing imidacloprid content of lettuce which was reduced by 33.4%. Rare earth fertilization increased the chlorophyll content and yield of spinach and lettuce, and reduced nitrate and imidacloprid content.

5. Effects of rare earth and nitrogen application on the growth and nitrate content of chinese cabbage.

In order to study the effects of rare earth(RE) application on the leaf thickness, weight, chlorophyll and nitrate contents of Chinese cabbage(*Brassica campestris* subsp. Makino) which was grown at three different levels of nitrogen fertilization were investigated. A high level of nitrogen fertilization increased leaf size, and RE application increased width, length, and thickness of cabbage leaves as the statistical significance appeared at high nitrogen fertilization (N+1). As the level of nitrogen fertilization raised the fresh and dry weight of each cabbage appeared to be increased proportionally ($p < 0.05$), and sprinkling of cabbage with RE solution increased fresh weight by 2~12% and dry weight by 4~6.2%. RE application increased chlorophyll content of cabbage leaves at all nitrogen fertilization levels. The efficacy of RE in increasing chlorophyll content was greater at higher levels of nitrogen fertilization. Nitrate was accumulated by nitrogen fertilization, more at high nitrogen fertilization, and it was greatly decreased by RE application, even by 40% at a very high nitrogen fertilization plot (N+2). RE stimulated the growth of Chinese cabbage with high chlorophyll content, and showed the possibility producing high quality agricultural products low in nitrate content.

6. Effects of liquid rare earth(RE) fertilizer on the yield and quality of tomato.

This experiment was carried out to develop liquid rare earth fertilizer to replace powder RE fertilizer. Cherry tomato 'Kokobangul' was grown at experimental vinyl-house, Chonbuk National University, and Hosung-Dong, Chonju. Plant growth characteristics, yield, and quality of fruits were investigated. Internode length of tomato was shorten by applying liquid RE fertilizer. First and second cluster position was also lowered. Stem diameter and leaf thickness were enlarged by sprinkling liquid RE fertilizer. Number of fruits per truss was increased, and total weight of fruits by 21.2% at the experimental farm compared to 19% at Hosung-Dong farm with applying liquid RE. Applying liquid increased mean fruit weight by 14.6%, and sweetness by 7.6%. Liquid RE fertilizer stimulated plant growth, and elevated the yield and quality of fruits.

7. Effects of feeding rare earth on the growth and meat quality of Korean native goats.

Effects of feeding rare earth on the growth and meat quality of Korean native goats were investigated. Twenty heads of male goats were divided into four treatment groups fed diets containing rare earth, silage, RE-silage. Growth rate, feed intake, carcass and meat quality were investigated.

- 1) Goats fed rare earth showed highest total weight gain, and those fed silage gained least because of low roughage intake.
- 2) Daily weight gain was similar to total weight gain, and the goats fed rare earth increased their weight gain 13% more than control.
- 3) Feed conversion ratio fed rare earth was 9.7g, whereas, that of control was 11.3g.
- 4) Cold weight, dressing percentage, and meat weight of goat meat fed rare earth were slightly higher than those of control, however, not statistically significant.

- 5) Bone percentage was not significantly different between treatments, and fat percentage of goat meat on rare earth was higher than that of control.
- 6) Shear force and cooking loss of goat meat on rare earth were slightly higher than those of control.
- 7) Water holding capacity, juiciness, and tenderness of meat fed rare earth were lower than those of control.
- 8) Flavor and pH of meat were similar between treatments. Feeding rare earth to goats could not be expected good meat quality.

IV. Development of environmental friendly rare earth compound fertilizer

1. Objectives and importance of the study

Competition and trade has grown more intense in the context of the World Trade Organization system, ensure food sanitation and marketability are important problem for the agricultural products. Nitrate and agricultural chemical residues are major crucial topics in vegetables and forage crops up-to-date. This study were performed to provide a means whereby environmental Friendly Rare Earth Compound Fertilizer can be use for decreasing nitrate content and agricultural chemical residues widely available. The proposes and objectives of this study are summarized as follows :

- 1) To analyze optimum contents of single Rare Earth elements with different concentrations which grewed in different stages for the purpose of making proper Rare Earth Compound Fertilizer in lettuce and forage corn and Italian ryegrass by the water culture and potting, small area experiment.
- 2) With optimum contents of single Rare Earth elements, manufactured Rare Earth Compound Fertilizer.

- 3) To analyze effects of Rare Earth Compound Fertilizer on nitrate content and agricultural chemical residues reduction and growth promotion, yield increase of lettuce, forage corn and Italian rye grass by the water culture and potting, small area and field experiment.
- 4) To analyze the pattern of absorption, absorbability and distribution of single Rare Earth elements by applying Rare Earth Compound Fertilize in the crops.

2. Results and recommendations

- 1) The optimum concentration of single Rare Earth elements were obtained in lettuce and forage corn, Italian ryegrass by the water culture and potting, small area experiment. When the concentration of single Rare Earth elements(La, Ce, Pr, Na, Y)chloride with seed soaking and spraying leaves at 10~30ppm in lettuce and forage corn except 50ppm of La. Physiological index and yield were promoted.
- 2) Applying 100~300ppm of Rare Earth Compound Fertilizer with seed soaking and 1~2 times of spraying leaves was able to increase the yield by 18.2~25.8% and 3.6% for lettuce and forage corn respectively. For Italian ryegrass, when the concentration was 500~700ppm, the yield were higher from 6.9% to 9.3% than non-treatment of Rare Earth compound Fertilizer
- 3) The experimental results show that spraying 2 times of Rare Earth Compound Fertilizer at the primary, middle and later growth stage for 100, 500ppm of Rare Earth Compound Fertilizer(Treatment II-3) in lettuce can decrease the ingredient of agricultural chemical Mancozed residues within the range of 16.1%. And 3 times of spraying Rare Earth Compound Fertilizer at the primary, middle and later growth stage for 100, 300, 500ppm of Rare Earth Compound Fertilizer(Treatment III-2) in lettuce Mancozed residues has decreased by 22.6%. And in case of forage corn, Mancozed residue show the minimum detection range.

4) Lettuce and Italian ryegrass, the experimental crops, were treated by Rare Earth Compound Fertilizer.

In case of lettuce, when spraying 3 times at the primary, middle and later growth stage for 100, 200, 300ppm(Treatment III-1) respectively, it is shown that the Nitrate accumulation was lower by 38.3% than non-treatment plot.

In case of Italian ryegrass, when spraying 3 times for 200ppm at the middle, for 500 and 700ppm (Treatment II-3, II-4) at later growth stage deduction rate of the Nitrate accumulation was 62.2% and 65.8% respectively.

When applying Rare Earth Compound Fertilizer to forage corn for 200, 1,000ppm with soil treatment and spraying leaves, deduction rate of the Nitrate accumulation was highest compared with non-treatment. It's rate was 59.1%.

But considering to the economic point of view in relation to yield and Rare Earth elements accumulation in plant, even though the Nitrate deduction was 45.0%, spraying 2 times for 200ppm at the middle and the later growth stage is may be proper method.

5) The pattern of absorbability and accumulation by single Rare Earth elements in crops were analyzed.

The experimental results showed that a amount of single Rare Earth elements(La, Ce, Pr, Nd, Y) were accumulated in proportion to quantity, concentration and applying times of Rare Earth Compound Fertilizer.

In the order of residue quantity, lettuce has more single Rare Earth elements than the other crops. In case of forage corn, total residue quantity was 2.3~26.3ppm. And Italian ryegrass has lower residue quantity than the other crops. its total residue quantity was 1.7~17.5ppm.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	19
Part 1. Objectives of the study.....	19
Part 2. Outline and needs for the study.....	20
Part 3. Scope of the study.....	21
 Chapter 2. Present status of technological development in domestic and abroad.....	 23
Part 1. Current status of technological development abroad.....	23
Part 2. Current status of technological development in domestic.....	25
Part 3. The future prospect.....	27
 Chapter 3. Research procedure and results	 30
Part 1. Study for the development of rare earth feed additives.....	30
Part 2. Study for the development of organic acid-RE wet chelation reaction method	58
Part 3. Study for the development of rare earth compound fertilizer for forage crops.....	75
Part 4. Study for the development of environmental friendly rare earth compound fertilizer for vegetables and food crops.....	130

Chapter 4. Achievement and contribution of the study to industry.....	181
Part 1. The development of rare earth feed additives.....	181
Part 2. The development of organic acid-RE wet chelation reaction method....	181
Part 3. The development of rare earth compound fertilizer for forage crops.....	182
Part 4. The development of environmental friendly rare earth compound fertilizer for vegetables and food crops.....	183
Chapter 5. Future plan for application of the study results.....	185
Part 1. Application of study results.....	185
Part 2. Necessity of following study.....	186
Chapter 6. Literature cited	187

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	19
제 1 절 연구개발의 목적	19
제 2 절 연구개발의 필요성	20
제 3 절 연구개발의 범위	21
제 2 장 국내외 기술개발 현황	23
1. 국외 기술 개발 현황	23
2. 국내 기술 개발 현황	25
3. 앞으로의 전망	27
제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과	30
제 1 절 : 혼합 회토 (RE) 사료 첨가제 개발	30
1. 주요 RE 원소별, 급여효과, 적정 첨가농도 및 안전성 연구	30
2. La^{3+} 가 <i>E. coli</i> 와 <i>Salmonella</i> 의 성장과 증식에 미치는 영향	35
3. 돼지를 이용한 회토의 사료첨가 효과에 대한 연구.....	39
4. 가금을 이용한 회토의 사료첨가 효과에 대한 연구.....	45
5. 적요	57
제 2 절 : Organic acid-RE chelate 제제 개발	58
1. 연구방법	58
2. 연구결과 및 고찰	60
제 3 절 : 사료작물용 회토 복합비료 개발	75
1. 회토 원소별 농도가 사료작물의 출현과 생육에 미치는 영향	75
2. 회토 복합비료 개발에 관한 연구	75
3. 회토 및 질소시용이 치커리의 성장과 질산태질소 함량에 미치는 영향	95
4. 회토 처리가 시금치와 상치의 성장과 질산태질소 축적 및 농약 잔류량에 미치는 영향	102

5. 회토 및 질소시용이 배추의 성장과 질산태질소 함량에 미치는 영향	111
6. 미량원소 회토 액비 처리가 방울토마토의 수량과 품질에 미치는 영향	120
7. 회토급여가 재래염소의 성장과 도체 육질에 미치는 영향	126
 제 4 절 : 친환경용 회토 복합제 개발	130
1. 시험방법	130
2. 조사방법 및 항목	133
3. 시험시설의 설치 및 배치	133
4. 연구수행 결과	135
 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	181
제 1 절 : 혼합 회토(RE) 사료 첨가제 개발.....	181
제 2 절 : Organic acid-RE chelate 제제 개발.....	181
제 3 절 : 사료작물용 회토 복합비료 개발.....	182
제 4 절 : 친환경용 회토 복합제 개발.....	183
 제 5 장 연구개발결과의 활용계획	185
제 1 절 연구결과의 활용.....	185
제 2 절 추가 연구의 필요성	186
 제 6 장 참고문헌	187
제 1 절 : 혼합 회토(RE) 사료 첨가제 개발	187
제 2 절 : Organic acid-RE chelate 제제 개발	199
제 3 절 : 사료작물용 회토 복합비료 개발	203
제 4 절 : 친환경용 회토 복합제 개발	206

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

희토(稀土, rare earth, RE)란 글자대로 지구상에 드물게 존재하는 희귀한 토양이란 뜻이다. 원소 주기율표에 원자번호 57인 Lanthanum(La)부터 Lutetium(Lu)에 이르기까지 15가지 원소가 한 묶음으로 되어 있는데 이를 Lanthan족이라 하고, 원자번호 21인 Scandium(Sc)과 39인 Yttrium(Y)을 합친 총 17개 원소를 통틀어 희토류(稀土類, rare earth elements, REE)라 한다. 희토에는 REE가 농축되어 존재한다. 희토류 원소들은 화학적 성질이 서로 비슷하여 분리가 어려웠으나, 2차 대전 때 미국, 소련 등에서 원자탄 생산을 위한 우라늄 분리와 함께 희토 원소의 분리 연구(Manhattan Project)가 활발하게 이루어졌다. 근래에는 기능성 재료로서 응용이 확대되어 초전도 반도체, 고밀도 기억소자, 레이저, 특수 합금제, 정유촉매제, 특수유리, 신세라믹, 영구자석, TV 브라운관, 형광램프 등 신소재 첨단 제품 생산에 이용되지 않는 곳이 없는 물질이다. 중국이 희토류 세계 최대 자원국 이자 독보적 수출국이라면, 일본은 세계 최대의 소비국이다. 우리나라는 연간 약 1,250만 \$ (1997년) 어치를 수입하여 이용하고 있다.

이러한 RE원소의 공업적 이용과는 달리, 농업에서의 이용은 활발하지 못한 편이다. 아직 農用에 대한 관심과 연구의 초점이 모아지지 않았기 때문이다. 그러나 RE의 매장량이 세계적으로 으뜸인 중국에서는, 70년대 이후 이를 자원화 하려는 국가적 개발계획의 일환으로, RE원소의 농업적 이용에 대한 연구개발이 활발하게 이루어져 왔다. 이제까지 이들이 진행하여온 농업분야 응용연구 결과를 보면 매우 놀라워서, 식물 농업에서의 녹색혁명과 동물 농업에서의 획기적 생산성 향상 가능성을 보여주고 있다. 희토류 금속은 식물의 청색광 흡수율을 높여 광합성작용을 촉진하며, 전분류 분해효소의 활력을 높여 종자 발아를 촉진시키는 한편, 보습기능이 강력하여 농작물이 한발에 건디는 능력을 강화한다고 한다. 동물산업 응용에 대한 연구는 시작이 늦었으나 빠른 발전을 하고 있다. 닭의 경우 산란율과 부화율 향상, 그리고 병아리의 폐사율 감소 효과 등이 보고 되어 있다. 돼지의 경우 자돈 설사와 폐사를 감소시키며, 질병에 대한 저항성을 높이고, 성장촉진(16~24%)과 육질개선 효과가 보고 되어 있기도 하다. 이렇게 희토가 지니고 있는 식물과 동물에 대한 기능성을 활용하여 우리나라 농업에 활용할 수 있는 신소재로서 희토의 농업적 이용 방안을 마련하고자 함이 본 연구의 목적이다.

제 2 절 연구개발의 필요성

식물이나 동물의 영양학적 관점에서 볼 때 RE원소는 분명 영양소에 속하지는 않는다. 그러나 이들 신소재 물질에는 가축 생산성을 크게 향상시킬 수 있는 잠재력이 있으며, 가축생산에 이용가능성이 이제 확인되었다고 할 수 있다. 본 대학에서 지난해(2000년) 11월, 회토의 농업적 이용에 대한 연구의 선두주자 중국의 호남성농업과학원 회토농용연구소 연구진을 초빙하여 개최한 □□회토의 농업적 이용에 대한 심포지엄 □□에서도 이러한 사실을 확인할 수 있었다.

그러나 RE원소들이 지니고 있는 가축 생산성 향상 잠재력을 제대로 발휘하게 하려면 이제부터의 연구개발이 중요하다고 할 수 있다. RE원소 개체별 또는 RE화합물 성상에 연관된 몇 가지 기술적 문제가 해결되어야만 한다. 첫째, RE 광물들은 서로 특수한 물리 화학적 성질에 따라 생체 내에서 서로 다른 기능을 발휘할 수 있으며 둘째, RE 광물들은 화합물 형태가 다양하여 그에 따라 생체내 기능이 변화하며 셋째, 그들이 효력을 발휘하기 위해서는 극미량이 소요되나 과도하면 역효과가 나타날 수 있음에 이를 안정화 할 수 있는 기술이 개발되어 있지 않기 때문이다. 이제까지 문헌에 나타난 RE의 가축과 가금에 대한 연구 결과들을 살펴볼 때, 모두가 중국에서 이루어진 것이지만, 아주 우수한 것에서부터 그렇지 못한 것에 이르기까지 그 효과에 균일성이 결여되고 있으니, 이는 모두 RE 화합물 자체에 연관된 기술적 문제의 해결이 않았기 때문이라고 할 수 있다.

지난 십여 년간 중국 호남과 강서 등 20 여개 지역에서 실시한 사양실험들을 종합해 본 결과에 따르면, 약 6~15%의 생산량 제고 효과와 약 4~14% 정도의 사료 절감 효과가 인정되고 있다. 한편으로는 가축들의 여러 질병에 대한 저항력과 면역성을 보강해주어, 병아리나 어린 돼지 그리고 물고기의 생존율을 높여준다. 또 닭고기, 돼지고기의 단백질과 지방 함량을 높여주고 수분 함량을 낮게 하며 풍미를 개선한다.

가축 사료 경제면에서 고려해볼 때 우리 나라의 연간 배합사료 생산량은 약 1,500만 M/T, 이 중에서 4~14% 정도 절감이면 60~210만 M/T, 금액으로는 연간 약 1,500~5,250억 원의 사료비 절감 효과를 기대할 수 있는 것이다. 우리나라 배합사료 원료 대부분이 수입에 의존하고 있음을 고려할 때 국가적인 차원에서는 그만큼의 외화 절약이며, 궁극적 혜택은 축산 농가에 돌아가게 될 것이다.

본 기술개발연구 과제에서 추구하고자하는 기술적 방법은 연관 산업에 적지 않은 기여를 할 수 있을 것으로 확신한다. RE라고 하는 이 신소재 물질은 우리 농업분야에는 전혀 알려지지 않은 가운데, 공업 분야의 첨단산업 신소재 개발을 받쳐주는 기본 물질로 광범위하게 응용되고 있다. RE원소들이 생체내에서 반응하는 기능으로 보

아 어떤 형태의 제제가 되건 가축사육에 응용될 것이 확실하며, 그런 의미에서 본 연구는 사료첨가제로 RE원소를 이용하는 새로운 장을 열게 되고, 사료첨가제 산업 발전에 신선한 자극을 주게 될 것으로 본다.

RE원소는 소염·살균·진통 작용이 있는 것으로 알려지고 있다. 모든 화상 치료용 연고에 RE를 포함시키는 이유도 여기에 있는 것이다. 이런 RE의 생체내 기능은 가축사육에 널리 사용하는 항생제의 대체 가능성을 시사한다. 항생제 사용상 문제점을 재삼 거론하지 않는다 해도 연관 사료산업이나 축산농민들의 애로사항을 덜어주는 기회가 될 것이다.

가축사육에 있어 항생제 사용억제의 유일한 대안은 생균제라고 할 수 있다. 생균제 중 효모는 원래 항생제적 기능성은 없는 것이며, 결국 세균류, 주로 유산균류가 유일한 대안이라고 할 수 있다. 그러나 유산균류도 생산단계에서부터 실제로 사용될 때까지 유통과 저장 중 생명력을 유지하기 어려워 그 효능이 약화되어 효과를 보지 못하는 어려움이 있다. 회토류 광물질 중에는 세포막을 건강하게 하고 보습력이 강한 것이 있어 이를 이용해 효모나 미생물을 생산하면, 생균제 미생물의 항생제적 기능을 부여하고 생명력 유지에 획기적 기여를 할 수 있을 것이다. 따라서 본 기술개발연구는 발효산업 발전에도 적지 않은 기여를 할 수 있을 것으로 생각한다.

제 3 절 연구개발의 범위

1. 제1세부과제 : 혼합 회토(RE) 사료 첨가제 개발

- ◇ RE 원소별, 효능, 적정 첨가농도 및 안전성 구명
- ◇ 사료첨가용 복합회토 시제품 개발

2. 제2세부과제 : RE-Organic acid

- ◇ RE 원소 분석 방법 확립
- ◇ 원소의 Organic Acid chelation 방법 구명

3. 제3세부과제 : 사료작물용 회토 복합비료 개발

- ◇ 회토 주요 원소별 효능 및 적정 시용농도 구명
- ◇ 사료작물용 복합회토 개발

◇ 회토복합비료로 재배한 사료작물의 가축 급여효과

4. 제4세부과제 : 친환경용 회토 복합제 개발

◇ 회토 원소별 농약 및 질산염 강하효과와 사용농도 구명

◇ 친환경용 회토·미량원소 복합제 개발

◇ 회토 이용 농축산물 중 농약잔류량 및 질산염 강하효과 실증

◇ 가능 작물에 대한 안전성 증진을 위한 회토 시용체계 구명

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

1. 국외 기술개발 현황

희토 원소에 대한 외국의 연구 역사를 살펴보면 1788년 Karl Arreneus가 발견한 이트륨(Yttrium)을 필두로 순차적으로 각 단일 원소를 발견함과 동시에 이들에 대한 공업적, 농업적 응용연구가 수행되어 왔다. 발견 초기단계에 있어서는 17개 희토류 금속들이 화학적으로 성질이 비슷하여 자연광석 중에서 이들을 추출해내기가 어려웠던 이유로 희귀한 토양이라는 의미의 “稀土(Rare Earth, RE)”로命名되었으나 2차 세계대전 중 미국, 소련 등에서 원자탄 생산을 위한 우라늄 분리 연구와 함께 희토류 원소의 분리에 관한 연구를 시작하였다. 특히 미국의 경우 Ames and Oak Ridge Lab.에서 “Manhattan Project”를 수행하면서 이 당시에는 획기적인 “이온교환법”이라는 새로운 추출방식을 개발하여 비교적 쉽게 추출하여 신소재로 활용하기 시작했고(1947년) 이후 계속 발전하여 1966년에는 Rare-Earth Information Center at Iowa State Univ. Ames, IA, USA(RIC)가 설립되어 오늘에 이르기까지 희토류에 대한 세계적인 정보와 연구의 중심이 되고 있다. 농업에 관한 연구는 1917년 중국의 錢崇秀와 미국의 오스텐하우스(Ostenhouse)에 의해 棉花에 대한 응용을 시작으로 초기에는 주로 소련과 불가리아, 루마니아에서 시작되었고, 중기부터는 주로 중국이 주도하고 있는데 특히 중국의 경우는 정부의 과학기술 진흥사업의 일환으로 중국 농업 과학원을 주축으로 各省級 농업과학원을 네트워크로 하여 희토 원소의 농업적 이용에 대한 이론적 구명과 실증 포장시험을 동시에 실시하였다. 1981년부터 1985년까지는 “六五計劃”, 1991년부터 1995년까지는 “八五計劃”, 1997년부터 2001년도에 완료될 예정으로 추진 중인 “九五計劃”을 통해 밝혀진 내용은 주로 희토 원소에 의해 동식물체의 각종 효소 및 생리활성물질, 호르몬 등의 發現과 활성 촉진되어 양적, 질적 성장촉진을 통한 수량제고와 품질향상, 내병성 및 내환경성 증진, 농약 잔류량 및 질산염의 강하 효과가 현저한 것으로 밝혀졌다. 이는 희토 이온이 작물 및 동물체 내에 진입한 후 생물체 내의 생물효소, 호르몬 등 단백질大分子配體를 생산하는 기능에서 기인하는 것이다. 단백질과 효소는 생물체 내의 중요한 생물大分子配體로서 생명활동에 대단히 중요하다. 따라서 단백질효소 대부분자가 만일 Ca, Fe, Mg 등의 미량금속이온과 遊離되면 그 활성을 잃고 마는데 금속이온과 단백질효소분자는 일정한 화학적 고리(鍵)와 특정한 공간적 구성형태(構型)로서 일정한 결합방식을 이루고 있다. 단백질효소와 일반 생물대분자를 보존하는 결합구조가 안정적이면 그 생물은 活性을 가지는 것으로 알려져 있는데 NMR(核磁

共振法), pH電位法 등에 의한 측정결과 낮은 pH의 Amino acid에 있어서는 carboxyl group(COOH)과 회토의 電位가 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 또한 회토 이온이 Zn, Fe 이온과 함께 생물분자 생산에 있어 경쟁적 작용을 하는 것으로 알려져 있으며, Ca 이온과 함께 세포의 정상적인 기능 유지, 신호전달, 神經衝動의 傳導 등의 중요한 역할을 수행하는데 회토 이온이 칼슘 이온과 물리적 성질과 이온반경이 비슷하여 생물체 내에 진입하여 細胞壁 外側을 占據하거나 생물 대분자와 결합하거나 이미 결합된 칼슘을 代替하여 일반 생물체의 기능에 크게 영향을 미치는 것이다. 그래서 학계에서는 회토 이온을 “Super Calcium”이라고 칭하고 있다. 또한 칼슘이 과도할 경우 회토이온이 세포벽 윗부분에서 칼슘부분을 점거하여 과도한 칼슘의 排斥과 칼슘의 세포벽에서의 과도한 결합을 방지한다. 따라서 회토 이온이 동식물 세포막의 투과성과 안정성을 유지하여 내병성과 내환경성을 증가시키는 것이다. 또한 細胞內의 多技能 Ca 受用體인 calmodium(CaM)의 생성과 역할에 회토이온의 영향이 대단히 큰 것으로 밝혀졌는데 1984년 Wallace에 의한 棉花작물에 있어서 Tb원소와 calmodium과의 연관성 연구를 시작으로 동물체에 대해서 심도 있게 진행되고 있는데 최근에 들어 災害性 生理發現物質의 활용방안으로서 재해방어 2차 대사산물인 polyamine과 더불어 재해 방어 저항성 기작 유도체로서 calmodium을 활용하려는 연구가 분자세포학의 분야에서 새롭게 시도되고 있다. 이는 calmodium 이성체에 의한 耐災害性 강화를 근간으로 하고 있다. 이러한 회토의 효능을 이용한 동식물용 복합비료 및 농약 혼용비료의 개발, 機能性 物質로서 회토원소의 인체 내 작용기작 연구와 각종 질병억제 및 치료에 관한 의학적 임상시험을 주 내용으로 하여 본격적 응용연구와 상품화에 박차를 가하고 있다. 한편 회토 원소의 질산염 강하효과에 대해 살펴보면 본래 질산염이 인체에 미치는 해는 적으나 일단 亞窒酸으로 환원된 후에는 잠재적 위해성이 큰데 특별히 일정조건 하에서 발생하는 N-亞窒基化合物이 가장 강력한 발암물질이며 이미 증명되었듯이 100여종 중 80여 종이 발암작용을 하며 특히 幼兒의 청색증을 치명적으로 유도하는 것으로 밝혀졌다. 작물과 같은 고등식물의 질소 흡수는 뿌리에 의해 토양으로부터 흡수하여 흡수된 질산염의 일부는 뿌리부분에서 환원되고 대부분은 신속히 지상부인 줄기와 잎 부위로 전이된다. 식물체 내의 질소동화작용은 대부분 잎 부분에서 진행되는데 질산염은 질산환원효소의 작용을 거쳐 최후에는 암모니아로 환원되고 그 후에는 암모니아태질소나 단백질로 환원된다. 회토 원소는 여러 경로를 통해 식물의 신진대사 촉진, 생리활성 증강, 세포분열의 加速, 엽록소함량의 제고, 단백질 합성과 여러 종류의 효소의 발현 및 작용을 가속화하는데 특히 회토 원소는 질산환원효소의 활성화에 중요한 작용을 하는 것으로 밝혀졌다. 중국 內蒙古 稀土研究院의 시험결과에 의하면 오이의 경우 7.0%, 배추의 경우 13.3-40.3%까지 질산염과 아질산염이 감소했다고 했다. 농약의 경우도 결국 식물체의 강건성 즉, 성장환경과 생리

활성 정도가 농약 잔류량에 있어서 중요한 인자가 된다. 중국 호남성농업과학원에서 실시한 회토 원소를 시용한 작물 내 농약잔류량 강하시험을 보면 회토 적용농도가 높을수록, 시용 횟수가 많을수록 벼의 경우 20.89%, 고추는 22.86% 까지 농약 잔류량이 감소했다고 한다.

2. 국내 기술개발 현황

우리나라의 회토 원소는 주로 하천 鑛床으로 산재해 있기 때문에 경제적 가치가 없는 것으로 판명되었다. 최근 홍천 지구에 회토류 자원의 부존 가능성을 말하는 전문가가 있었으나 아직 정밀한 조사가 이루어지지 않은 상태이다. 국내에서의 연구는 1970년대에 회토류 금속의 분리·정제에 대한 연구를 국가지원 하에 출연연구소에서 수행한 바 있으나 3~5년 동안 한정된 연구에 그쳤고, 기업연구소에서도 1980년대에 산발적으로 소규모 수준의 연구를 수행한 바 있으나 모두 중단하고 말았다. 현재 우리나라에서 회토류 연구에 종사하고 있는 기관은 1972년에 개설되어 현재까지 운영되고 있는 한국과학기술원(KIST)의 한·중 신소재협력연구센터가 유일한 회토 관련 연구기관인데 이 센터의 주된 임무는 산업용 회토 원소의 활용방안의 모색에 한정되고 있다. 이밖에 삼성전자, LG전자, 현대자동차 등의 대기업에서 자사 제품에 소요되는 반도체, 진공관, 영구자석, 도자기 등에 활용하기 위한 산발적 연구가 수행되고 있으나 회토 원료의 대부분을 高純度원료와 半加工品 형태로 일본과 중국에서 도입하고 있는 실정이다. 한편, 농업용 회토의 연구에 있어서는 정읍시 농업기술센터에서 중국 호남성농업과학원과 협력연구의 일환으로 한국과 중국 호남성에서 고추 등 5개 작물과 양돈을 대상으로 同時試驗을 실시한 결과를 토대로 하여 1996년 11월에 제1차 한·중 공동세미나를 시작으로, 1997년에는 제2차 세미나를 개최하였다. 2000년 11월에는 전북대학교 농업과학기술연구소에서 중국 호남성농업과학원 농용회토연구소와 국제 세미나를 개최한 바 있으나 이들 세미나의 주 내용이 실증포장시험의 결과에 대한 소개와 효과에 국한되어 회토 원소의 적용에 따른 植物生理學的, 動物營養學的, 動物 및 植物病理學的 이론적 접근과 實相의 探索이 생략되어 있어 이에 대한 추가적 연구가 시도되어야 할 것으로 사료된다.

국내에서 가축사육을 위한 RE 이용 연구는 전혀 이루어진 바 없다. 학술논문이나 축산관계 잡지 어느 한 곳에도 언급된 바 없으며, □□회토(稀土, RE)□□라고 하는 용어 자체가 새로울 뿐이다. 다만, 문헌정보 수집을 통해 가축 생산에 있어 RE의 이용 가능성을 확신하게 된 본인은 지난 2000년 여름, 회토의 농업적 응용연구로 유

명한 중국의 호남성농업과학원 회토연구소를 시찰하였고, 이어서 지난 2000년 11월 15일에는 그 곳 연구진 3 명을 초빙하여 앞에서 언급한 RE의 농업적 이용에 대한 국제 심포지엄을 개최하였던 정도가 전부라고 할 수 있다.

RE의 농업적 이용 특히, 가축생산을 위한 개발연구는 세계에서 유일하게 중국에서 시작되었으며, 현재에도 활발하게 진행되고 있다. 중국은 1970 연대에 들어서면서부터 본격적으로 농작물, 임업, 목초 및 가금, 수산양식 등에 대한 연구와 응용을 시작하였는데, 모두가 일련의 국가적 차원의 프로젝트로 진행되었다. 1965년에 시작된 “六五計劃”을 통해 RE의 농업적 이용 가능성이 검토되었고, 이어지는 “七五計劃”을 통해 삼림, 초지, 목축 및 수산양식에 대하여, 그리고 “八五計劃”을 통해 대표적인 RE 제품, RE탄산암모늄 복합비료 개발과 같은 식물농업분야에 대한 기술발전이 주로 이루어졌다. 현재 진행되어지고 있는 “九五計劃”은 RE 원소의 의학적 이용을 위한 임상 및 제약 분야 연구에 집중되고 있다. 그동안 중국에서 거두어들이는 농업 분야의 RE에 대한 연구 성과로는, 식물의 엽록소 형성과 광합성 촉진 작용, 동물에 있어 내분비와 면역계를 통한 성장촉진과 면역작용, Free radical 억제에 의한 항산화제적 작용 등을 들 수 있으며, 동물산업 분야에 있어 RE 이용효과는 다음과 같이 요약할 수 있을 것이다.

양돈 : 증체량 6~15% 증가, 사료이용률 4~10% 향상, 돼지 사육기간 4~15일 단축, 돈육 품질개선(단백질 증가, 수분 감소, 정육율 제고, 풍미 개선)
육계 : 증체율 6~10% 향상, 육계 생존율 4~5% 향상, 계육 단백질 함량 증가
산란계 : 산란율은 4~8% 증가, 생존율 4~10% 향상
산란오리 : 산란율 6~9% 증가, 체중 6~10% 증가, 사료효율은 6~15% 향상
비육우 : 생산량 5~10% 증가, 출하일령 10~20일 단축
물고기 : 생산량 8.4~27.2% 증가, 물고기 생존율 5.1~8.5% 향상, 사료효율 3.1~15.5% 개선, 어육 품질 개선(단백질과 지방함량 증가, 수분함량 감소), 살균방역효과 (물고기의 3대 질병예방: 세균성 적피, 장염, 아가미 부식병), 물고기 생존율 향상

가축 생산에 사용하기 적합한 RE의 화학적 형태로는 유기산 또는 무기태 회토가 있다. 유기산 회토로는 RE-citric acid, RE-amino acid 등이 있고, 무기태 회토로는 금속회토, 염화회토, 질산회토, 산화회토 등이 있다. 그리고 형태별로 보면 이온형

희토와 금속형 희토가 있다. 유기산 희토는 생장촉진과 소염효과에서는 무기산희토보다 우수하나 희토 이외의 성분 함량이 높고 희토 함량은 적어 효과가 느린 것으로 발표되고 있다. 반면에 무기태 희토는 생장촉진과 소염효과가 유기산 희토에 비해 떨어지나 효능이 빠르게 나타나고 희토 성분이 적게 요구된다고 한다. 현재 중국에서는 양축 및 양어용 희토 첨가제가 실제로 응용되기 시작하였는데, 유기산과 무기태 희토를 배합한 것으로 종합 효력을 극대화시킨 것이라고 주장하나 극히 초보적 형태라고 할 수 있다. 표출되는 효과의 극대화와 균일성을 위해 앞으로의 개발 노력이 매우 중요하다고 하겠다.

양식업에 적합한 RE 첨가 농도는 산화물(REO)로 계산하여 사료 건물 kg당 30~50mg 정도라고 한다. 양돈의 경우 자돈에서 육성돈 단계는 사료에 400mg/kg의 희토가 적합하고 육성돈 및 비육돈 단계에서는 20mg/kg 정도가 적합하며, 이는 동물이 클수록 채식량이 많기 때문에 희토 첨가 농도가 낮아져야 하기 때문이라고 한다. 병아리와 산란계 사료에 적합한 희토 농도는 50mg/kg 정도이며, 육계사료에 적합한 희토 농도는 30mg/kg 정도라고 한다. 과도하게 높은 RE농도는 동물 생장을 오히려 억제할 수 있기 때문에 사료에 첨가하는 RE 농도는 200mg/kg을 넘지 않아야 한다고 한다. 그러나 이렇게 중국에서 연구 발표한 적정 RE 급여 수준은, RE원소 종류나 화학적 형태에 따른 생체반응의 변이를 고려하지 않은, 아직 미완성 단계의 RE 사료첨가제 개발 상황을 바탕으로 한 것이기 때문에 이에 대한 기술적 검토 또한 이루어져야 할 것으로 생각된다.

3. 앞으로의 전망

RE원소의 체내 작용기전에 대한 이제까지의 기초연구를 살펴보면 여러 가지 중요한 사실들을 감지할 수 있다. 우선, 희토의 □□초급(超級) 칼슘작용□□을 들 수 있다. 생물체 내에서 칼슘이온은 세포의 정상적 기능을 유지하며 근육수축, 정보전달, 신경자극 전도 및 골수 형성 등에 중요한 역할을 한다. RE원소는 화학적 성질과 작용반경이 칼슘 입자와 비슷하여 칼슘의 위치를 차지할 수 있고 이미 결합된 Ca^{+2} 이온도 대체할 수 있다. 이렇게 되면 희토 원소는 일반적으로 3가 이온(+3)이기 때문에 칼슘 입자(+2)보다 입자 영향력이 커서 체내 칼슘 작용을 크게 강화시켜 준다. 이에 희토 입자를 초급 칼슘이라 부르기도 하는 것이다.

다음으로 RE 입자는 세포내 인지방이나 펩타이드의 hydroxyl基와 친화력이 강하여 세포막과 원형질막을 안정화시키는 역할을 한다는 사항인데, 이는 여러 면에서 지극히 중요한 작용으로 RE원소는 세포를 건강하게 유지함은 물론, 새 육아조직의

생장과 상피조직의 대사를 촉진하는 역할을 한다는 것이다. 적당량의 RE는 세균의 성장을 억제하고 세균에 의한 염증 확산을 방지한다. 이러한 회토의 소염, 살균 작용은 자돈 장염 방지, 병아리 설사 방지, 그리고 물고기의 장염이나 폐사를 방지하는 등 실제 산업에 널리 응용되어질 수 있는 많은 잠재력을 가지고 있다고 할 수 있다. 모두가 RE의 응용연구 개발을 생각해 보게 하는 형질이라 할 수 있다.

RE의 생체내 작용기전에 대하여 최근 북경 生職業病防治研究所의 紀云晶와 栗建林(2000)이 종합적으로 보고한 바에 따르면, RE의 농작물 생산성 증진 작용으로 고등식물의 엽록소형성 및 광합성작용 촉진, 식물 지상부의 상류 전이작용 촉진, 잎의 노화 지연, 저등 녹조류의 단백질합성 촉진, 그리고 가축 생산성을 증진과 연관된 작용으로 질병에 대한 저항성 제고와 내분비계 작용 (GH와 insulin 분비 촉진 및 T4 분비 억제) 등을 요약하고 있다. 이 밖에 의약분야에서 항암, 항돌연변이 작용, 세포막 강화작용 (Ca 기능강화에 의한 세포괴사, 항응혈 및 근육이완 방지, 신경세포 정보전달작용), 면역계 작용 (항체생산 촉진), Free radical 생성 및 활동 억제 (항 산화제적 작용) 등을 들고 있다.

아직 완벽하게 밝혀진 것은 아니지만, 이제까지 연구 보고 되어진 RE원소의 생체내 작용 사실들만 미루어 보아도 RE는 동물의 체내에서 많은 유익한 작용을 할 것이 확실해 보인다. 공업 분야에서는 이미 많은 응용이 이루어지고 있고, 회토를 열만큼 산업에 이용하고 있느냐 하는 것이 첨단산업 선진국의 기준이 될 정도이다. 농업분야의 RE 응용연구는 유일하게 중국에서만 진행되어오기도 하였지만, 가축 사육을 위한 RE의 개발은 동물에 대한 연구 어려움 때문에 시작도 늦게 되었고 진척도 늦어, 현재는 아주 초보적 응용 시도 단계에 와 있다고 할 수 있다. 그러나 앞에서 언급되어진 것처럼 RE의 가축 생산성 촉진 효과가 분명하고 폭이 매우 클 수 있는 만큼, RE의 사료첨가제 연구와 개발은 앞으로 더욱 상당한 폭발력을 갖고 진행될 것으로 생각한다. 개발 방향은 본 기술개발연구 계획에서 전개하고 있는 바와 유사하게 진행되지 않을까 생각한다.

금후 농작물의 재배 및 가축 사양에 있어서 회토 원소의 적용 연구의 방향은 기술적 측면과 경제적 측면에서 크게 세 가지로 요약될 수 있을 것이다. 첫째, 친환경 농업의 차원에서 수확 농산물 중 농약 잔류량과 질산염을 강하시키는 기능으로서 각종 微量元素와 稀土元素를 복합적으로 결합하여 적용하는 “稀土 微量元素 複合肥料”의 개발이 더욱 가속화되면서 고급화될 것이다. 또한 작물의 耐環境性, 耐病性을 증진시켜 농약 및 비료의 사용을 절감할 수 있는 생장촉진 및 각종 酵素活性劑로서 특수목적의 더욱 정밀한 형태의 補助肥料로 개발될 것이다. 둘째, 친환경적

家畜飼養 및 축산물 생산의 측면에서 耐病性和 耐環境的 要素로 작용할 수 있는 희토 원소의 각종 有用 酵素活性劑로서의 활용이다. 이 역시 각종 다른 천연광물 원소와의 복합적 적용을 통해 가축의 양적·질적 성장촉진과 사료효율의 증진에 대한 相乘的 효과와 더불어 생산된 축산물 내의 각종 有用 營養素의 涵養 및 筋內 脂肪含量的 증가와 不飽和 脂肪酸의 함량 提高 등 肉質向上을 위한 다양한 종류의 “畜産專用 稀土 複合飼料 添加劑”가 개발될 전망이다. 셋째, 인체에 유익하고 각종 병에 대한 기능성을 보유하고 있는 單一 稀土元素의 무한한 활용이다. 이미 중국의 경우는 肺癌과 위궤양, 甲狀腺 疾患의 예방과 치료에 선택적으로 작용하는 단일 희토원소(La, Ce, Sm 등)의 구멍과 임상실험을 수행하고 있으며 제품개발의 단계까지 접근하고 있는 것으로 파악되고 있다.

제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 세부과제 1 : 혼합 희토(RE) 사료 첨가제 개발

1. 주요 RE 원소별, 급여효과, 적정 첨가농도 및 안전성 연구

가. 연구 목적

희토를 동물에게 급여할 때, 어떠한 반응을 나타낼 것인지 알아보기 위하여, 쥐를 이용하여 몇 가지 주요 희토 원소 종류 및 급여수준에 대한 일련의 예비실험을 실시하였다.

나. 실험1: 개별 주요 희토 원소에 대한 예비시험

1) 실험 방법 및 재료

생후 약 4주령 되는 Sprague Dawley Rat 수컷 60 마리를 4개 희토원소 (LaCl_3 , CeCl_3 , PrCl_3 , NdCl_3)를 각 5개 수준(0, 125, 250, 500, 750ppm)에 각각 3마리 씩 배치하여 3 개월간 사육하였다. 사료는 가루로 된 시판 육계사료를 이용하였으며, 분말 상태의 희토 원소들은 소형 배합기를 이용하여 골고루 섞이도록 하였다.

2) 결과 및 고찰

주요 희토원소별 쥐에 대한 개별적 사료첨가 효과에 대한 예비실험 결과는 아래 그림1-1에서 보여주는 것과 같았다. 대체로 250ppm 전후로 하여 체중 증가 반응이 대조구와 차이가 나타나며, 원소의 종류에 따른 반응은 크게 없는 것 같았다. 이런 점으로 미루어 볼 때 몇 가지 개별 희토원소가 혼합된 복합 희토를 급여하여도 각 개별 원소를 급여한 것과 큰 차이 없이 유사한 반응을 보여줄 것 같다.

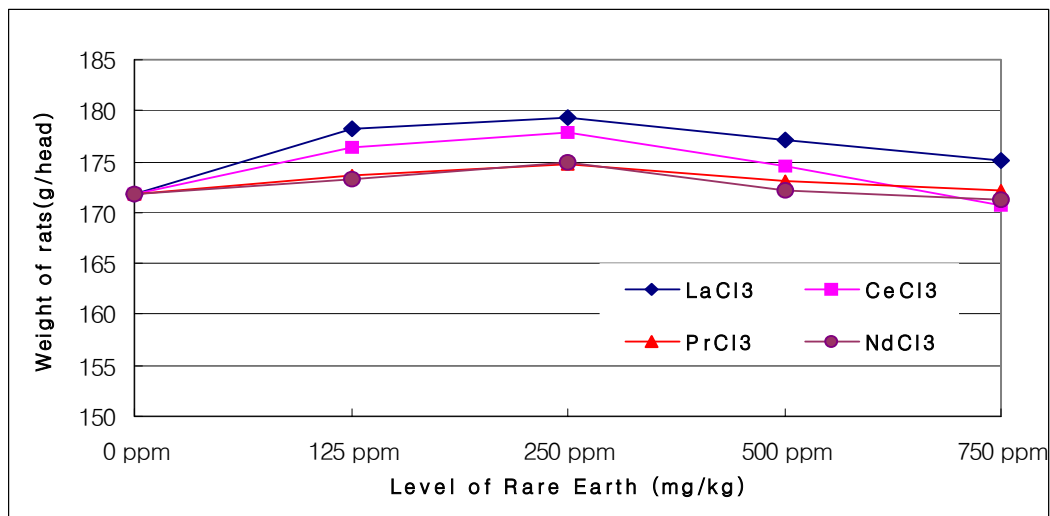


Fig. 1-1. Effect of feeding different levels of rare earth elements on growth of rats.

다. 실험2: 복합희토의 적정 수준에 대한 예비시험

1) 실험 방법 및 재료

생후 약 4주령 되는 Sprague Dawley Rat 수컷 40 마리와 암컷 40마리를 이용하여 5개 수준(0, 2, 20, 200, 2000ppm)에 각각 4반복 2마리 씩 배치하여 6개월간 사육하였다. 사료는 실험1과 같이 가루로 된 시판 육계사료를 이용하였으며, 분말 상태의 각 희토 원소들은 소형 배합기를 이용하여 골고루 섞이도록 하였다.

2) 결과 및 고찰

아래 그림1-2는 시험기간 6개월 동안의 숫쥐(♂)와 암쥐(♀)의 체중변화를 보여주고 있다. 암수 모두 RE 첨가에 대한 반응을 보였으나, 숫쥐에서는 첨가 수준이 가장 높았던 2000ppm을 제외하고 모두 성장촉진 효과를 보였고 가장 낮은 수준인 2ppm에서 가장 높은 효과를 나타낸 반면, 암쥐의 경우에는 20ppm에서만 성장촉진 효과를 나타내는 차이점을 보였다. RE 첨가 수준이 가장 높았던 2000ppm은 시험동물들의 후반부 증체가 다소 낮아지는 현상이 암수에서 공히 나타나, RE 첨가가 과도하면 동물들의 체중증가가 감소할 수 있으며, 너무 낮아도 증체효과가 없음을 보여주었다. 그러나 시험동물들의 상태나 활력으로 보아 생명에 이들의 건강을 저해하지는 않는 것으로 판단되었다.

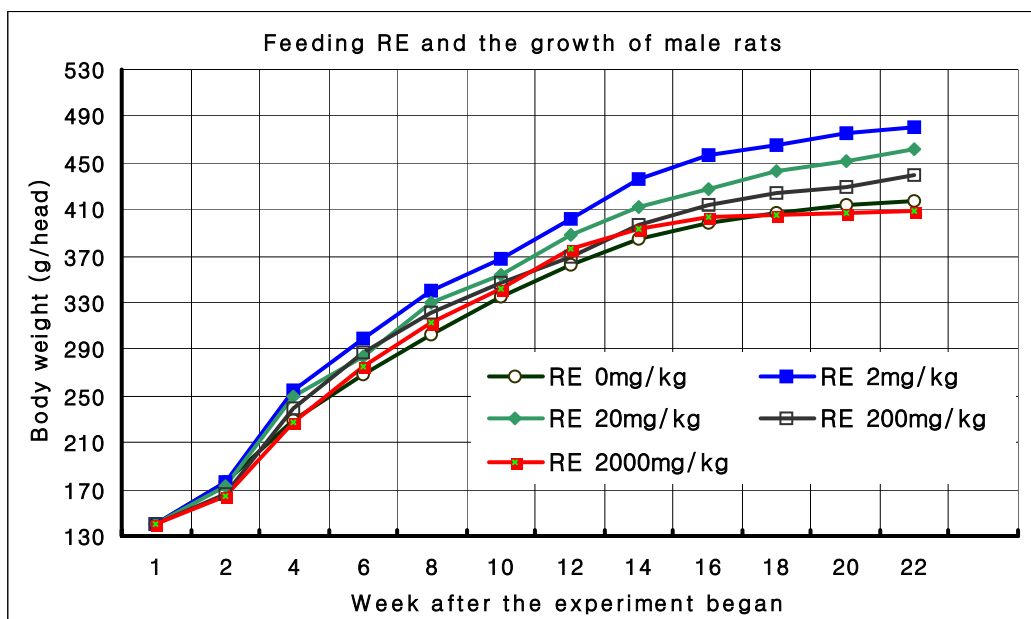


Fig.1-2-1. The growth of male rats as affected by feeding different levels of rare earth.

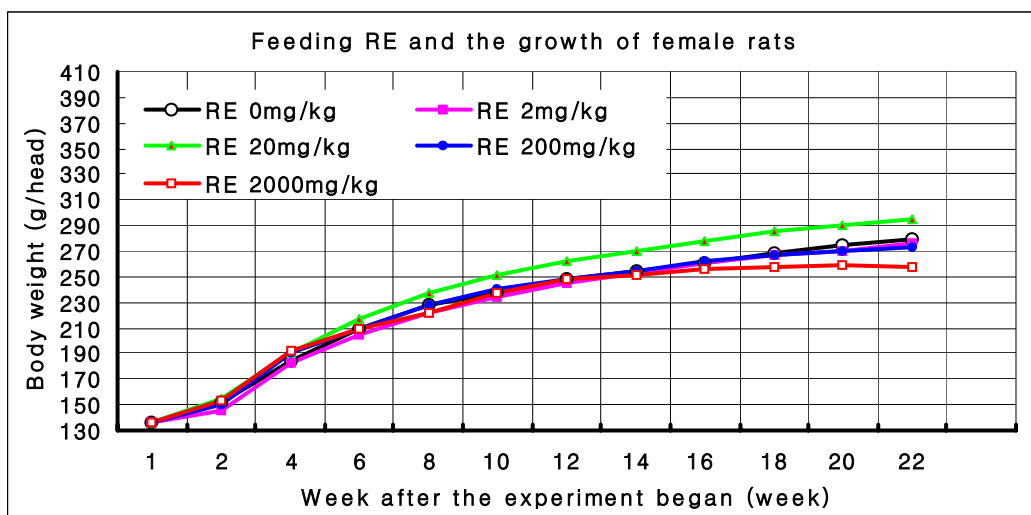


Fig.1-2-2. The growth of female rats as affected by feeding different levels of rare earth.

라. 실험3: 복합희토에 대한 안전성시험(1차)

1) 실험 방법 및 재료

생후 약 3주령 되는 Sprague Dawley Rat 암컷 30마리를 이용하여 5개 수준 (0, 500, 1000, 2000, 5000ppm)에 각각 3반복 2마리 씩 배치하여 191일간 사육하였다. 사료는 실험1과 같이 가루로 된 시판 육계사료를 이용하였으며, 분말 상태의 각 희토 원소들은 소형 배합기를 이용하여 골고루 섞이도록 하였다.

2) 결과 및 고찰

희토의 과다 급여에 따른 동물(쥐)의 반응을 알아보기 위하여 Sprague Dawley Rat를 이용하여 성장이 완료된 후 상당시간이 지난 때까지 6개월 이상 실시한 시험결과, 증체량 및 폐사는 표1-1과 같다. 본 실험에서 Sprague Dawley Rat 96수를 이용하여 191일간 사육한 결과, 숫쥐와 암쥐 공히 RE첨가에 의한 특별한 성장 억제나 폐사는 없었다. 희토의 사료첨가 수준이 지극히 높은 2,000ppm, 심지어 5,000ppm에 이르기까지 아무런 유해 증상이 나타나지 않아 기대하였던 치사수준이 관찰 되지 않았다. 이는 시험에 사용한 희토가 생리적으로 매우 안전한 물질이며 과다 급여하여도 가축이나 기타 동물에게 크게 해로운 영향을 미치지 않는다는 결론을 얻을 수 있다. 특히 아래 사진에서 보여주는 바와 같이 육안으로 관찰한 쥐 내장 기관들은 아무 이상 징후가 없었다.

Table 1-1. Effect of feeding different levels of rare earth on the growth of rats.

Treatment RE, ppm	증체량(g/rat)		각 6마리 중 폐사수	
	Male	Female	Male	Female
0	520.1	245.5	0	3
500	454.8	249.6	0	1
1000	466.3	242.1	1	1
2000	430.5	236.8	0	1
5000	479.0	268.7	2	0

마. 실험4: 복합희토에 대한 안전성시험(2차)

1) 실험 방법 및 재료

생후 약 10주령 되는 Sprague Dawley Rat 수컷 40마리와 암컷 40마리를 이용하여 5개 수준(0, 125, 250, 500, 5000ppm)에 암수 각각 4반복 2마리 씩 배치하여 119일간 사육하였다. 사료는 실험1과 같이 가루로 된 시판 육계사료를 이용하였으며, 분말 상태의 각 희토 원소들은 소형 배합기를 이용하여 골고루 섞이도록 하였다.

2) 결과 및 고찰

쥐에 대한 희토 급여효과 및 과다투여에 대한 반응을 알아보기 위해 실시한 119일 간의 시험결과 쥐의 성장과 사료 이용률에 대한 성적이 아래 표1-2와 그림 1-3에 제시되어 있다. 왕성한 성장기가 지난 이후 시험에 사용한 쥐들의 성장은 희토의 첨가와 첨가수준에 상관없이 유사한 성장을 지속하였다. 다만, 쥐들의 성장이 완료되어 감에 따라(시험 13주 이후) 대조구에서 오히려 성장 둔화가 더 빨리 오는 경향을 관찰할 수 있었다. 120일 동안 지속된 본 시험 중에는 대조구를 포함하여 한 마리의 쥐도 폐사가 없었다. 희토의 사료첨가 농도가 매우 높은 500ppm, 그리고 지극히 높은 5000ppm 수준에서도 쥐들의 폐사가 하나도 없었음은 물론 성장 위축 현상도 전혀 나타나지 않았다. 아래 사진에서 보여주는 바와 같이 쥐들의 재장 장기를 관찰한 바, 희토를 급여하지 않은 대조구와 아무런 차이도 발견할 수 없었다.

Table 1-2. Body weight gain(g/head) and feed conversion ratio by rats as affected by feeding rare earth.

Treatment RE, ppm	증체량(g/rat)		FCR	
	Male	Female	Male	Female
0	216.9	79.9	24.0	49.6
125	229.9	81.3	23.7	51.9
250	217.4	74.9	24.2	55.9
500	199.0	67.1	27.9	64.8
5000	223.7	72.0	28.0	63.4



Fig 1-3. The appearance of internal organs of rats fed different levels of RE.

2. La^{3+} 가 *E. coli* 와 *Salmonella*의 성장과 증식에 미치는 영향

가. 실험 1: La^{3+} 가 *E. coli*의 성장과 증식에 미치는 영향

회토가 병원성 세균의 증식과 성장에 어떻게 작용하는지 알아보기 위하여 생물학적 효능을 지니는 회토류 원소 중에서 대표적인 La^{3+} 을 이용하여 *E. coli* 와 *Salmonella*에 대한 배양 시험을 실시하였다.

1) 실험 방법 및 재료

동결건조 된 *Escherichia coli* KCTC2618과 *Salmonella choleraesuis subsp. choleraesuis* KCTC2932 균주를 Nutrient Broth(Difco)와 Nutrient Agar배지를 사용하여 액체, 고체 증식을 동시에 진행하였다.

첫 실험에서는 Cornical tube에 Nutrient Broth(Difco)로 액체배양배지를 20ml씩 만들고 50%의 LaCl_3 용액(PH 6.9)을 실험처리 별로 첨가하였다. 증식시킨 *E. coli*를 1ml 취하여 각 Cornical tube에 접종한 후, 37℃의 진탕배양기 속에서 150rpm으로 배양시켰다. 시간 별 억제능력을 확인하기 위하여 4, 8, 12, 19(24)시간 별로 각 Cornical tube에서 0.1ml씩 취하여 생리식염수로 적당한 수준까지 희석한 후, Tryptone (Difco); Sodium(Sigma)에 Agar를 첨가하여 만든 고체배지에 도포하여 37℃의 incubator에서 24시간 배양한 뒤 자란 균수를 측정하였다. 두, 세 번째 실험에서는 *E. coli*는 Tryptone (Difco); Sodium (Sigma); *Salmonella*는 Selenite Broth (Difco)로 액체배양배지를 20ml씩 만들어 50%의 LaCl_3 용액을 처리 별로 첨가하였고, 기타 실험절차는 첫 실험과 같은 방법으로 진행하였다. 두, 세 번째 실험에서는 *E. coli*, *Salmonella* 액체배양 시간을 모두 24시간으로 정하였고, *Salmonella*는 Bismuth Sulfite Agar (Difco)에서 37℃로 24시간 배양 후 균수를 측정하였다. 처음 Cornical tube에 균을 접종한 후, 바로 0.1ml을 취해 희석하고 Tryptone (Difco), Sodium (Sigma)+Agar; Bismuth Sulfite Agar (Difco)에서 37℃로 24시간 배양 후 균수를 측정하여 처음 0시간의 균수 기준으로 삼았다.

2) 결과 및 고찰

Fig. 1-4, 1-5는 La^{3+} 가 *E. coli*에 미치는 영향에 대한 2차례의 실험결과를 보여주고 있다. Nutrient broth에서 배양한 Fig. 1-4의 결과를 보면, 50ppm 수준에서는 대조구와 유사한 *E. coli* 성장패턴을 보여 *E. coli* 성장억제작용이 없었던 것으로 보인다. 그러나 100ppm의 수준부터는 La^{3+} 의 농도와 비례하여 *E. coli* 성장이 억제되는 강도가 높아졌으며, 1000ppm 수준에서는 강력한 *E. coli* 성장억제효과를 나타내어 배양 19시간 이후에는 *E. coli*균이 검출되지 않았다. 한편 La^{3+} 5000ppm 수준에서는 배양 12시간 이후에 이미 *E. coli*균이 검출되지 않았다.

Fig. 1-5는 Tryptone과 Sodium 용액에서 *E. coli*를 배양한 결과를 보여주고 있다. 대체로 Nutrient broth에서 배양한 Fig. 1의 La^{3+} 에 의한 *E. coli*의 성장효과와 유사하게 나타났다. 50ppm의 수준에서는 배양시간이 진행됨에 따라 대조구와 유사한 *E. coli* 성장을 보여 La^{3+} 의 효과가 나타나지 않았으며, 100ppm 수준부터는 역시 La^{3+} 의 농도와 비례하여 *E. coli* 성장을 억제하는 효과가 나타났다. La^{3+} 800ppm~1000ppm 수준에서는 배양시간이 경과함에 따라 억제작용이 특히 현저하였으며, 24시간 배양경과 후에는 *E. coli* 성장이 정지되었다.

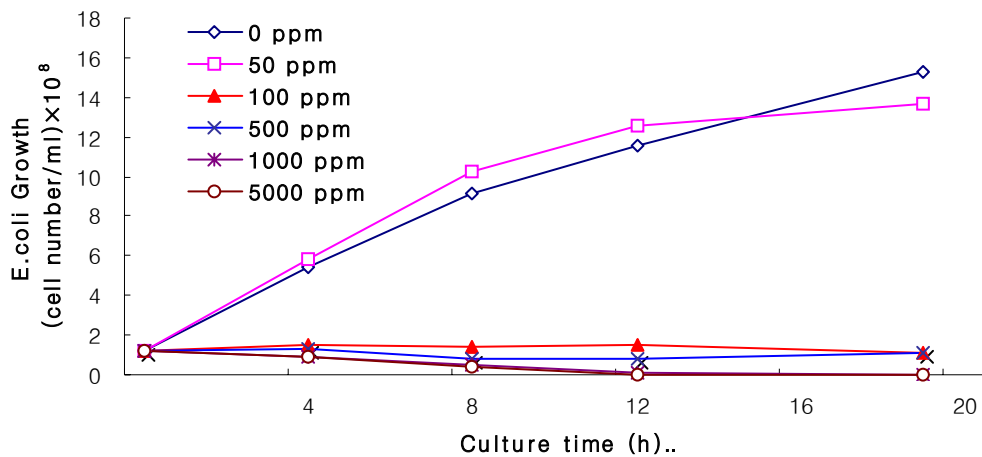


Fig 1-4. Growth of *E. coli* in the Nutrient broth as affected by La^{3+}

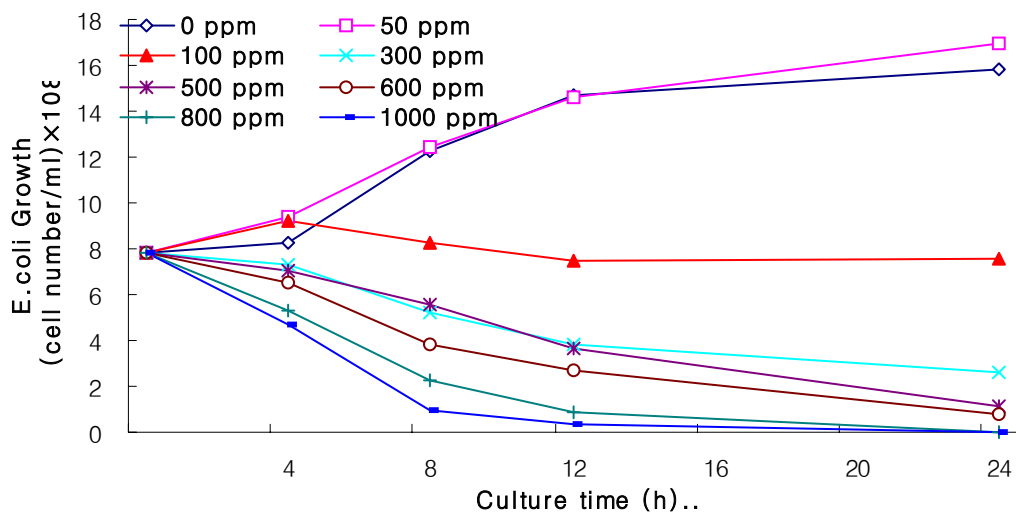


Fig 1-5. Growth of *E. coli* in Tryptone+Sodium as affected by La^{3+}

나. 실험 2: La^{3+} 가 *Salmonella*의 성장과 증식에 미치는 영향

1) 실험 방법 및 재료

실험 1과 동일한 방법으로 시행하였다.

2) 결과 및 고찰

Fig 1-6, 1-7은 La^{3+} 가 *Salmonella*에 미치는 영향에 대한 2차례의 실험결과를 보여주고 있다. Fig. 3에서 La^{3+} 의 농도가 높아짐에 따라 *Salmonella*의 증식억제 현상이 나타났는데, 대체로 *E. coli* 때와 유사하였으나 증식억제 강도는 낮았다. La^{3+} 50ppm 농도에서는 대조구와 비슷한 *Salmonella*의 증식을 보여 억제효과가 없는 것으로 나타났으며, 100ppm 농도에서는 8시간까지 균수가 약간 증가되는 추세를 보이다가 그 이후로는 더 이상 증식하지 않았고, 300ppm과 500ppm 수준에서는 균의 증식이 진행되지 않고, 처음 수준에서의 균수가 그대로 유지되었다. 600ppm 이상의 농도에서는 처음의 균수에서 시간이 지나감에 따라 균수가 감소하는 현상을 보여 증식억제효과를 나타냈는데 *E. coli* 에서보다는 그 억제작용이 뚜렷하지 않았으며 24시간이 경과한 후에도 *Salmonella* 균이 검출되어 이의 살균효과는 나타나지 않았다.

*Salmonella*의 두 번째 실험은 *E. coli* 세 번째 실험목적과 같이 가축에게 급여하는 수준을 고려하여 La^{3+} 의 농도가 비교적 낮은 수준에서 실험을 진행하였고, Fig. 4에서 그 결과를 보여주고 있다. La^{3+} 50ppm 농도에서는 첫 실험결과와 같이 대조구보다는 약간의 *Salmonella* 증식억제작용이 보였지만, 배양시간이 경과함에 따라 대조구와 유사하게 증식하는 추세를 보였다. 100ppm 이상의 농도에서는 모두 배양 12시간까지 대조구에 비해 *Salmonella*의 증식억제효과가 뚜렷하여, 배양시작 때의 균수에 비해 별 증가를 보이지 못하였으며, 대조구에 비해 상당히 낮은 균수를 나타냈었다. 배양 24시간 때 측정한 균수는 모두 대조구보다 크게 낮은 수준을 유지되기는 하였으나 그 이전 시간 때보다 약간 증가한 모습을 보였다. 이 현상은 *Salmonella*가 La^{3+} 에 적응하는 능력이 생겨난 때문인지, 또 다른 어떤 이유에서인지는 알 수 없었다. 이상 *Salmonella*에 대한 두 실험을 종합하여 볼 때, 50ppm 수준 이상의 La^{3+} 는 *Salmonella*에 대하여 일정한 증식억제작용을 하지만 그 효과가 *E. coli*보다는 뚜렷하지 못하다는 결론을 얻을 수 있다. 그러나 *Salmonella*에서도 La^{3+} 의 처리수준이 높아짐에 따라 점점 더 강하게 균의 증식을 억제하는 경향을 나타내었다.

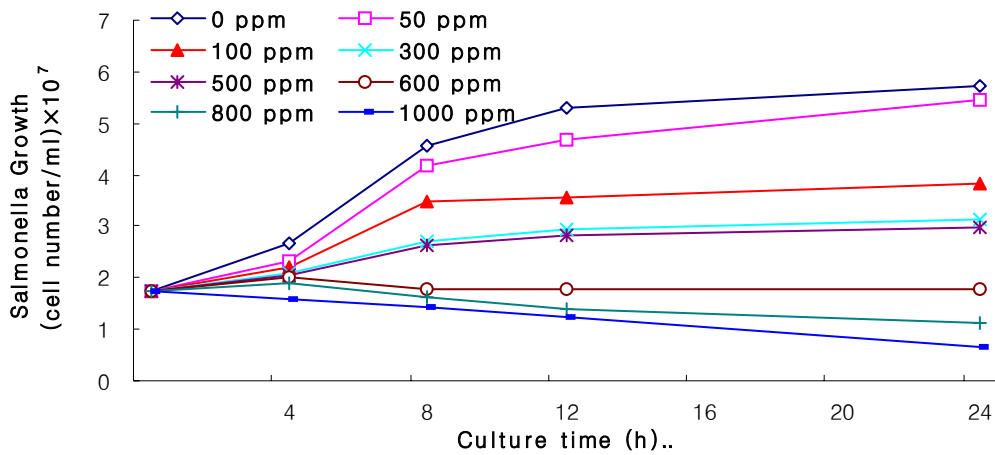


Fig 1-6. Growth of Salmonella in Selenite broth as affected by La^{3+}

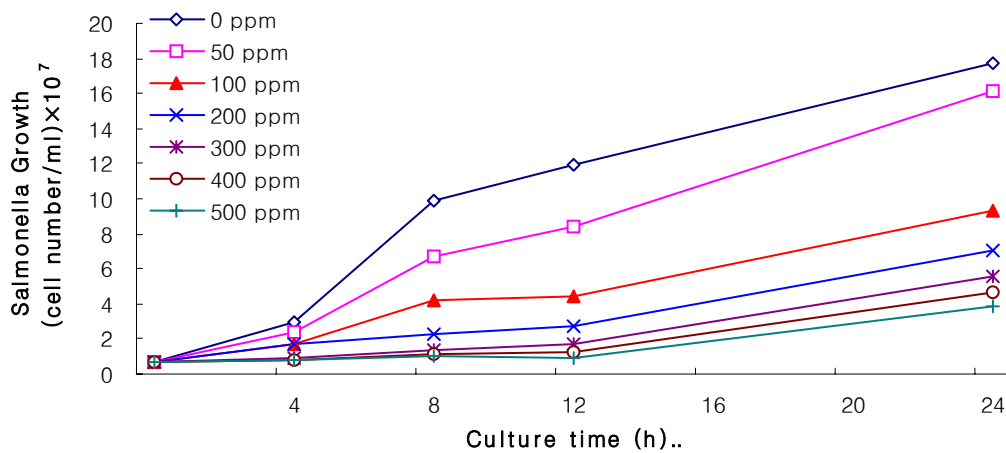


Fig 1-7. Growth of Salmonella in Selenite broth as affected by La^{3+}

이상 *E. coli*와 *Salmonella*에 대한 La^{3+} 의 성장억제 능력을 검사하는 in vitro 실험 결과를 종합하여 다음과 같이 요약할 수 있다.

가) La^{3+} 는 *E. coli* 와 *Salmonella*에 대하여 성장과 증식억제 능력을 지니고 있으며, 이 억제효과는 La^{3+} 의 농도가 높아짐에 따라 크게 나타난다.

나) *E. coli*에 대하여 La^{3+} 50ppm 수준에서는 별 반응을 나타나지 않았으며, 100ppm 수준에서는 증식을 멈추게 하였고, 그 이상 특히, 200ppm부터는 *E. coli*의 숫자가 감소하여 살균효과가 있음을 시사하였다.

다) *Salmonella*에 대해서도 La^{3+} 는 일정한 증식억제 작용을 나타내었지만, 그 효과는 *E.coli*에 대한 것 보다는 뚜렷하지 못하였다.

라) *Salmonella*에 대해서도 La^{3+} 200ppm 수준은 팔목할 만한 증식억제 효과를 나타내기 시작하였는데, 시험 결과 *Salmonella*에 대하여는 300ppm 정도 이상은 되어야 실질적인 효과가 있을 것으로 생각된다.

3. 돼지를 이용한 희토의 사료첨가 효과에 대한 연구.

가. 연구 목적

주요 RE 원소의 배합비율을 달리 함에 따라 희토의 사료 첨가가 돼지의 성장과 사료 이용률에 어떠한 영향을 미치는지, 그리고 돼지에 대한 적정 사료 첨가수준을 알아보기 위하여 본 연구를 실시하였다.

나. 실험1: 주요 희토 원소의 배합비율에 대한 1차 사양시험

1) 실험 방법 및 재료

일 시 : 2001년 5월 7일- 2001년 6월 23일 (58일간)

장 소 : 전북 정읍시 칠보면 도원 (자돈 육성비육 전문 양돈장)

시험동물 : 구입 자돈 교잡종 429두(평균체중 약 26-29kg/head)

시험설계 : 4처리×4반복×반복당 22~29두

처 리 : LaCl_3 , CeCl_3 , PrCl_3 , 그리고 NdCl_3 의 배합비율을 달리한 4개 처리
구. (Control, REH, REM, Formula M)

2) 결과 및 고찰

자돈생산 계약농가에서 구입한 체중 25-30kg/head 되는 자돈 429두를 이용하여 비육단계에 접어들기 전 체중이 약 65kg/head 정도에 이르기까지 약 2개월간 처리에 따라 서로 다른 3 가지 종류의 희토를 급여한 결과, 증체량과 사료요구율(FCR)은 아래 표1-3에 보여주는 바와 같았다. 4개 희토 원소의 비율을 서로 달리하여 2 개월간에 걸친 육성돈 사양시험을 실시한 이 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

가) 희토의 급여는 육성돈 성장을 촉진하여 주요 희토 원소의 배합비율에 따라 서로 다른 증체효과(5.2%-15.4%)를 나타내었고, Formula M이 가장 좋은 증체량 개선 효과를 나타내었다.

나) 희토는 사료요구율(FCR)을 개선하는 효과가 있었으며, 주요 희토원소의 배합비율에 따라 차이가 있었다. 돼지들의 성장촉진 효과가 가장 적었던 REH는 가장 좋은 사료요구율 개선효과를 나타내었다. 그러나 전반적인 사료요구율이 높아 사료섭취량 측정에 오차가 있었던 것 같다.

다) 희토의 급여로 돼지들의 폐사가 감소하는 추세를 보였고, 사용한 희토 중에서 **Formula M**이 가장 큰 폐사 감소를 나타내었으나 이에 대한 추후 검토가 필요할 것 같다.

Table 1-3. Body weight gain and feed conversion ratio by weanling piglets as affected by dietary supplementation of rare earth.

Treatment	Control	REH	REM	Formula M
No. of Rep.	4	4	4	4
Ani./Rep.	25-30	28-31	22-29	20-29
Total No. of Animals	113	117	98	101
Body wt., <i>kg/head</i>				
Initial	28.82	25.73	29.89	29.08
Final	61.19	59.77	65.77	66.43
Gain	32.37	34.50	35.88	37.35
Feed Intake, <i>kg/head</i>	100.2	97.3	109.7	114.4
FCR	3.14	2.86	3.05	3.06
Death	10	7	6	2

다. 실험2: 주요 희토 원소의 배합비율에 대한 2차 사양시험

1) 실험 방법 및 재료

일 시 : 2001년 6월 19일 ~ 2003년 10월 20일 (123일간)

장 소 : 충북 음성군 정원 종돈장

시험동물 : 거세자돈, 순종자돈(암) 혼합 96두(체중 15-17kg/head)

시험설계 : 3처리×4반복×반복당 8두

처 리 : 무첨가 대조구(Control)와 2개 처리구(Hunan RE, Formula M)

2) 결과 및 고찰

충청북도 음성에 소재한 정원 종돈장에서 자체 생산한 체중 15-17kg/head 순종 자돈(암) 및 거세자돈 96두를 이용하여 이유 후 출하체중에 이르기까지 약 4개월간 처리에 따라 희토원소 배합 비율을 달리하는 2 가지 종류의 희토를 급여한 결과, 증체량과 사료요구율(FCR)은 아래 표1-4에 보여주는 바와 같이 나타났

다. 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

가) 회토의 급여는 이유 후 출하체중에 이르기까지 돼지 성장을 크게 촉진하여 회토 원소 배합비율에 따라 4.0%~8.6%의 증체 효과를 나타내었다.

나) 회토의 사료요구율(FCR)을 개선 효과가 있었으며, Formula M의 사료요구율 개선 효과가 크게 나타났다.

다) 돼지의 성장과 사료 이용률 개선 효과는 회토의 유형에 따라 크게 차이가 난다고 할 수 있다. 그러나 본 시험에서도 사료섭취량 측정에 있어 약간의 실험오차가 있었을 것으로 생각된다.

Table 1-4. Body weight gain and feed conversion ratio by weanling piglets as affected by dietary supplementation of rare earth.

Treatment	Control	Hunan RE	Formula M
No. of Rep.	4	4	4
Ani./Rep.	8	8	8
Total No. of Animals	32	32	32
Body wt., kg/head			
Initial	15.14	16.52	15.04
Final	99.17	103.94	104.95
Gain	84.02 ^b	87.42 ^{ab}	91.27 ^a
Feed Intake, kg/head	294.1	299.9	251.9
FCR	3.50 ^a	3.43 ^a	2.76 ^b

라. 실험3: 복합회토의 적정 사료첨가 수준 측정을 위한 이유자돈 사양시험.

1) 실험 방법 및 재료

일 시 : 2003년 5월 ~ 2003년 8월 (3차례 자돈시험 반복)

장 소 : 충남 천안시 성남면 진왕중축 양돈조합 자돈사

실험동물 : Landrace×Large Yorkshire F1거세자돈(평균이유일령 22일)1048두

실험설계 : 4처리×4반복×반복당 30두(1차), 3처리×4반복×반복당 30두(2,3차)

2) 결과 및 고찰

충청남도 천안시 성남면에 소재한 진왕중축 양돈조합 GP농장 자돈사에서 이유 후 약 22일령 되는 이유자돈들이 모돈사에서 넘어와 육성비육 단계(위탁)에 접어들기 전까지 자돈사에서 약 1개월간 사육되는 동안 RE의 사료첨가 수준

을 달리하여 시험을 3차례(1차, 2003년 4월 4일~5월 4일, 31일간; 2차, 5월 19일~6월 21일, 34일간; 3차, 7월 27일~8월 30일, 35일간)에 걸쳐 실시하여 이를 종합한 결과, 증체량과 사료요구율(FCR)에 대한 성적을 종합하면 아래 표1-5와 같고, 이를 그림으로 표시하면 그림 1-4와 같다. 이상 세 차례의 자돈 반복시험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

가) 복합 RE의 사료첨가는 이유자돈들의 성장을 5.6% ~ 6.1% 정도 촉진하는 효과가 있었으며, RE 첨가수준은 100~200mg/kg이 적절한 것으로 보인다.

나) 복합 RE의 사료첨가는 이유자돈들의 사료이용율 향상효과가 있었고, 사료요구율 (FCR)은 2.5~5.2% 정도의 개선이 기대된다.

다) 자돈 폐사율은 대조구의 6.3% 정도에서 복합희토 첨가로 5.4%로 낮아져, 폐사율 감소 추세를 보였으며 시험 과정에서 관찰한 결과에 의하면, 희토 급여구에서 신경증세 등 자돈의 돌발적인 사망률이 적었고, 설사현상도 적게 나타나는 현상이 관찰 되었다.

라) 아쉬운 점은 처리구간에 통계적인 차이는 없었는데, 이는 농장 현장 사정상 자돈 배치 때 돈방별로 자돈들의 체중이 균일하게 배치하게 되고, 이에 따라 돈방별 평균체중 차이가 컸으며, 체중 측정을 돈방별로 하였기 때문에 관측치의 변이가 컸기 때문으로 생각되었다.

Table 1-5. Body weight gain and feed conversion ratio in weanling piglets as affected by dietary supplementation of rare earth.

Treatment	T1(Control)	T2	T3
RE level(mg/kg)	0	100	200
No. of Rep.	12	12	12
Ani. / Rep.	24~30	24~30	24~30
Total No. of Animals	316	316	316
Body wt.(kg/head)			
Initial	8.90±1.14	8.76±1.00	8.80±0.94
Final	22.92±1.83	23.56±2.05	23.67±2.00
Gain	14.01±1.25	14.79±1.60	14.87±1.64
Feed intake(kg/head)	22.50±2.20	23.20±2.47	22.73±2.57
FCR	1.61±0.08	1.57±0.08	1.53±0.10
Death rate	6.3%	5.4%	5.4%

Means±SD

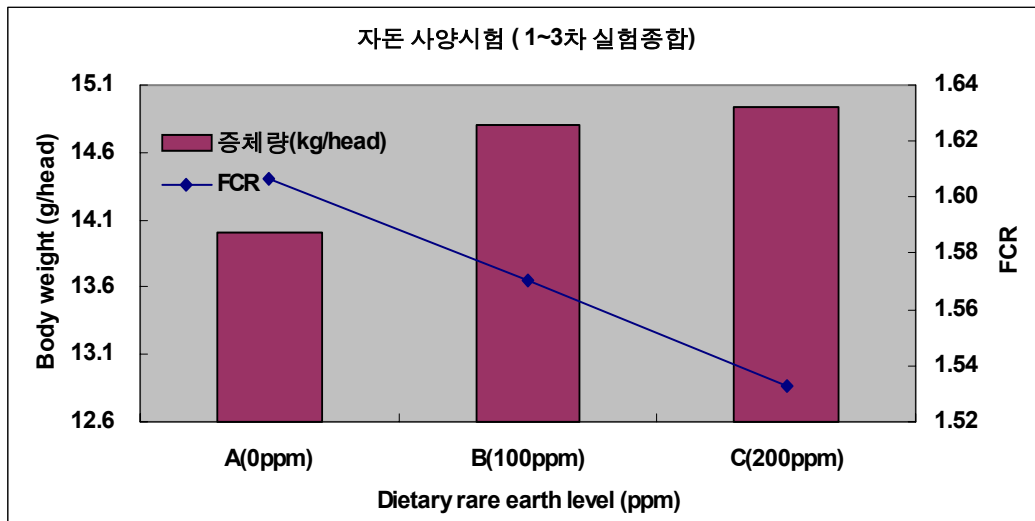


Fig. 1-8. Body weight gain and feed conversion ratio in weanling piglets as affected by dietary supplementation of rare earth.

마. 실험4: 복합희토의 사료첨가에 대한 육성비육 사양시험.

1) 실험 방법 및 재료

일 시 : 2003년 5월 ~ 2003년 8월 (3차례 자돈시험 반복)

장 소 : 충남 천안시 성남면 진왕중축 양돈조합 2개 위탁농장

실험동물 : Landrace×Large Yorkshire F1거세자돈 총 1189두

(평균 70일령, 평균체중 약 26.5kg/head).

실험설계 : 2처리(대조구와 희토 200mg/kg 첨가구)×2반복(4개 농장)

2) 결과 및 고찰

충청남도 천안시 성남면에 소재한 진왕중축 양돈조합 위탁 농장에서 평균체중이 26.5kg/head되는 육성비육 단계(평균 70일령) 어린 돼지 총 1,189두를 대상으로 출하될 때까지 약 4개월간 시험 사육한 결과, 출하 일령에 따른 생체중, 도체중 및 도체 특성이 표1-6에 제시되어 있다. 본 실험은 전적으로 위탁농가에 위임되어 진행되었고, 모든 자료는 도축장에서 등급 판정사가 측정한 자료를 넘겨받아서 정리한 것이기 때문에, 시작 일령이나 개시체중, 종료일령이나 종료체중 등이 정확하게 측정되었다고는 할 수 없다. 특히, 사료섭취량은 측정 자체가 불가능한 조건에서 실시되었다. 따라서 돼지들의 성장 성적에는 큰 의의가 없다고 할 수 있으며, 다만 도체의 질과 등지방 두께에 대한 전체적 경향을 살펴

보는데 만족해야할 것 같다. 이러한 차원에서 결과를 요약해보면 다음과 같다.

가) 생체중과 도체중은 출하일령이 빠른 경우 회토 급여효과가 나타나며, 돼지를 크게 키울수록 그 효과가 소멸되는 경향을 보였다.

나) 도체율에는 대조구나 회토 급여구간에 전체적인 수치에 통계적 유의차는 보였으나, 그 차이는 크지는 않았다.

다) 등지방두께는 회토 급여 돼지들이 얇아지는 경향을 나타내었으며, 그 차이는 출하일령이 늦어질수록 즉, 출하체중이 커질수록 증가하였다(그림1-5 참조).

라) 도축장에서 등급판정사들이 측정한 도체등급은 가장 상위인 A등급 출현율이 크게 늘어났고, 하위등급인 C와 D 등급, 특히, 최하위인 D 등급이 대폭 감소하는 모습을 나타내었다.

Table 1-6. Carcass characteristics of pigs by market age as affected by dietary supplementation of rare earth.

Item	175~183age		184~190age		191~202age		Total	
	CON	TRT ¹	CON	TRT	CON	TRT	CON	TRT
Market age(days)	178.4	176.7	187.3	185.2	196.7	198.6	187.9	187.3
Live weight(kg)	107.7 ^b	110.2 ^a	114.0	113.3	115.8	116.4	112.6	113.4
Carcass weight(kg)	83.1 ^b	85.0 ^a	87.1	87.6	89.1	89.8	86.6 ^b	87.5 ^a
Carcass (%)	77.1	77.1	76.4	77.3	77.0	77.1	76.8 ^b	77.2 ^a
Backfat (mm)	22.0	21.8	23.5	22.8	24.0	23.5	23.2	22.7
No. of animals	180	199	185	197	205	223	570	619
Carcass grade(%)								
A	41.1	46.2	34.6	48.7	37.6	39.5	37.7	44.6
B	31.1	34.2	36.8	31.5	27.8	30.5	31.8	32.0
C	21.1	13.1	15.7	9.6	14.6	14.3	17.0	12.4
D	6.7	6.5	12.9	10.2	20.0	15.7	13.5	11.0
Average value of carcass grade	3.07	3.20	2.93 ^b	3.19 ^a	2.83	2.94	2.94 ^b	3.10 ^a

^{ab} Means within a row without same letter differ(P<0.05),

¹ Rare Earth-treated group, supplied with 200mg/kg of an RE mixture in the diet.

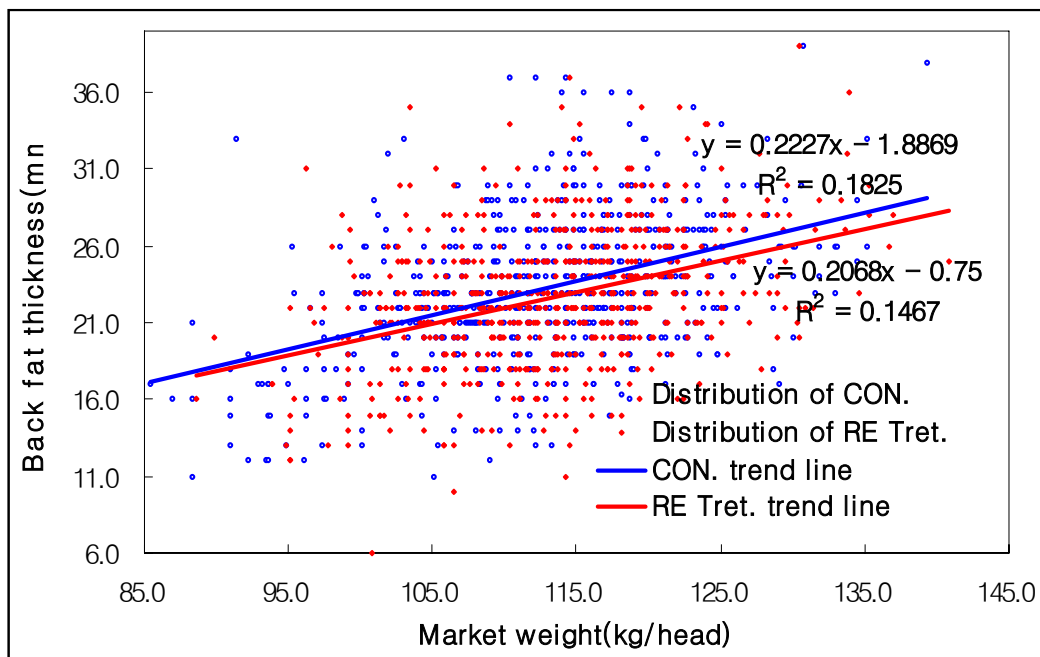


Fig. 1-9. Backfat thickness of slaughter pigs as affected by supplementation of rare earth in diets.

4. 가금을 이용한 회토의 사료첨가 효과에 대한 연구

가. 연구 목적

복합 회토의 사료첨가 급여가 육계와 산란계의 성장 및 사료이용율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 연구를 실시하였다.

나. 실험 1: 육계사료의 복합회토 적정 첨가수준 측정 사양시험(1차).

1) 실험 방법 및 재료

일 시 : 2002년 6월 8일-7월 12일(약 5주간)

장 소 : 전북대학교 가축사육장 육계시험장

실험동물 : 1일령 Cobb 육계 총 360수

실험설계 : 6처리(대조구와 5개 회토첨가)×4반복×반복당 15수

실험사료 : 시판 육계배합사료

처 리 : 복합회토 첨가 수준; 0, 100, 200, 400, 800, & 1600ppm

2) 결과 및 고찰

시판 육계용 배합사료에 100mg/kg에서 1600mg/kg까지 여러 수준의 복합회토 (RECl₃ mixture)를 사료에 첨가하여 급여한 육계사양시험 결과, 사료섭취량에는 큰 변화가 없었으며 증체량과 사료이용율에 큰 변화가 있었다. 증체량은 표1-7에 그리고 사료요구율은 표1-8에 사료섭취량과 함께 나타내었으며, 그림1-6은 이들을 한 눈에 볼 수 있도록 그림으로 표시하였다. 전체적으로 회토의 사료 첨가수준이 100mg/kg일 때 증체량이 가장 좋게 나타났다. 이 처리구 병아리들의 증체량은 전기 3주 그리고 후기 2주 동안 모두 대조구보다 유의하게 증체량이 많았으며, 결과적으로 5주 전 기간 동안 대조구보다 약 8%(1699.9 vs. 1533.8 g/chick)의 성장촉진 효과를 보여 주었다($p<0.05$). 회토를 200mg/kg 수준으로 급여한 병아리들은 증체량과 사료요구율에 있어 100mg/kg을 급여한 병아리들과 유사한 결과를 보여주었다. 그러나 회토를 400g/kg 수준 이상으로 급여한 병아리들의 전기나 후기 또는 전체적인 증체량과 사료요구율이 대조구와 유사해지거나 오히려 조금이나마 낮아져, 200mg/kg 이상은 육계에 대한 회토의 사료 첨가수준이 과다한 것으로 생각되었다. 그러나 800mg/kg나 심지어 1600mg/kg 수준에서도 육계의 성장은 회토를 급여하지 않은 대조구에 비해 육계의 성장이나 사료요구율에 있어 별 차이를 나타내지 않아 회토의 과다 급여에 의한 부작용은 없을 것으로 생각되었다. 따라서 결론적으로 다음과 같이 결과를 요약할 수 있을 것이다.

가) 회토의 사료 첨가는 육계의 증체와 사료요구율에 첨가 수준에 따라서 개선 효과가 크게 나타날 수 있으며, 적정 첨가수준은 100-200ppm 정도 또는 100mg/kg이하일수도 있을 것으로 생각된다.

나) 회토의 사료첨가는 육계의 사료섭취량에 영향을 주지 않고 성장을 촉진함으로써 사료요구율을 개선하는 것으로 보여 진다.

다) 적정 수준 이상의 회토 사료첨가는 육계의 증체량과 사료이용율 개선효과를 소멸시키는 현상을 나타낸다. 그러나 매우 높은 수준의 회토를 첨가하여도 육계성장을 크게 저해하지 않는 것으로 보인다.

Table 1-7. Effect of dietary supplementation of RE on weight gain of broilers

Treatments (mg/kg)	0-3 weeks	4-5 weeks	0-5 weeks
0	765.46±12.25	768.30±17.78 ^b	1533.76±9.69 ^b
100	791.28±2.06	878.64±22.42 ^a	1669.92±20.88 ^a
200	782.43±23.43	879.28±27.16 ^a	1661.71±44.59 ^a
400	742.64±22.13	828.97±16.29 ^a	1571.61±28.22 ^b
800	755.27±25.71	810.96±18.97 ^b	1566.23±41.58 ^b
1600	752.06±14.78	777.90±11.44 ^b	1529.96±20.64 ^b

Values are means±SE. Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^{a,b} Values with no common letters are significantly different between RE supplemental level(P<0.05).

Table 1-8. Effect of dietary supplementation of RE on feed conversion ratio by broiler chicks.

Treatments (mg/kg)	FCR			Feed intake (g/chick)
	0-3 weeks	4-5 weeks	0-5 weeks	
0	1.701±0.08	1.787±0.10 ^{ab}	1.817±0.08	2728.7
100	1.596±0.07	1.623±0.03 ^c	1.621±0.02	2720.8
200	1.674±0.05	1.641±0.11 ^{bc}	1.637±0.08	2692.6
400	1.760±0.06	1.647±0.03 ^{bc}	1.765±0.04	2730.3
800	1.776±0.03	1.743±0.10 ^{abc}	1.718±0.03	2738.7
1600	1.728±0.04	1.728±0.12 ^{abc}	1.792±0.06	2698.5

Values are means±SE. Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

^{a,b,c} Values with no common letters are significantly different between RE supplemental level(P<0.05).

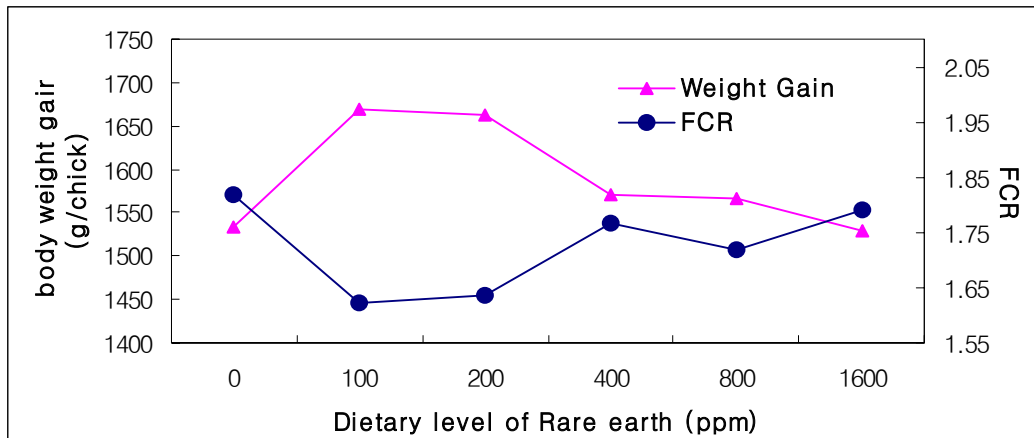


Fig 1-10. Body weight gain and feed conversion ratio(FCR) as affected by dietary supplementation of rare earth.

다. 실험 2: 육계사료의 복합희토 적정 첨가수준 측정 사양시험(2차).

1) 실험 방법 및 재료

일 시 : 2003년 3월 17일-4월 20일(5주간)

장 소 : 전북대학교 가축사육장 육계시험장

실험동물 : 1일령 Cobb 육계 총 360수

실험사료 : 영양제 이외 첨가제를 제외한 자가 배합사료

실험설계 : 4처리×6반복×반복당 15수

처 리 : 복합희토 첨가 수준; 0, 50, 100, 150ppm

2) 결과 및 고찰

앞의 실험1과 달리 본 실험에서는 영양제 이외 모든 사료첨가제를 넣지 않는 자가 배합사료에 희토만 첨가하였다. 총 5주간에 걸친 시험결과가 육계 성장과 사료요구율이 표1-8과 표1-9에 보여주는 바와 같다. 실험1에서 육계에 대한 적정사료 첨가 수준이 100mg/kg 정도로 나타남에 따라 이에 대한 확인과 더불어 좀더 세밀한 사료첨가 수준을 확인하고자 이를 전후한 희토 첨가 수준을 본 시험에서 택하였다. 시험결과 희토를 50mg/kg으로 급여한 병아리들의 성장이 대조구나 다른 수준의 희토 급여 병아리들 보다 월등히 증체량이 많았으며 ($P<0.05$), 예상과 달리 앞의 시험에서 성적이 제일 좋았던 100mg/kg이나 150g/kg 수준의 희토 급여는 대조구와 같아, 병아리들의 증체에 아무런 영향을 미치지 않았다. 즉, 희토 50mg/kg 급여만 증체율이 10% 증가하였다. 사료요구율에 있어서도 같은 결과가 나타났다. 사료섭취량에 있어서는 앞의 실험1과 달리

회토를 급여한 병아리들이 모두 약간 많았으나 큰 차이는 아니었다. 따라서 회토의 사료첨가는 육계의 사료섭취량에 큰 영향을 주지 않으면서 성장을 촉진하는 것으로 판단되며, 적정 수준은 사료의 성상이나 병아리의 상태에 따라서 50-100mg/kg 정도일 것으로 판단되었다. 이상을 요약하면 다음과 같다.

가) 회토의 육계사료 첨가는 성장촉진을 위한 적정수준이 50-100mg/kg 정도일 것으로 생각되며, 사료의 성상에 따라 효과가 달라질 수 있다. 항생제 같은 다른 사료 첨가제를 사용하지 않는 경우, 본 시험에서는 50mg/kg 첨가의 경우 14.5%의 증체 효과가 있었다.

나) 회토는 육계의 사료섭취량에 큰 영향을 미치지 않으나 양간 증가시킬 수 있으며, 본 시험에서는 회토 50mg/kg 첨가로 4-5% 정도 증가한 것으로 나타났다.

다) 육계에게 회토를 급여할 때 사료요구율은 사료섭취량보다 육계의 증체량에 더 많은 영향을 받는다고 볼 수 있다.

Table 1-8. Effect of dietary supplementation of RE on weight gain by broilers.

Treatments (mg/kg)	0-3 weeks	4-5 weeks	0-5 weeks
0	585.90±9.66 ^b	855.69±14.82 ^b	1441.60±19.95 ^b
50	718.10±8.01 ^a	932.59±11.99 ^a	1650.69±16.60 ^a
100	575.73±7.44 ^b	853.32±11.67 ^b	1429.08±12.64 ^b
150	567.07±10.57 ^b	841.66±17.70 ^b	1408.72±27.94 ^b

Values are means±SE. Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
^{a,b} Values with no common letters are significantly different between RE supplemental level(P<0.05).

Table 1-9. Effect of dietary supplementation of RE on feed conversion ratio by broiler chicks.

Treatments (mg/kg)	FCR			Feed intake (g/chick)
	0-3 weeks	4-5 weeks	0-5 weeks	
0	1.747±0.05 ^b	2.089±0.02	1.950±0.03 ^b	2811.1
50	1.462±0.02 ^c	2.054±0.04	1.796±0.02 ^c	2936.7
100	1.803±0.04 ^{ab}	2.217±0.08	2.051±0.06 ^{ab}	2931.0
150	1.924±0.06 ^a	2.256±0.09	2.122±0.07 ^a	2989.3

Values are means±SE. Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
^{a,b} Values with no common letters are significantly different between RE supplemental level (P<0.05).

라. 실험 3: 종계사료의 복합회토 적정 첨가수준 측정 사양시험.

1) 실험 방법 및 재료

일 시 : 2002년 9월 7일-2003년 4월 8일(30주간)

장 소 : 충남 논산시 소재 (주)동우 논산 종계 위탁사육장

실험동물 : 산란개시 Ross 종계 총 16231수(♀)와 수탉(♂)

실험설계 : 대조구 7반복 총 8,155수; 회토 300g/kg 급여구 4반복 총 4,583수;

회토 600g/kg 급여구 3반복 총 3,493수.

처 리 : 복합회토 첨가 수준; 0, 300, 600ppm

2) 결과 및 고찰

회토의 사료첨가가 닭의 산란율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 산란 개시 직전의 158일령 된 Ross 품종 육용 종계를 이용하였다. 회토의 사료첨가 수준은 0(대조구), 300, 그리고 600g/kg이었다. 전체 16,231수(♀) 중 대조구에는 7반복에 8,155수, 회토 300g/kg 급여구에는 4반복에 4,583수, 회토 600g/kg 급여구에는 3반복에 3,493수를 배치하였다. 시험은 평사에서 시행되었는데, 수탉(♂) 종계는 총 1,637수를 공시하여 암수 비율이 평균 10:1이 되도록 배치하였다.

원래 계획된 본 시험은 종계 23주령 때부터 53주령까지 계획하였으나, 그 이후에도 지속적인 관찰은 이루어 졌다. 종계 57주령 때부터는 회토를 급여하지 않던 대조구에도 회토를 급여하여 그 이후의 산란율 변화를 살펴보았다. 그러나 산란율에 대한 통계처리는 53주령 때까지의 산란성적을 이용하였다. 그림1-7은 주령별 평균산란율 변화를 보여주고 있으며, 표 1-10은 초산부터 종란으로 사용가능한 크기의 종란이 생산될 때까지, 종란 생산이 피크에 이르기 전후, 그리고 그 이후 53주에 이르기 까지 산란율이 점진적으로 감소하는 그 이후 기간을 6주씩 구간으로 나누어 산란성적을 표시하고 있다.

회토를 급여한 종계들의 초기 산란율 즉, 산란 개시 때부터 산란 피-크 약 50% 정도에 이르는 시험 시작 5주 때까지의 산란율은 대조구에 비해 약간 낮았으나, 산란율 증가 속도가 빨라 산란 피-크에 2주일정도 일찍 도달하였다. 그 이후의 산란은 회토의 사료첨가 수준에 따라 반응이 엇갈리는데, 회토 300mg/kg 급여 종계들은 대조구에 비해 피-크 산란율도 높았고, 그 이후에도 3-4% 정도 높은 산란율을 유지하였다. 그러나 회토를 600g/kg 수준에서 급여한 종계들은 피-크 산란율을 앞당겼을 뿐, 나머지는 대조구와 차이 없는 산란율을 보여주었다.

산란초기 24주령부터 약 4주간 회토를 급여한 종계들의 산란율이 대조구에 비

해 약간 낮았었는데 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 그러나 이러한 현상이 회토급여에 의한 스트레스가 있었던 것인지, 또는 시험을 실시한 농장주의 말 대로 계사의 배치가 그 농장 내에서 열악한 위치에 회토급여 처리구들이 배치되었기 때문인지는 알 수 없었다. 30-35주령에서는 회토 급여구들은 모두 대조구에 비해 산란율이 높았으나 통계적으로 유의한 것은 아니었다. 36-41주령의 산란율은 300mg/kg 처리구가 대조구에 비해 3.8% 증가하였지만, 회토 600mg/kg 급여구는 오히려 1.4% 감소하였다($p < 0.05$). 42주령에서 53주령까지 회토 300mg/kg 급여구의 산란율은 대조구보다 5% 증가하였으나, 600mg/kg 급여구는 역시 2% 감소하였다($p < 0.05$). 이러한 결과는 Wang등(1991), Liu등(1993)의 연구 결과와 일치하였으며, 시험에 사용한 육용종계 사료의 회토 600mg/kg 첨가는 적정 수준을 초과하는 것으로 보여 진다. 이상 Ross 육용 종계를 가지고 전 산란주기를 통한 사양시험 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

가) 종계사료의 회토 첨가는 첨가 수준에 따라 산란율 반응이 다르게 나타났는데, 300mg/kg 수준은 괄목할 만한 산란율 증가를 보인 반면, 600mg/kg 수준은 대조구에 같은 산란율을 보였다. 따라서 600mg/kg는 과도하며, 적정 첨가 수준은 300mg/kg 전후로 생각되었다.

나) 회토급여를 시작한 산란초기 약 4주정도 산란율 적게 하였으나, 그 직후 산란율이 급속히 증가하여 산란 피크를 빠르고 높게 하였고, 산란 지속성을 좋게 하였다.

다) 결과적으로 회토급여는 시험기간 30주 동안 산란율을 4.4% 정도 높게 하였다. 종란을 종란으로 사용이 가능한 시기 즉, 산란 피크의 절반 수준에 이르는 29주령이후 24주 동안에는 5.03%의 산란율이 증가한 것으로 나타났다.

라) 회토 급여를 시작한 이후 일정기간 산란초기 산란율 증가가 대조구에 비해 약간 저조하였는데, 이는 회토에 대한 적응기간이 필요한 것인지 알 수 없었다.

마) 본 시험이 진행이 완료될 무렵, 회토를 급여하지 않던 대조구에 회토 급여를 했을 때(종계 57주령) 산란율 지속성이 개선되어 회토를 급여해 온 처리구의 산란율에 접근하는 현상이 관찰되었는데, 이에 대하여는 더 많은 연구가 필요하다고 하겠다.

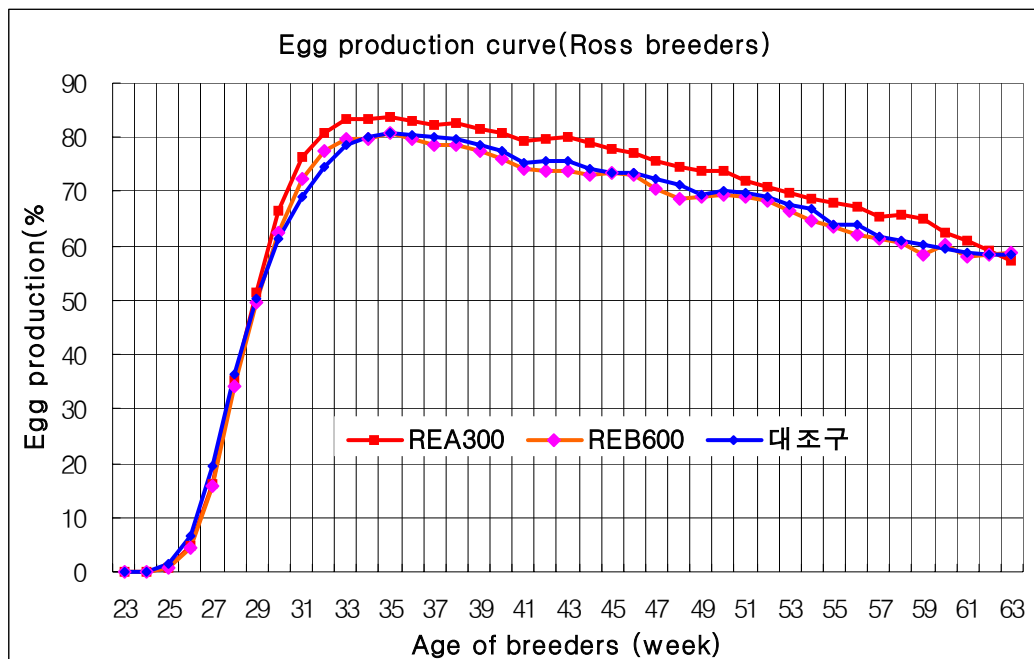


Fig 1-11. Effect of dietary supplementation of RE on egg production by broiler breeder hens(Ross breeders).

Table 1-10. Effect of dietary supplementation of RE on egg production by broiler breeder hens.

Treatments (mg/kg)	Age of hens (Week)					Total
	24-29	30-35	36-41	42-47	48-53	
	------(%)-----					
0	16.28 (100)	74.05 (100)	78.59 ^b (100)	74.21 ^b (100)	69.56 ^b (100)	61.05 (100)
300	15.51 (95.3)	79.04 (106.7)	81.57 ^a (103.8)	78.20 ^a (105.4)	72.49 ^a (104.2)	63.75 (104.4)
600	14.91 (91.6)	75.53 (102.3)	77.49 ^b (98.6)	73.01 ^b (98.4)	68.50 ^b (98.5)	60.37 (98.9)

Values are means±standard error and values in parenthesis are relative to the control(0mg/kg). Means for groups in homogeneous subsets are displayed. ^{a,b} Values with no common letters are significantly different between RE supplemental level(P<0.05).

마. 실험 4: 육계사료의 복합회토 급여효과 검정 사양시험.

1) 실험 방법 및 재료

일 시 : 2003년 7월 24일-8월 26일(약 5주간)

장 소 : 전북대학교 가축사육장 육계시험장

실험동물 : 1일령 Ross 육계 암·수 총 360수;

회토 300mg/kg 급여 종계로부터 180수(영송농장)

회토를 급여하지 않은 종계로부터 180수(오천농장)

실험설계 : Experimental design과 같이 4처리(2×2 factorial)×6반복×반복당 15수

• Experimental design

Treatments		RE level(mg/kg) of breeder diet	
		0	300
RE level(mg/kg) of broiler chick diet	0	RE 0-0	RE 300-0
	100	RE 0-100	RE 300-100

Items	Experimental treatment Group			
	Control	RE 0-100	RE 300-0	RE 300-100
No. of replication	3	3	3	3
No. of chick/Rep.	15	15	15	15
Distinction of sex	2	2	2	2
Total No. of chicks	90	90	90	90

2) 결과 및 고찰

본 시험은 회토의 급여가 종계의 산란율에 매우 긍정적인 효과를 보여줌에 따라 이들로부터 생산된 육계에도 회토를 급여하면 어떠한 반응이 나타날는지 알아보기 위하여 실시하였다. 시험설계에 따라 종계의 회토 급여 유무, 그리고 암·수 육계의 회토 급여 유무를 통한 시험결과, 육계의 증체량, 사료섭취량, 사료요구율에 미치는 영향을 Table 3, 4, 5에 나타냈다. Table은 성별에 따라 수컷(♂)·암컷(♀) 그리고 암·수 통합(♂+♀)으로 나뉘어, 사육전기(1~3 weeks), 사육후기(4~5weeks), 전 기간(1~5weeks)으로 기간별 생산성 효과를 분석하였다.

육계의 암·수 별, 종계의 회토 급여 유무 그리고 육계의 회토 급여 유무에 따라 육계 사육 전기 3주 그리고 후기 2주간의 반응이 산발적으로 관찰 되었는데, 총 5주간에 걸친 육계의 성장 반응을 살펴보면, 육계의 증체량에 있어서 종계에 대한 회토급여는 수컷과 암컷 그리고 암·수를 통합한 결과에서도 모두 있었으며,

마찬가지로 육계에 대한 회토 급여도 같은 효과가 있는 것으로 나타났다. 대체로 종계에 회토를 급여하고 육계에 회토를 급여하지 않으면 5.0% 그리고 종계에 회토를 급여하지 않고 육계에 회토를 급여하면 4.6%, 그리고 종계와 육계 모두에게 회토를 급여하면 9.85% 증체가 더 되었으며, 이는 종계와 육계 모두에게 회토를 급여하면 육계 성장에 상승효과 있는 것으로 보인다. 이상을 그림으로 표시하면 그림 1-12와 같다. 회토를 급여한 종계로부터 생산된 육계의 성장이 촉진된 것은 종계에게 급여한 회토가 종계에게 이전되어 얻어지는 결과라기보다는 생산되는 육계 병아리의 활력이 좋아지는 때문이라고 생각된다. 부화장에서 이야기된 바로는 회토를 급여한 종계에서 생산된 병아리의 활력은 다른 병아리에 비해 월등히 좋았었다고 한다.

사료섭취량에 있어서는 위 증체량과 같은 맥락에서 살펴볼 때, 대체로 종계에게 회토를 급여하거나 육계에 회토를 급여하면 사료섭취량이 증가하는 경향이 있었다. 그러나 그 차이가 크지 않았고 유의성이 없었다. 마찬가지로 사료요구율(FCR)에 있어서도 수치상으로 사료요구율이 낮아지긴 했으나 유의성이 없었다. 따라서 종계에게 회토를 급여하거나 육계에 회토를 급여하여 향상된 육계의 성장촉진 효과는 그 만큼의 사료섭취나 사료이용율 개선을 함께 하지는 않다고 할 수 있다. 이상의 육계시험 결과를 요약하면 다음과 같다.

가) 본 시험 결과, 회토를 급여한 종계로부터 생산된 육계 병아리의 성장은 회토를 급여하지 않아도 회토급여 병아리들과 유사한 증체 효과가 있었다.

나) 회토 급여 종계에서 생산된 육계병아리에게 회토를 급여하면, 그들의 성장에 상승효과가 있었다(5.0 vs. 9.9%).

다) 종계나 육계병아리에게 회토를 급여했을 때 나타난 육계병아리들의 성장촉진 효과와는 달리 사료섭취량이나 사료요구율에 미치는 효과는 크지 않았다.

라) 회토를 급여하지 않아도 회토급여 종계에서 생산된 육계의 성장촉진현상은 부화된 후 그 병아리들의 활력이 좋아졌기 때문으로 생각되었다.

Table 1-11. Effects of dietary supplementation of RE(mg/kg) on body weight gain of broiler chicks.

BB BC	♂			♀			♂ + ♀		
	0	300	$\bar{x}$	0	300	$\bar{x}$	0	300	$\bar{x}$
----- 0-3 Weeks -----									
0	843.8	935.9	889.8	765.8	777.5	771.7 ^b	805.2	857.6	831.4 ^b
100	837.7	933.5	886.7	788.6	851.6	820.4 ^a	812.9	892.5	853.4 ^a
$\bar{x}$	840.8 ^b	934.7 ^a		777.2 ^b	815.0 ^a		809.0 ^b	875.2 ^a	
----- 4-5 Weeks -----									
0	1030.0	966.1	988.8 ^b	775.0	889.6	832.3 ^b	1311.7	1352.3	1331.8 ^b
100	1078.0	1083.0	1080.5 ^a	880.9	885.4	883.2 ^a	1408.0	1448.9	1428.5 ^a
$\bar{x}$	1053.4	1024.6		828.0 ^b	887.5 ^a		1359.3	1440.9	
----- 0-5 Weeks -----									
0	1872.8	1916.1	1894.5 ^b	1541.0	1667.2	1604.1 ^b	1706.9	1791.6	1749.3 ^b
100	1917.6	2019.6	1968.6 ^a	1669.4	1737.2	1703.7 ^a	1790.6	1873.5	1832.3 ^a
$\bar{x}$	1894.7 ^b	1996.7 ^a		1605.2 ^b	1702.6 ^a		1748.3 ^b	1832.3 ^a	

^{a,b}Means Within a column or row with no common superscript letters differ significantly(P<0.05).
Abbreviated BB, Broiler Breeders; BC, Broiler Chicks.

Table 1-12. Effects of dietary supplementation of RE on feed intake(g/chick).

BB BC	♂			♀			♂ + ♀		
	0	300	$\bar{x}$	0	300	$\bar{x}$	0	300	$\bar{x}$
----- 0-3 Weeks -----									
0	1234.0	1331.3	1282.7	1142.6	1188.1	1165.4	1188.3	1259.7	1224.0
100	1258.6	1328.3	1293.5	1192.8	1251.1	1221.9	1225.7	1289.7	1257.7
$\bar{x}$	1246.3 ^b	1329.8 ^a		1167.7	1219.6		1207.0 ^b	1274.7 ^a	
----- 4-5 Weeks -----									
0	1941.6	1881.9	1911.7 ^b	1528.5	1694.3	1611.4	1735.0	1788.1	1761.6
100	1982.9	2084.8	2033.8 ^a	1651.4	1712.0	1681.7	1817.2	1898.4	1857.8
$\bar{x}$	1962.2	1983.3		1590.0 ^b	1703.2 ^a		1776.1	1843.2	
----- 0-5 Weeks -----									
0	3157.6	3213.2	3194.4 ^b	2671.1	2882.4	2776.8	2923.3	3047.8	2985.6
100	3241.6	3413.1	3327.3 ^a	2844.2	2963.1	2903.7	3042.9	3188.1	3115.5
$\bar{x}$	3208.6	3313.1		2757.7	2922.8		2983.1	3118.0	

^{a,b}See Table 1-11. Abbreviated BB, Broiler Breeders; BC, Broiler Chicks.

Table 1-13. Effects of dietary supplementation of RE(mg/kg) on FCR by broiler chicks.

BB BC	♂			♀			♂ + ♀		
	0	300	$\bar{x}$	0	300	$\bar{x}$	0	300	$\bar{x}$
----- 0-3 Weeks -----									
0	1.463	1.423	1.443	1.492	1.527	1.510	1.478	1.475	1.476
100	1.505	1.423	1.464	1.511	1.469	1.490	1.508	1.446	1.477
$\bar{x}$	1.484	1.423		1.502	1.498		1.493	1.460	
----- 4-5 Weeks -----									
0	1.887	1.958	1.923	1.991	1.889	1.940	1.939	1.923	1.931
100	1.837	1.921	1.879	2.025	1.934	1.980	1.931	1.928	1.929
$\bar{x}$	1.862	1.940		2.008	1.912		1.935	1.926	
----- 0-5 Weeks -----									
0	1.696	1.682	1.689	1.736	1.729	1.732	1.716	1.705	1.711
100	1.692	1.691	1.692	1.702	1.706	1.704	1.697	1.699	1.698
$\bar{x}$	1.694	1.687		1.719	1.717		1.707	1.702	

^{a,b}See Table 1-11. Abbreviated BB, Broiler Breeders; BC, Broiler Chicks.

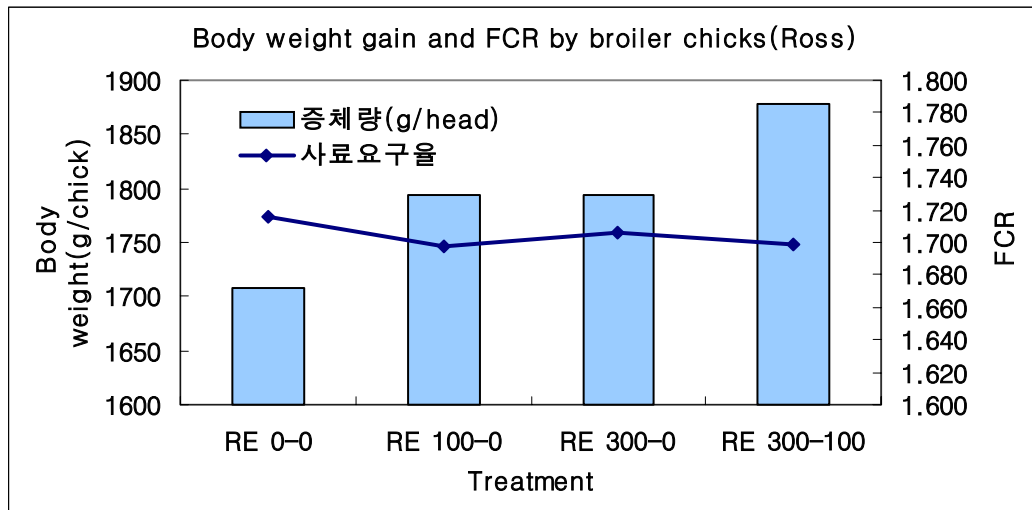


Fig.1-12. The growth and feed conversion ratio(FCR) by Ross broiler chicks as affected by RE feeding to breeders and/or broiler chicks.

5. 적요

회토는 그 원소구조가 특수하기 때문에 동물 체내에서 여러 가지 이로운 생물학적 작용을 하는 것으로 알려지고 있다. 스트레스에 의해 동물 체내에 생겨나게 되는 자유전자 (free radical)의 생성을 최소화함으로써 스트레스에 의한 생물학적 장애를 줄여 주는가하면, 혈청내 항체와 성장 호르몬 수준을 높게 하여 가축의 면역력을 높여주고 성장을 촉진하며, 회토 자체가 강한 살균력을 지니고 있음에 따라 여러 병원성 세균으로부터의 피해를 감소하는 등 가축사육에 이용하면 많은 잇점이 있을 것으로 기대된다. 이렇게 회토가 지니고 있는 가축사육상 많은 유익한 형질들을 활용하는 사료첨가제를 개발하기 위하여 본 연구를 실시하였으며 다음과 같은 결과를 관찰하였다.

가. 쥐를 이용한 일차적 실험결과 주요 개별 회토 원소들은 쥐의 성장에 있어 특별하게 서로 다른 차이점을 보이지 않았다.

나. 회토를 급여한 쥐로부터는 5000ppm이나 되는 매우 높은 수준을 급여하여도 어떤 유해 현상이나, 간의 크기가 커지는 등 내부 기관에 아무런 이상이 관찰되지 않았다.

다. 회토는 *E. coli*나 *Salmonella* 같은 유해세균의 증식을 억제하는 효과가 있었다. 대 장균의 증식 억제할 수 있는 농도는 100ppm 이상 그리고 살모넬라의 증식 억제를 위해서는 보다 높은 200ppm 이상의 농도가 필요한 것으로 관찰되었다.

라. 회토는 그 화학적 성상에 따라 육성돈의 성장을 5.2%-15.4% 범위에서 촉진하였다.

마. 이유자돈 사료에 복합회토를 100-200mg/kg 범위에서 첨가했을 때 자돈 성장을 5.6-6.1% 범위에서 자돈 성장을 촉진하였고, 자돈 설사 와 폐사를 감소시켰다.

바. 회토를 비육단계 돼지에게 급여했을 때 등지방 두께를 감소하고 등급판정사들의 판정에 따라 최상급인 “A” 등급이 크게 증가한 반면, 최하위 “D”등급이 크게 줄었다.

사. 육계에 적합한 회토 사료첨가 수준은 50-100ppm 정도이며, 육계의 성장을 촉진하고 폐사를 적게 하는 효과가 있는 것으로 관찰되었다.

아. 종계(Ross breed) 사료에 300ppm 수준의 희토를 첨가하였을 때 4.4%의 종란 생산이 많아졌으며, 암수 종계의 폐사를 크게 줄이는 효과가 있었다. 그러나 600ppm 수준에서는 희토를 급여하지 않은 대조구와 차이가 없었다.

제 2 절 세부과제 2 : Organic acid-RE chelate 제제 개발

1. 연구방법

가. 주요 희토원소의 분석방법 확립(La, Ce, Pr, Nd)

1) 분석기기의 조건 검토

본 실험에 사용된 기기는 ICP/AES (ICPS-7500 Shimadzu)로서 분석조건 설정을 위해 사용된 희토원소는 Y, La, Ce, Pr, Nd, 그리고 Sm이었다. 먼저 각 원소별로 표준물질(Sigma-Aldrich)을 구입하여 적당한 농도로 희석하여 분석에 임하였다. 검출한계를 설정하기 위해 사용된 농도는 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 ppm이었다.

2) 식물체와 토양시료 중 주요 희토원소의 분석방법 확립

본 연구에서는 희토원소로 Y, Sm, Pr, Ce, La 그리고 Nd를 대상으로 분석방법을 확립하였다. 일반적으로 희토의 식물생육과 관련된 실험은 light 희토원소로서 La, Ce, Sm을, medium 희토원소로서 Gd를, heavy 희토원소로서 Y가 주로 사용되고 있다.

가) 식물체중 희토원소의 추출

식물체중 희토원소의 전 처리와 관련되어 그 동안 거의 대부분의 연구가 중국을 중심으로 이루어져 왔다. 희토원소의 추출 후 분석은 ICP/AES 또는 ICP/MS를 이용하여 분석이 수행되고 있으며, 추출용액은 $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4$ (1 : 1) 또는 $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 : \text{HF}$ (1 : 1 : 1)이 주로 사용되었다 (표 2-1). 본 연구에서는 지금까지 알려져 있는 여러 가지 추출용액의 조합비를 변경하여 추출효율이 가장 높은 용액을 선택하고자 하였으며, 실험에 사용된 추출용액은 HNO_3 , HClO_4 그리고 HF는 특급용 시약으로 각각 60, 70 그리고 48%였다.

나) 토양 시료 중 희토원소의 추출

지금까지 알려진 토양 시료 중 희토원소의 전처리 방법은 여러 가지로 다

양하게 소개되어 왔다. 식물체 시료와 달리 토양 시료 중 희토원소를 전처리 하기 위해 여러 가지 방법들이 시도되어 왔는데 가장 일반적인 것이 산이나 알칼리로 용융후 여러 양이온 또는 음이온 수지를 통과하여 기기분석시 방해 이온을 제거하는 것이었다. 그러나 최근 들어 이들 방법이 많은 노동력과 시간을 필요로 하기에 추출방법을 더 단순화시키기 위한 노력들이 시도되어 왔 으며, 산이나 알칼리로 용융후 바로 기기분석을 하여도 추출감도에는 큰 차이 가 없음이 밝혀졌다. 토양 중 희토원소의 추출과 관련되어 사용되는 용액은 $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{HF}$ (1:1:1) 또는 HNO_3 단독처리 그리고 Na_2O_2 를 이용한 회화법 등이 주로 사용되었다. 본 연구에서는 지금까지 알려져 있는 여러 가지 추출 용액의 조합비를 변경하여 추출효율이 가장 높은 용액을 선택하고자 하였으며 실험에 사용된 추출용액은 다음과 같다 (표 2-1).

표 2-1. 희토 원소 분석을 위한 식물체시료와 토양 시료의 분해과정에 이용된 분해액의 조성

식물체 시료		토양 시료	
Extraction solution	Code	Extraction solution	Code
$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (1:1)	(M 1)	증류수 2ml: HNO_3 5ml: HClO_4 1ml: HF 10ml	M 1
$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (1:2.5)	(M 2)	증류수 2ml: HNO_3 2ml: HClO_4 2ml: HF 10ml	M 2
$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (1:5)	(M 3)	$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{HF}$ (1:1:1) 10ml	M 3
$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (2.5:1)	(M 4)	$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{HF}$ (2:1:1) 10ml	M 4
$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (5:1)	(M 5)	$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{HF}$ (1:2:1) 10ml	M 5
$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{HF}$ (1:1:1)	(M 6)	$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{HF}$ (1:1:2) 10ml	M 6
$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{HF}$ (2.5:1:1)	(M 7)	$\text{HCl}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$ (3:1:2) 10ml	M 7
$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{HF}$ (1:2.5:1)	(M 8)	$\text{HCl}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$ (1:3:2) 10ml	M 8
$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4:\text{HF}$ (1:1:2.5)	(M 9)	HNO_3 (단독처리) 10ml	M 9
4N-HCl	(M 10)	$\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (1:2) 10ml	M 10

나. RE-Organic acid(RE-OA) chelate 제조 기술 개발

1) Re-OA 착화합물 형성과 수득율 검토

착화합물 형성을 위한 희토원소는 La, Ce, Pr, Nd로 모두 nitrate form을 사용 하였다. Chelating agent로 $\text{Na}_2\text{-EDTA}$, DCTA, DTPA, sodium citric acid, sodium tartaric acid, cysteine, methionine, glutamic acid, calcium ascorbic acid를 대상으로 하였다. 위에서 언급한 chelating agent와 희토원소를 이용하여 wet chleation reaction method를 개발하였다. 각각의 100mmole 희토원소용액 100mL

와 100mmole chelating agent 용액 100ml를 250mL를 혼합하여 진탕을 수행한다. 형성된 침전물을 여과·건조하여 생성된 RE-OA chelate 화합물의 수득율을 비교·검토하였다.

2) RE-OA 착화합물의 가시분광학적 특성분석

RE-OA 착화합물 가운데 비교적 수득율이 높은 킬레이트제는 EDTA, DCTA, DTPA, sodium tartaric acid로 나타났다. 이와 함께 sodium citric acid, sodium ascorbic acid, sodium phosphoric acid의 경우에는 부반응 생성물을 적절히 조절할 수만 있다면 DCTA, DTPA 등을 대체할 수 있는 합리적인 킬레이트제가 될 수 있을 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 RE-OA 화합물의 대량생산 체계를 유지할 필요가 있으므로 경제성 등을 고려하여 $\text{Na}_2\text{-EDTA}$, sodium citric acid, calcium ascorbic acid, sodium phosphoric acid에 의해 형성 RE-OA 화합물을 대상으로 가시분광학적 특성분석을 수행하였다.

다. Re-OA 착화합물의 수득율 향상 및 부반응 생성물의 반응개선

희토원소를 이용하여 복합체를 형성하는데 문제점으로 대두되고 있는 것 중의 하나가 sodium citrate, sodium phosphoric acid, sodium ascorbic acid를 이용하여 착화합물을 형성하는데 부반응 생성물이 너무 많아 정확한 희토복합체의 형성이 어렵다. 또한 이 같은 부반응 생성물의 양이 많다 보니 분리과정이 어려울 뿐만 아니라 희토복합체의 수득율도 낮게 나타나고 있는 실정이다. 이에 부반응물질의 양을 최소화하고 수득율을 향상시키기 위하여 반응안정제로 아미노산 계열인 cysteine이나 methionine을 이용하여 타당성을 검증하였다. 대상으로 하는 희토원소는 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 이었으며, 대상 착화합물은 sodium citric acid와 sodium phosphoric acid이다. 실험과정은 킬레이트 화합물 합성과정과 동일하며 마지막 반응단계에 동일 농도의 cysteine이나 methionine을 동일량 처리하여 반응생성물을 비교하였다.

2. 연구결과 및 고찰

가. 주요 희토원소의 분석방법 확립(La, Ce, Pr, Nd)

1) 분석기기의 조건 검토

분석결과 본 실험에 사용된 6가지 원소 모두 최대검출농도가 0.005ppm까지 가능하였으나, 0.01, 0.05, 0.1ppm을 사용하여 검량선을 작성시 가장 신뢰성이 높은 것으로 나타났다. 조사대상 희토원소의 표준검량선은 표 2-2과 그림 2-1, 2-2에 나타내었다.

표 2-2. 희토원소의 표준검량선 작성시 원소농도와 흡광도와와의 관계

Concentration	Absorbance					
	Y (410.2)	Sm(429.5)	Pr (495.1)	Ce (520.1)	La (550.1)	Nd (492.5)
0.001	-	-	-	-	-	-
0.005	0.00021	0.00345	0.00357	0.00123	0.00113	0.00135
0.01	0.00071	0.01343	0.01636	0.00400	0.00475	0.00401
0.05	0.05103	0.04998	0.05672	0.03738	0.04369	0.03717
0.1	0.10327	0.10189	0.09369	0.08471	0.09618	0.10100
0.5	0.51044	0.51405	0.49148	0.49173	0.50963	0.50457
1.0	1.03111	1.00272	0.98390	1.01326	1.01797	1.00585

() : ICP/AES의 검출파장, - : 검출한계 미만

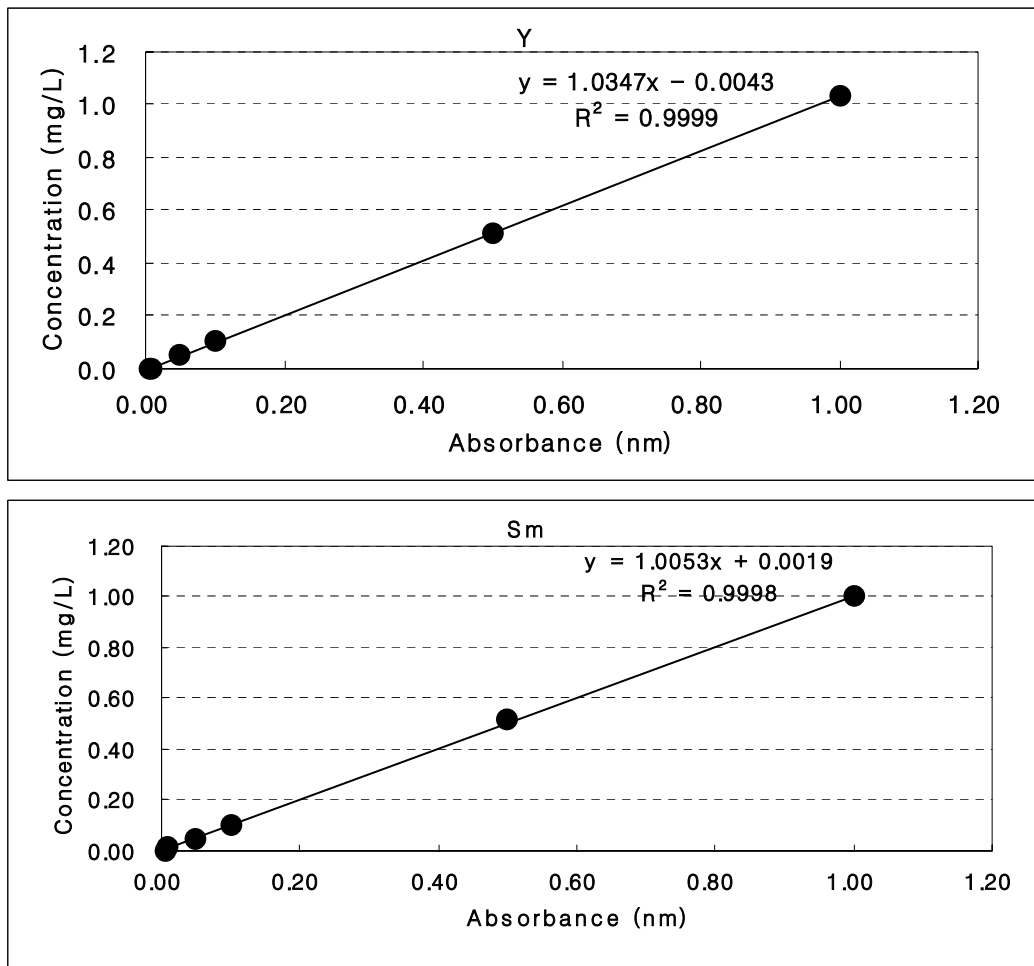


그림 2-1. Y (yttrium), Sm (samarium)의 표준검량선

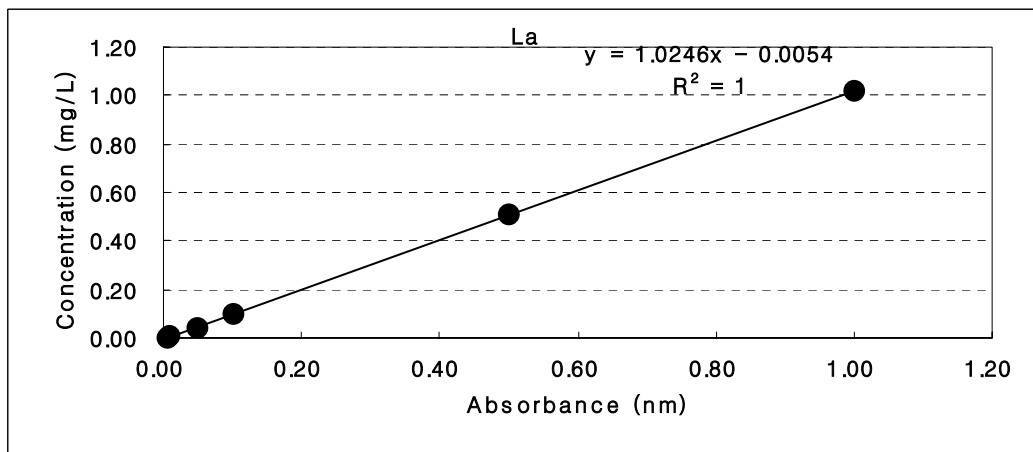
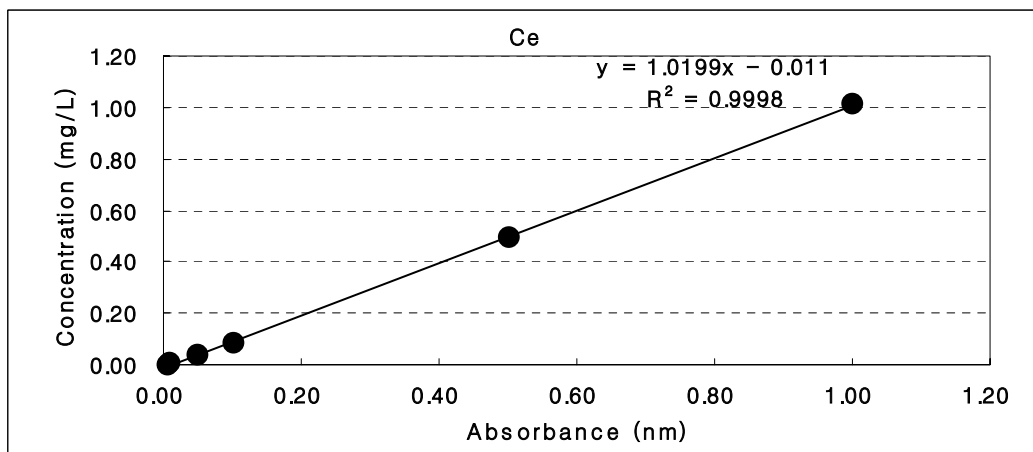
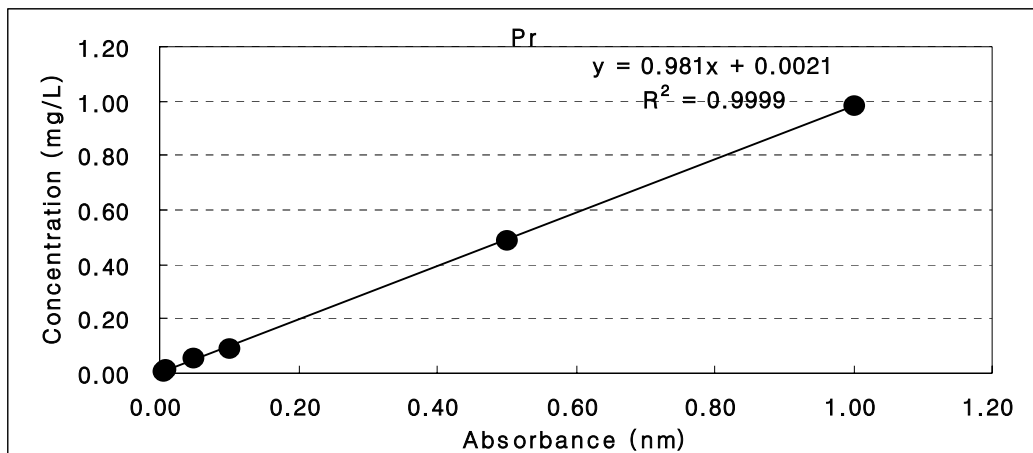


그림 2-2. Ce (cerium), La (lanthanum), Pr (praseodymium)의 표준검량선

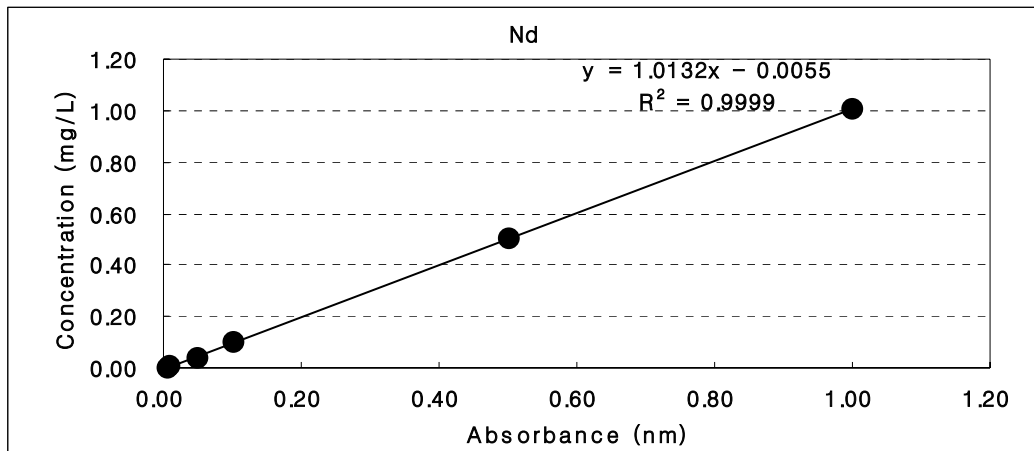


그림 2-2-1. Nd (neodymium)의 표준검량선

2) 식물체와 토양 시료 중 주요 희토원소의 분석방법 확립

가) 식물체중 희토원소의 추출

기준에 널리 사용되고 있는 식물체중 희토원소의 추출과 관련된 추출용액의 타당성을 검토한 결과는 다음과 같다 (그림 2-3 ~ 2-5). 한국지질자원연구소에서 제시하고 있는 식물체중 희토원소의 전처리 방법을 100%로 가정하여 본 실험방법에서 나타난 추출방법의 효율을 비교한 결과, Y의 경우 M7에서 가장 높게 나타난 반면, M10에서 가장 낮게 나타났다. 그 밖의 추출방법의 거의 효율이 유사하게 나타났다. La의 경우 M2에서 가장 높게 나타난 반면, M7과 M10에서 가장 낮게 나타났다. 그 밖의 추출방법의 거의 효율이 유사하게 나타났다. Ce의 경우 M7과 M10에서 가장 높게 나타난 반면, M2과 M8에서 가장 낮게 나타났다. 그 밖의 추출방법의 거의 효율이 유사하게 나타났다. Pr의 경우 M8에서 가장 높게 나타난 반면, M10에서 가장 낮게 나타났다. 그 밖의 추출방법의 거의 효율이 유사하게 나타났다. Nd의 경우 M10에서 가장 높게 나타난 반면, M7에서 가장 낮게 나타났다. 그 밖의 추출방법의 거의 효율이 유사하게 나타났다. Sm의 경우 M7에서 가장 높게 나타난 반면, M3과 M10에서 가장 낮게 나타났다. 그 밖의 추출방법의 거의 효율이 유사하게 나타났다.

전체 효율면에서 M7이 가장 높았으나 Nd의 추출효율이 낮아 적용하기에 무리가 있고, M2, M3, M4의 방법이 타당성이 있는 것으로 생각된다. 따라서 추후 본 연구에서는 질산과 과염소산의 비율을 2.5:1로 한 M3 방법을 이용하여 식물체중 희토원소의 분해를 수행하도록 표준화 하였다.

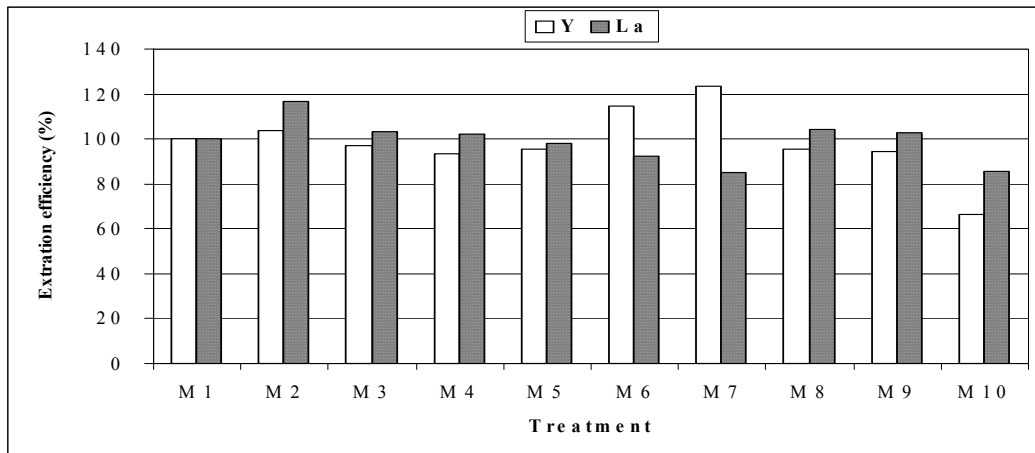


그림 2-3. 식물체 시료의 분해액에 따른 Y와 La의 추출효율 비교

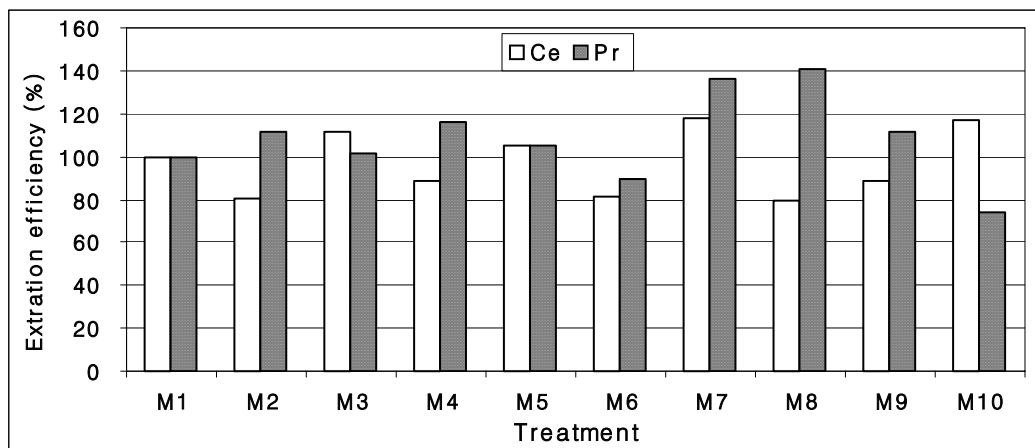


그림 2-4. 식물체 시료의 분해액에 따른 Ce와 Pr의 추출효율 비교

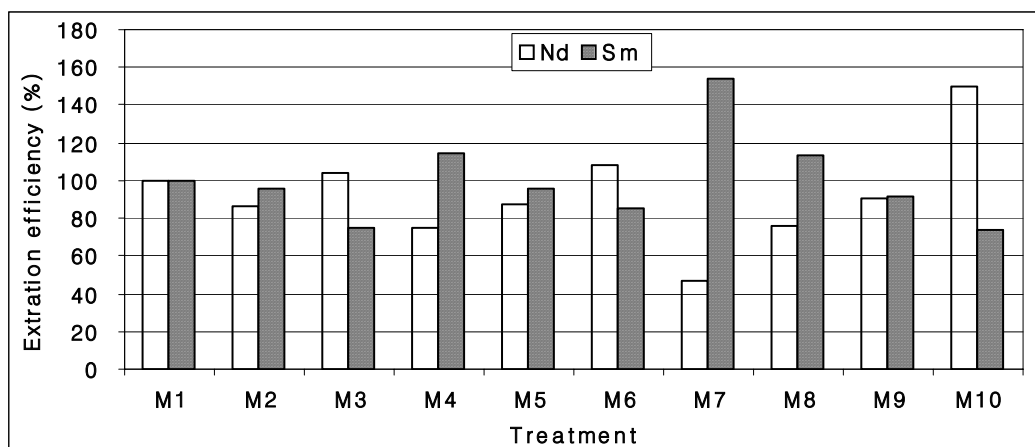


그림 2-5. 식물체 시료의 분해액에 따른 Nd와 Sm의 추출효율 비교

나) 토양 시료 중 희토원소의 추출

현재 국내에서 희토원소의 분석은 주로 한국지질자원연구소와 한국과학기술연구원 그리고 일부 과학기기 연구소에서 이루어져 왔다. 본 실험에서 도출된 결과는 한국지질자원연구소에서 추천하는 방법을 기준으로 하여 그 추출효율을 비교 검토하였다 (그림 2-6, 2-7, 2-8). Y원소의 경우 $M4 > M5 > M11 > M3$ 의 순으로 추출효율이 높게 나타났으며 M12에서 가장 낮게 나타났다. 추출효율은 최대 205.6%, 최소 66%를 나타내었다. La의 경우 M2에서 가장 높게 나타났을 뿐 대부분의 추출법에서 기준치보다 낮게 나타났다. 추출효율은 최대 105.8%, 최소 83.5%를 나타내었다. Ce의 경우, 거의 대부분의 추출방법에서 기준치보다 낮게 나타났다. Pr의 경우, $M8 > M3 > M12$ 의 순으로 추출효율이 높았으나 거의 대부분의 추출법에서 기준치와 유사하게 나타났다. Nd의 경우 추출효율이 가장 낮게 나타난 경우로서 거의 대부분의 추출법에서 효율이 30-40%로 낮게 나타났으나 M12에서 가장 높게 나타났다. 따라서 Nd원소의 단독분석의 경우 Na_2O_2 회화법이 유용할 것으로 생각된다. Sm의 경우 대부분의 추출법에서 기준치보다 높게 나타났으며 $M8 > M7 > M9 > M10$ 의 순으로 추출효율이 높게 나타났다. 결론적으로 여러 가지 희토원소를 한꺼번에 추출후 분석하는데 가장 효율적인 방법은 M4, M5, M7, M9, M11이 유용할 것으로 생각된다. 그러나 M7, M9, M11은 일반적인 중금속물질의 분해과정에 이용되는 방법인데 본 추출에서 일부 원소에서만 높은 추출효율은 나타내었을 뿐 범용성을 나타내지 못했다. 따라서 토양중 희토원소의 전처리는 M4와 M5가 타당할 것으로 생각되며, 본 연구에서는 M4의 $\text{HNO}_3\text{:HClO}_4\text{:HF}(2\text{:}1\text{:}1)$ 10ml 처리후 가열분해하는 방법을 적용하기로 하였다.

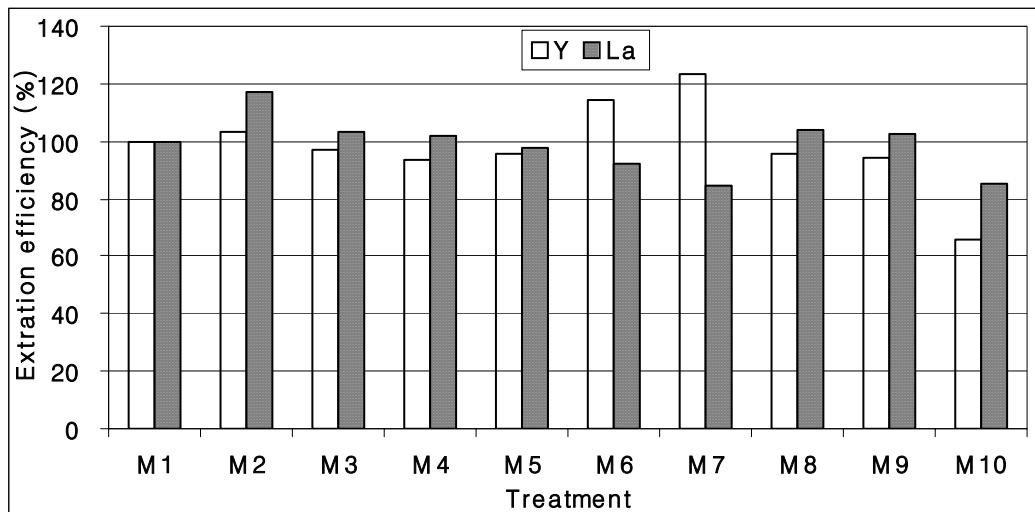


그림 2-6. 토양 시료의 분해액에 따른 Y와 La의 추출효율 비교

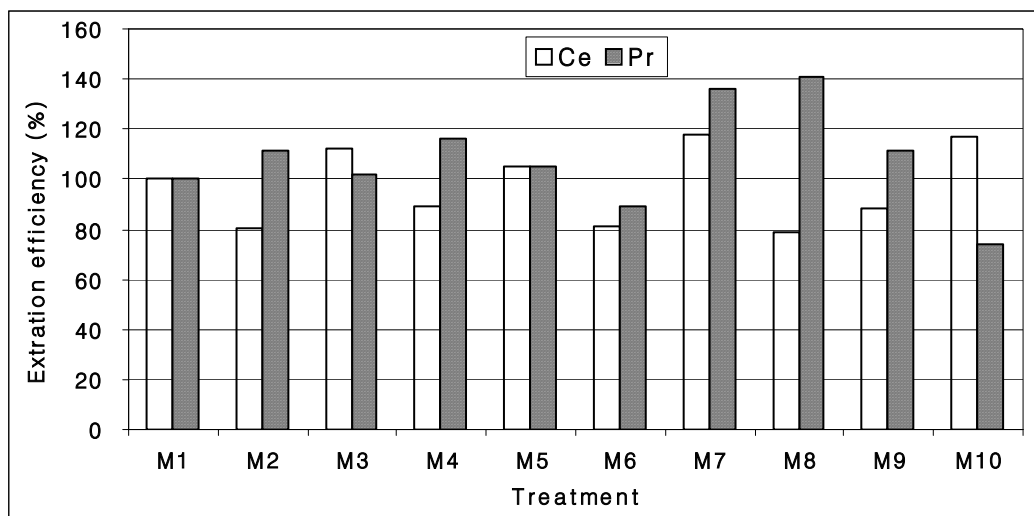


그림 2-7. 토양 시료의 분해액에 따른 Ce와 Pr의 추출효율 비교

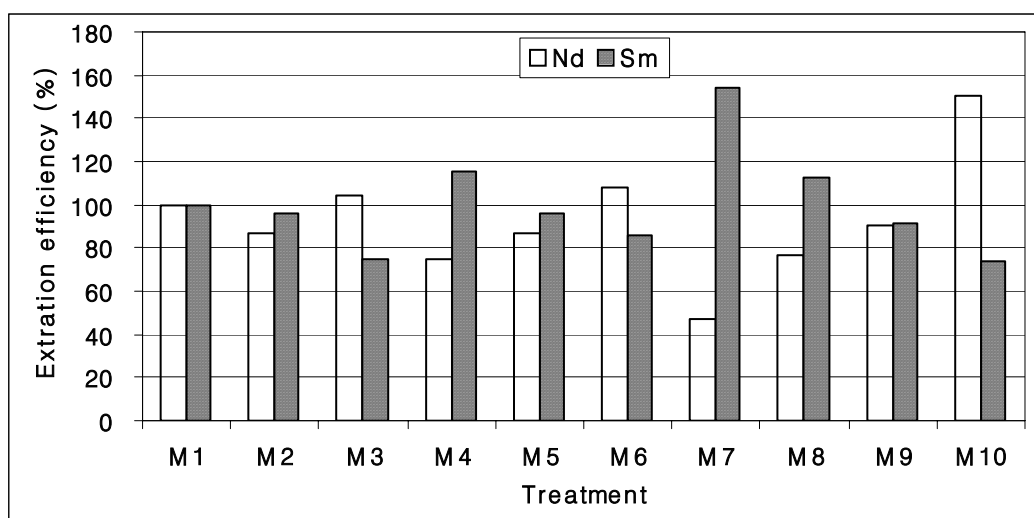


그림 2-8. 토양 시료의 분해액에 따른 Nd와 Sm의 추출효율 비교

나. RE-Organic acid(RE-OA) chelate 제조 기술 개발

1) Re-OA 착화합물 형성과 수득율 검토

실험결과, $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 는 대상 희토원소 4가지에서 모두 80% 정도의 회수율을

나타내었다. 그러나 sodium citric acid, sodium ascorbic acid, sodium phosphoric acid에서는 40-50%의 낮은 수득율과 함께 부반응 생성물의 양이 많아 목적하는 회토-유기산 킬레이트 화합물을 분리해 내는데 많은 어려움이 나타났다. 그리고 sodium tartaric acid, DCTA, DPPA에서는 약 70%의 수득율을 나타내었다. 마지막으로 아미노산 계열인 cysteine, methionine, glutamine에서는 회토원소와 침전반응을 나타내지 않아 정상적인 회토-아미노산 복합체의 형성반응을 유지할 수 없었다 (그림 2-9 ~ 2-13). 결론적으로 아미노산 화합물과의 복합체는 현실적으로 어려움이 있는 것으로 나타났으나, Na₂-EDTA, sodium tartaric acid, DCTA, DPPA는 70% 이상의 수득율을 나타내므로 회토킬레이트 화합물을 형성할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 40-50%의 낮은 수득율과 부반응 생성물을 과량 형성한 sodium citric acid, sodium ascorbic acid, sodium phosphoric acid에서는 부반응 생성물의 양을 줄일 수 있는 반응안정제를 활용하면 어느 정도 회토 킬레이트 복합체를 생성할 수 있을 것으로 나타났다.

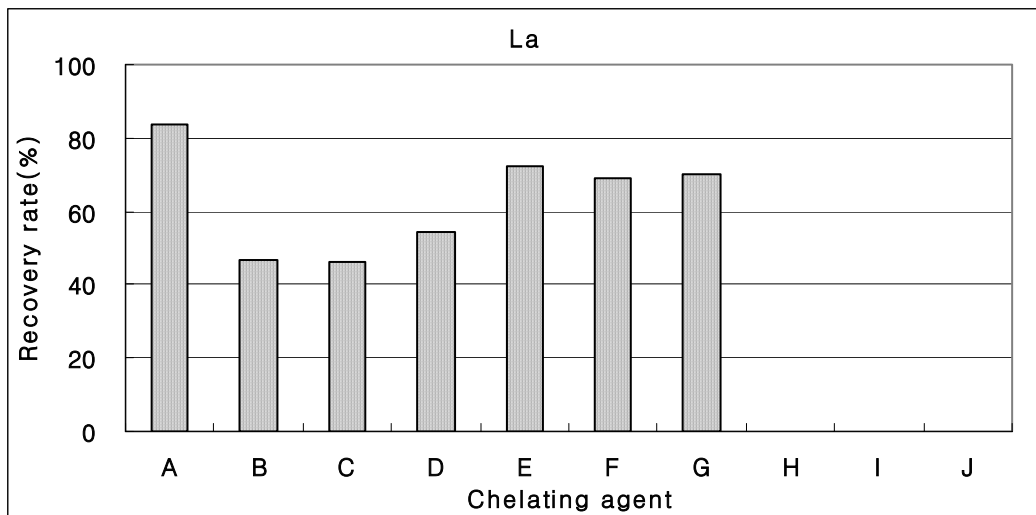


그림 2-9. Chelating agent와 lanthanum nitrate의 착화합물 형성시 수득율 비교

Na₂-EDTA (A) sodium citric acid (B) sodium ascorbic acid (C) sodium phosphoric acid (D) DCTA (E)
 DTPA (F) sodium tartaric acid (G) cysteine (H) methionine (I) glutamine (J)

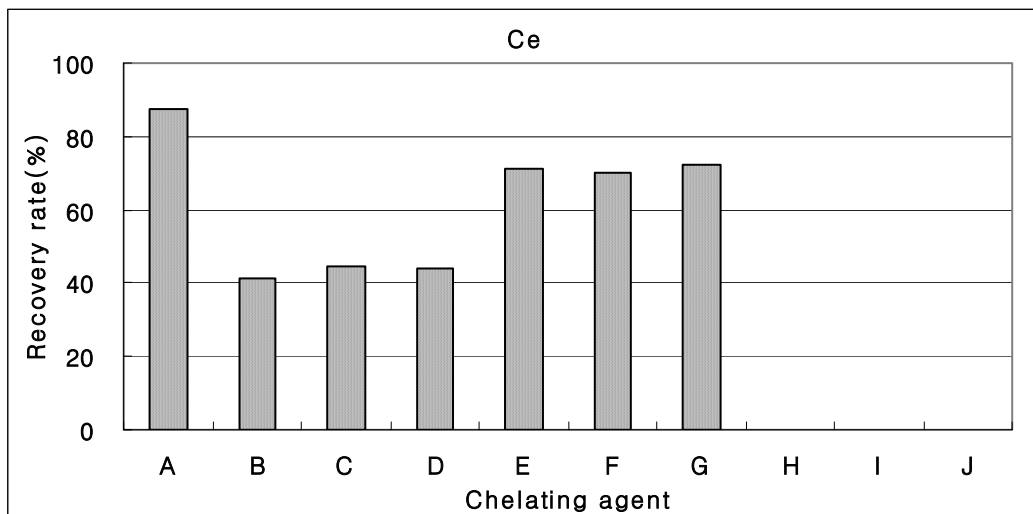


그림 2-10. Chelating agent와 cerium nitrate의 착화합물 형성시 수득율 비교

Na₂-EDTA (A) sodium citric acid (B) sodium ascorbic acid (C) sodium phosphoric acid (D) DCTA (E)
DTPA (F) sodium tartaric acid (G) cysteine (H) methionine (I) glutamine (J)

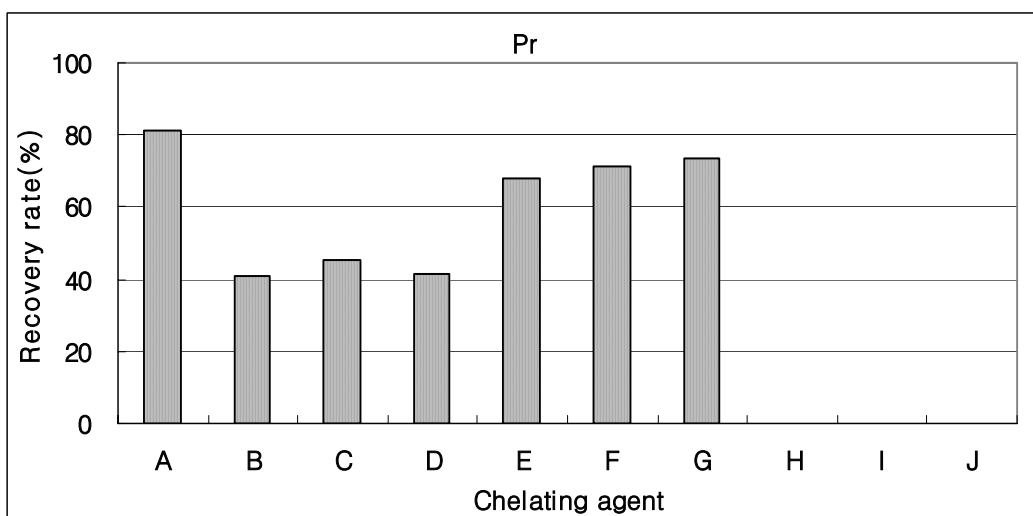


그림 2-11. Chelating agent와 praseodymium nitrate의 착화합물 형성시 수득율 비교

Na₂-EDTA (A) sodium citric acid (B) sodium ascorbic acid (C) sodium phosphoric acid (D) DCTA (E)
DTPA (F) sodium tartaric acid (G) cysteine (H) methionine (I) glutamine (J)

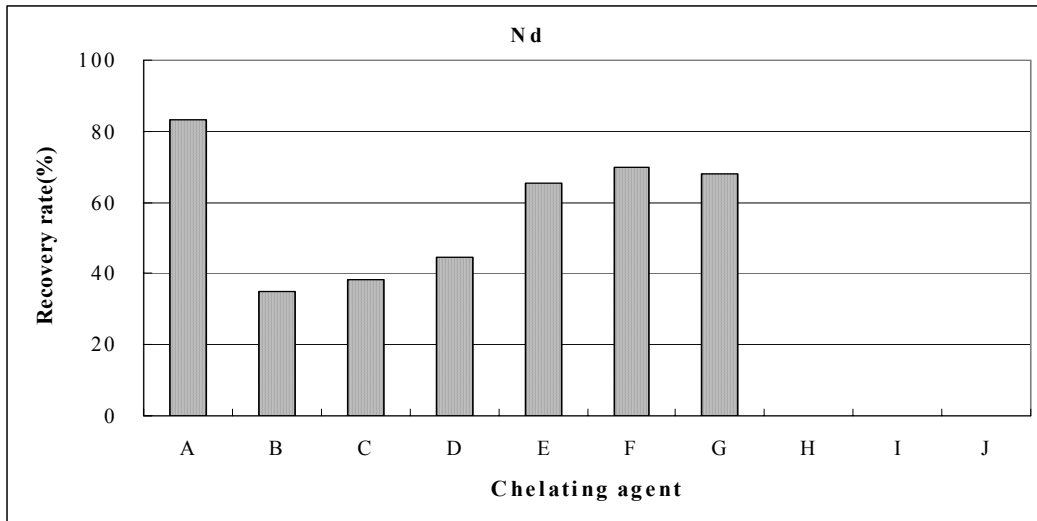


그림 2-12. Chelating agent와 neodymium nitrate의 착화합물 형성시 수득율 비교

Na₂-EDTA (A) sodium citric acid (B) sodium ascorbic acid (C) sodium phosphoric acid (D) DCTA (E)
 DTPA (F) sodium tartaric acid (G) cysteine (H) methionine (I) glutamine (J)

2) RE-OA 착화합물의 가시분광학적 특성분석

RE-OA 화합물을 디메틸포름아미드에 용해시켜 자외-가시선 스펙트럼의 흡수파장(λ)과 흡광도를 측정하여 새로이 합성된 착화합물의 가시분광학적 특성을 비교검토 하였다 (그림 2-13 ~ 2-17). La 화합물의 경우 Na₂-EDTA를 이용하여 킬레이트 화합물을 형성하였을 때 550nm에서 최대 2.988의 흡광도를 나타내었다. sodium citric acid의 경우에는 470nm에서 최대 흡광도 2.377, calcium ascorbic acid의 경우에는 380nm에서 최대 흡광도 2.969 그리고 sodium phosphoric acid의 경우에는 300nm에서 최대 흡광도 2.084를 나타내었다. La의 경우 동일한 원소의 경우라도 chelating agent의 종류에 따라 각각의 킬레이트 화합물의 흡수파장이 다른 값을 나타내고 있었다. Ce 화합물의 경우 Na₂-EDTA를 이용하여 킬레이트 화합물을 형성하였을 때 500nm에서 최대 3.0의 흡광도를 나타내었다. sodium citric acid의 경우에는 300nm에서 최대 흡광도 1.536, calcium ascorbic acid의 경우에는 400nm에서 최대 흡광도 2.782 그리고 sodium phosphoric acid의 경우에는 300nm에서 최대 흡광도 0.546를 나타내었다. 이와 같이 동일한 원소의 경우라도 chelating agent의 종류에 따라 각각의 킬레이트 화합물의 흡수파장이 다른 값을 나타내고 있었다. 한편, sodium citric acid에 의해 합성된 킬레이트 화합물과 sodium phosphoric acid에 의해 합성된 킬레이트 화합물은 흡광도 차이는 있었지만, 동일파장에서 최대의 흡광도를 나타내었다. Pr 화합물의 경우

Na₂-EDTA를 이용하여 킬레이트 화합물을 형성하였을 때 450nm에서 최대 2.458의 흡광도를 나타내었다. sodium citric acid의 경우에는 300nm에서 최대 흡광도 2.643, calcium ascorbic acid의 경우에는 300nm에서 최대 흡광도 2.334 그리고 sodium phosphoric acid의 경우에는 310nm에서 최대 흡광도 1.378를 나타내었다. 이와 같이 동일한 원소의 경우라도 chelating agent 의 종류에 따라 각각의 킬레이트 화합물의 흡수파장이 다른 값을 나타내고 있었다. 한편, sodium citric acid에 의해 합성된 킬레이트 화합물과 calcium ascorbic acid에 의해 합성된 킬레이트 화합물은 흡광도 차이는 있었지만, 동일파장에서 최대의 흡광도를 나타내었다. Nd 화합물의 경우 킬레이트 합성물별로 흡광도 차이는 있었지만 모두 300nm에서 최대의 흡광도를 나타내었다. 본 연구에서는 합성된 킬레이트 화합물에 대해 spectrophotometer를 이용한 가시분광학적 특성만을 비교 검토하였으나 추후 필요에 따라 제품의 대량생산체계를 유지할 경우 품질관리 측면에서 NMR, IR 등을 이용한 보다 정확한 특성분석이 필요할 것으로 판단된다.

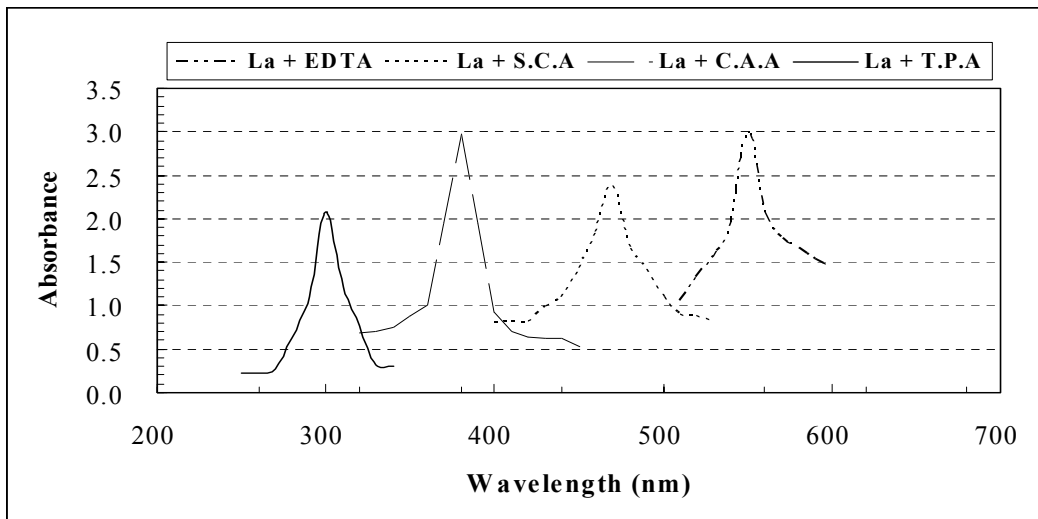


그림 2-13. Lanthanum과 chelating agent와의 착화합물 형성반응에서 생성된 화합물의 흡수파장

EDTA : Na₂-EDTA

CAA : calcium ascorbic acid

SCA : sodium citric acid

TPA : sodium phosphoric acid

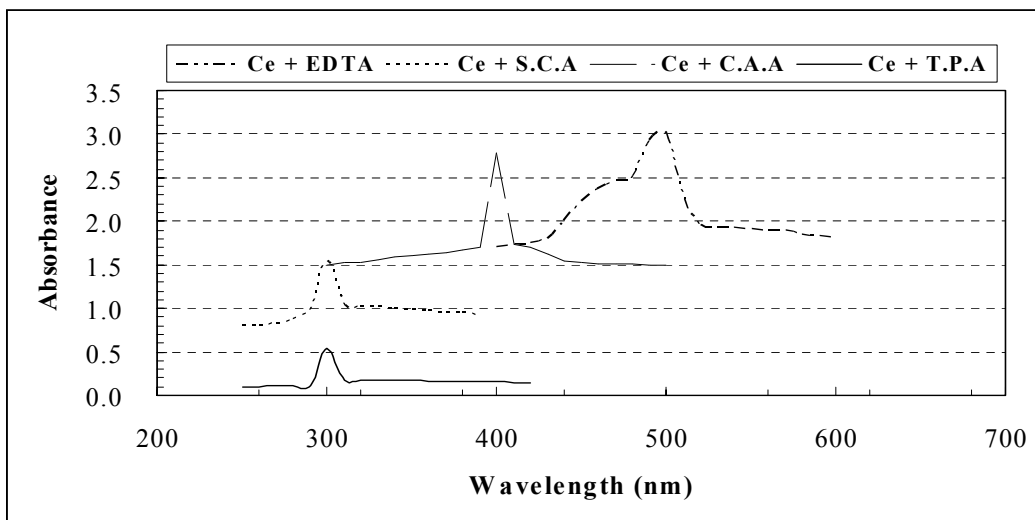


그림 2-14. Cerium과 chelating agent와의
착화합물 형성반응에서 생성된 화합물의 흡수파장

EDTA : $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ SCA : sodium citric acid
CAA : calcium ascorbic acid TPA : sodium phosphoric acid

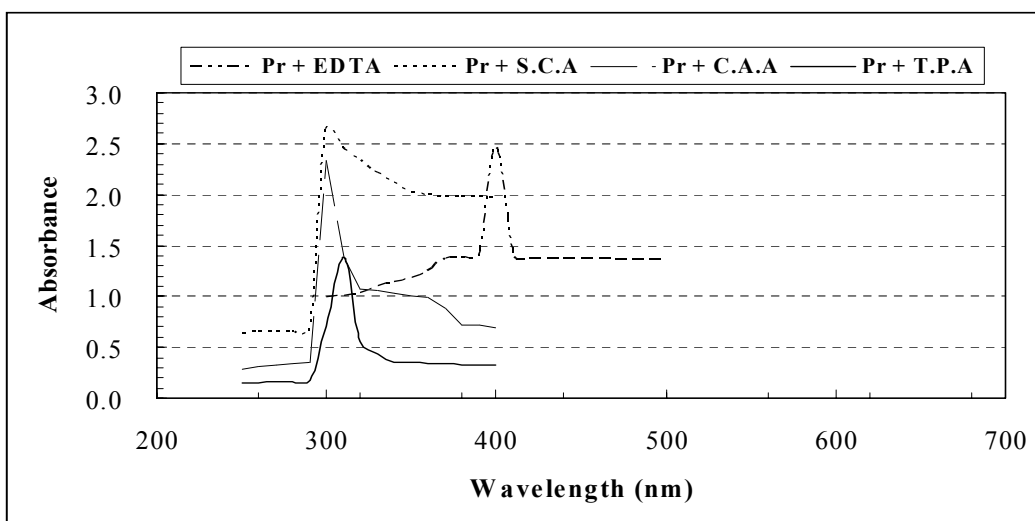


그림 2-15. Praseodymium과 chelating agent와의
착화합물 형성반응에서 생성된 화합물의 흡수파장

EDTA : $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ SCA : sodium citric acid
CAA : calcium ascorbic acid TPA : sodium phosphoric acid

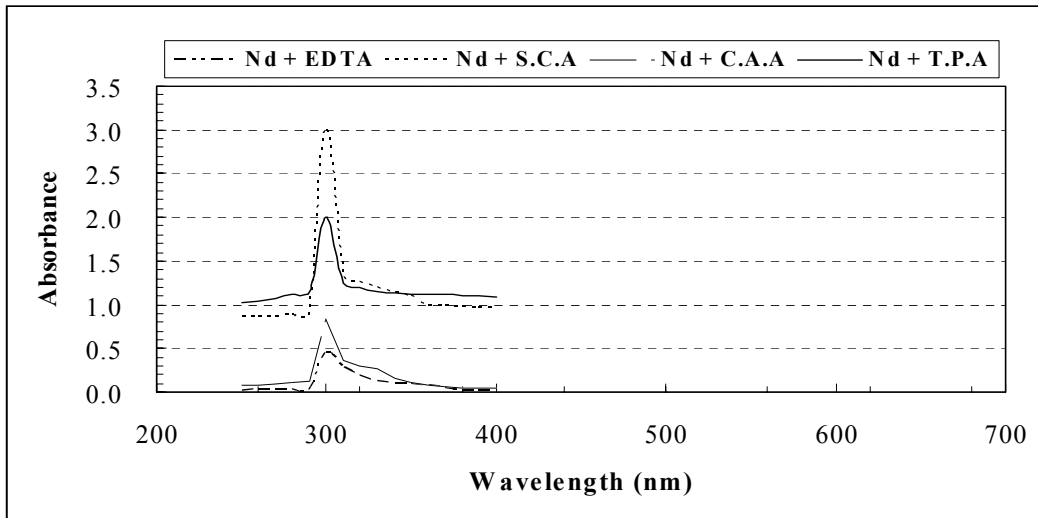


그림 2-16. Neodymium과 chelating agent와의 착화합물 형성반응에서 생성된 화합물의 흡수파장

EDTA : $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ SCA : sodium citric acid
CAA : calcium ascorbic acid TPA : sodium phosphoric acid

다. Re-OA 착화합물의 수득을 향상 및 부반응 생성물의 반응개선

Sodium citrate와 lanthanum nitrate의 착화합물 형성과정에 첨가한 cysteine과 methionine의 효과를 비교한 결과, 대조구의 수득율 46.6%에 비해 cysteine 100mmole 첨가시 약 24% 정도 수득율이 향상되었다. 동일 농도에서 methionine의 경우는 22% 정도 수득율이 향상된 것으로 조사되었다 (그림 2-17). Sodium ascorbic acid와 lanthanum nitrate의 착화합물 형성과정에 첨가한 cysteine과 methionine의 효과를 비교한 결과, 대조구의 수득율 46.1%에 비해 cysteine 100mmole 첨가시 약 18% 정도 수득율이 향상되었다. 동일 농도에서 methionine의 경우는 16% 정도 수득율이 향상된 것으로 조사되었다 (그림 2-18). Sodium phosphoric acid와 lanthanum nitrate의 착화합물 형성과정에 첨가한 cysteine과 methionine의 효과를 비교한 결과, 대조구의 수득율 54.4%에 비해 cysteine 100mmole 첨가시 약 22% 정도 수득율이 향상되었다. 동일 농도에서 methionine의 경우는 16% 정도 수득율이 향상된 것으로 조사되었다 (그림 2-19 ~ 2-22). Lanthanum nitrate를 대상으로 세 가지 chelating agent의 효과를 비교한 결과 sodium citrate>sodium phosphoric acid>sodium ascorbic acid의 순서로 나타났으며, methionine 보다 cysteine이 회토원소의 착화합물 형성반응에서 부반응 생성물의 형성 억제, 침전형성상수를 상승시킨 것으로 조사되었다.



그림 2-17

Lanthanum nitrate와 sodium citrate을 이용한 킬레이트 화합물 조제시 반응안정제로 cysteine을 각각 0, 10, 50, 100mmole을 첨가시 화학반응의 형태



그림 2-18

Lanthanum nitrate와 sodium citrate을 이용한 킬레이트 화합물 조제시 반응안정제로 methionine을 각각 0, 10, 50, 100mmole을 첨가시 화학반응의 형태

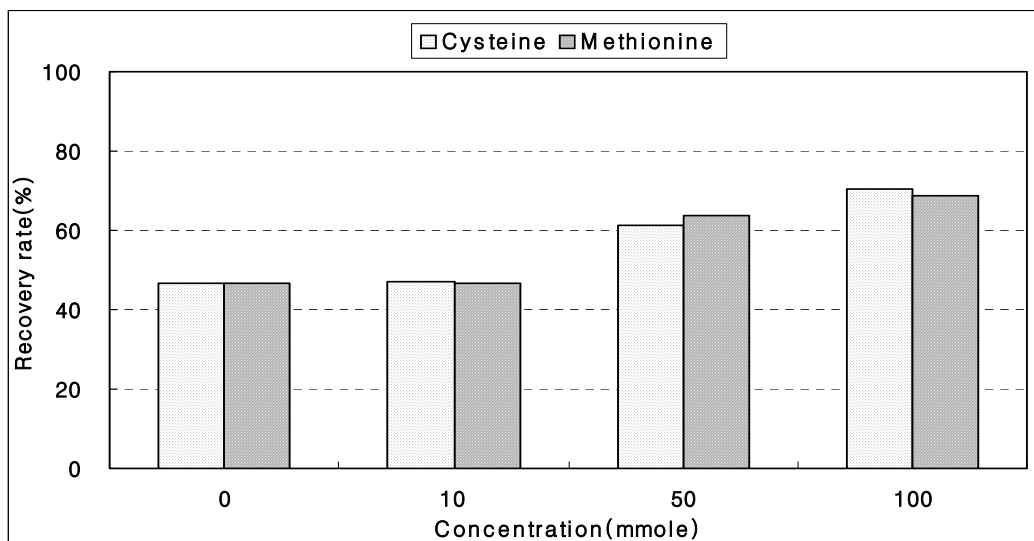


그림 2-19. sodium citrate와 lanthanum nitrate의 착화합물 형성과정에 첨가된 methionine과 cysteine의 효과

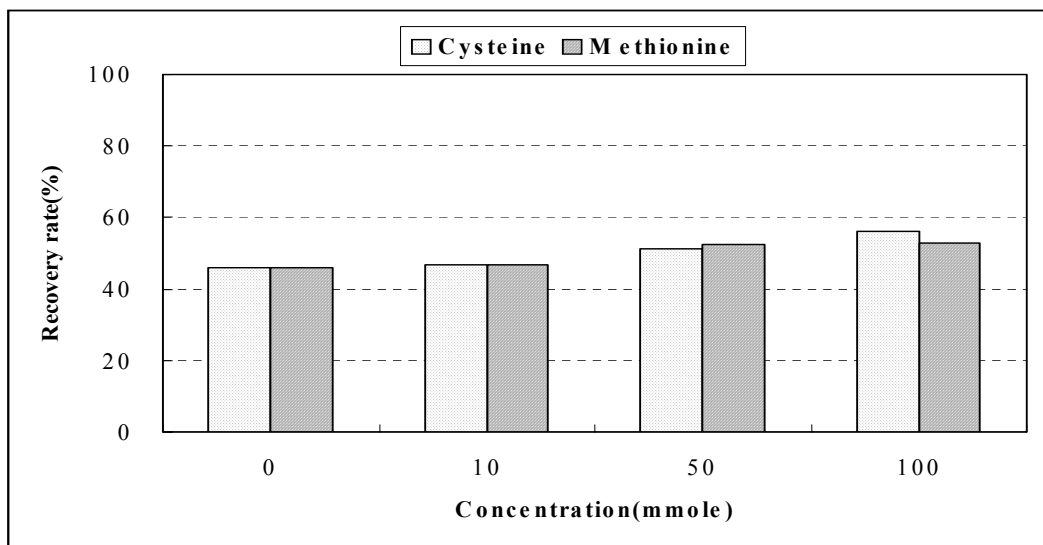


그림 2-20. calcium ascorbic acid와 lanthanum nitrate의 착화합물 형성과정에 첨가된 methionine과 cysteine의 효과

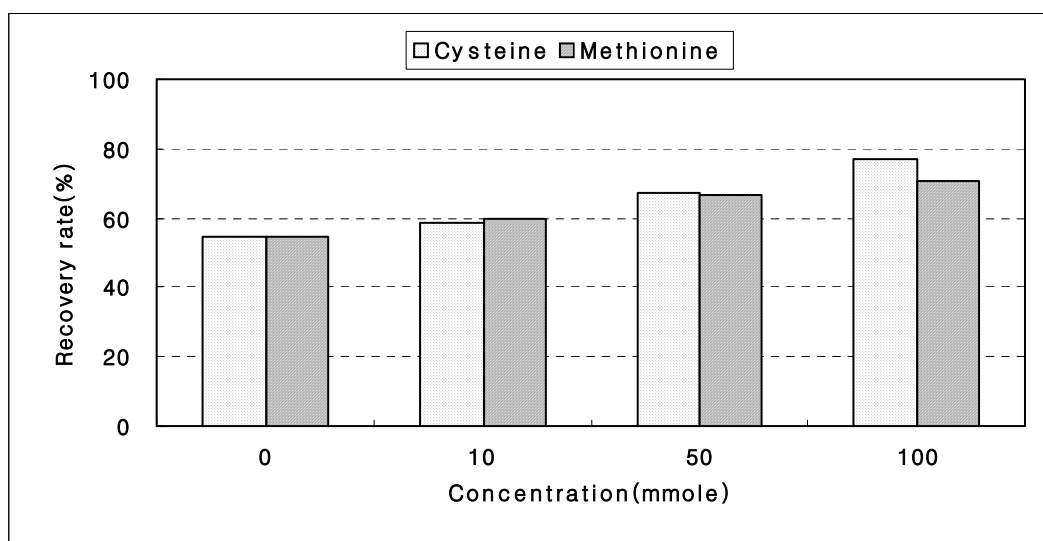


그림 2-21. sodium phosphoric acid와 lanthanum nitrate의 착화합물 형성과정에 첨가된 methionine과 cysteine의 효과

제 3 절 세부과제 3 : 사료작물용 희토 복합비료 개발

1. 희토 원소별 농도가 사료작물의 출현과 생육에 미치는 영향

가. 서 론

환경과 건강에 대한 관심이 높아지면서 친환경 농업에 의한 농산물 생산이 최근 확대일로에 있다. 안전 농산물에 대한 수요증가와 국제적으로 강화되고 있는 농업환경 관련 규제가 앞으로는 친환경농업으로 갈 수 밖에 없는 상황이다. UR 이후의 Green Round에 대비하여 정부차원에서도 본격적인 친환경 농업 개발 및 육성을 위하여 2001년 1월에는 친환경 육성법을 제정하여 여러 가지 친환경 농업을 추진하고 있다. 여러 가지 친환경 농업 중 최근 희토에 대한 관심이 많아지면서 희토에 의한 친환경 농산물 생산에 대한 연구가 가축, 사료작물, 채소, 과수 및 경종작물 등 농업전반에 걸쳐 활발하게 진행되고 있다.

희토 원소는 동식물체의 각종 효소 및 생리활성물질, 호르몬 등의 發現과 활성 촉진되어 양적, 질적 성장촉진을 통한 수량제고와 품질향상, 내병성 및 내환경성 증진, 농약잔류량 및 질산염의 강하 효과가 현저한 것으로 밝혀졌다. 따라서 본 연구는 희토 농도별 사료작물 종자의 출현율과 성장반응, 엽록소 함량, 뿌리활력 등에 미치는 영향을 조사하여 사료작물에 적합한 적정 희토 농도를 찾고자 하였다.

나. 재료 및 방법

전북대학교 사료작물학 실험실에서 2001년 11월 12일에 $Nd(NO_3)_3$ 0, 50, 100, 300, 500, 800ppm용액에 옥수수과 이탈리안라이그라스 종자를 각각 6시간동안 침지한 다음 실온에서 음건하여 실험에 사용하였다. Vermiculite를 2cm 깊이로 채운 직경 20cm petri-dish에 100립씩 초종당 4반복으로 파종한 다음 1cm깊이로 복토하여 단단하게 눌러 주었다. 수분은 발아에 충분하도록 일정량을 공급하였으며, 2~3일간격으로 수분을 보충하여 주었다.

- 1). 매일 일정한 시간에 출현된 개체수를 조사하여 Hsu 등(1984)의 logistic model을 적용하여 다음과 같은 공식으로 출현력을 산출하였다.

$$\text{Cumulative Emergence Percentage(CER)} : Y = \frac{A}{1 + e^{-\frac{\sum E_i}{t}}}$$

Emergence Rate(ER) = $\frac{\sum E_i}{t}$

Maximum Emergence Rate(MER)

Et50 : 총 발아율의 50%에 도달하는 일수

2) 수량조사 : 상토에 옥수수, 수수, 이탈리아라이그라스 종자를 2002년 4월 6일에 파종하여 정착된 유식물을 5월 1일에 이식하여 양액 재배하였다. Lincoln액을 사용하여 양액재배(DFT 방식)하였는데 용액조성은 표1과 같다. 초종별로 4반복, 반복당 8주씩 난괴법으로 배치하여 재배하였다. 란단계 원소중 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 0, 20, 50, 100, 300, 800ppm 용액을 5월 4일과 5월 22일에 각각 엽면살포하여 6월 17일에 수확하였다.

표 3-1. 양액재배에 사용된 용액 성분조성(mg/l)

pH	CF	P	S	K	Mg	Ca	Cl	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NH}_3\text{-N}$
6.5	21	46	90	303	32	274	333	0.5	0.04	3.0	0.5	0.01	0.25	97	194

다. 결과 및 고찰

1) $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 출현율 실험

Corn				
RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	97.0	33.9 ^{b**}	16.4	2.5
5 ppm	98.8	35.1 ^{ab}	15.5	2.5
10 ppm	97.5	36.0 ^a	17.3	2.4
30 ppm	98.0	35.0 ^{ab}	16.4	2.5
50 ppm	95.8	34.7 ^{ab}	15.3	2.4

Alfalfa

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	73.0	30.5	17.0	2.1
5 ppm	76.3	33.6	20.6	1.9
10 ppm	68.0	30.0	15.3	2.0
30 ppm	71.3	33.2	20.8	1.8
50 ppm	72.0	31.2	20.6	1.8

Italian ryegrass

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	57.5	15.9 ^{ab}	10.2 ^c	3.0 ^b
5 ppm	54.8	15.7 ^{ab}	11.5 ^{bc}	2.8 ^a
10 ppm	57.3	17.1 ^a	14.1 ^a	2.7 ^a
30 ppm	56.8	16.5 ^a	13.0 ^{ab}	2.8 ^a
50 ppm	50.3	14.3 ^b	11.0 ^{bc}	2.8 ^a

총출현율(TEP)에는 모든 초종 공히 회토 처리효과가 나타나지 않았으며, 출현속도(ER)에서는 옥수수과 Italian ryegrass가 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 10ppm 처리에서 유의적인 ($p>0.01$) 촉진효과가 있었다. 최대출현속도(MGR)는 Italian ryegrass에서 10ppm 처리가 효과가 있었고, 총발아율의 50%에 도달하는 일수(Et50)도 Italian ryegrass 10ppm 처리에서 0.3일 단축효과가 있었다. Alfalfa에서는 모든 출현력 검정에서 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 처리에 대한 통계적인 유의성이 나타나지 않았다.

2) $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 출현율 실험

Corn

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	92.0	12.4 ^b	4.9 ^{ab}	6.4 ^b
50 ppm	93.0	13.6 ^{ab}	4.9 ^{ab}	6.4 ^b
100 ppm	92.5	14.9 ^a	6.2 ^a	5.7 ^a
300 ppm	92.0	14.2 ^a	4.6 ^b	6.1 ^{ab}
500 ppm	92.0	14.4 ^a	4.8 ^{ab}	6.2 ^{ab}
800 ppm	92.0	13.8 ^{ab}	5.4 ^{ab}	6.0 ^{ab}

Alfalfa

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	61.0	14.4	6.9	3.8
50 ppm	58.5	13.6	5.6	3.9
100 ppm	62.5	14.7	6.5	3.9
300 ppm	59.0	13.7	6.0	3.9
500 ppm	61.5	14.5	6.9	3.8
800 ppm	57.5	12.8	4.6	4.1

Italian ryegrass

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	54.5	11.0	5.5	4.5
50 ppm	46.0	9.2	4.4	4.4
100 ppm	54.0	10.8	6.2	4.5
300 ppm	50.0	9.6	4.6	4.8
500 ppm	51.5	10.7	5.3	4.3
800 ppm	52.5	10.9	4.5	4.5

옥수수의 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 처리에서는 100ppm 처리에서 ER, MER, Et50에서 공히 유의적인 처리효과가 있었으며, alfalfa 와 Italian ryegrass 처리에서도 100ppm에서 좋은 출현력을 보여주었으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다.

3) $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$ 출현율 실험

Corn

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	96.0	18.2	9.1	4.8
50 ppm	97.0	18.9	7.7	4.8
100 ppm	98.0	19.3	8.2	4.7
300 ppm	97.5	18.7	9.1	4.9
500 ppm	95.5	19.3	8.2	4.6
800 ppm	96.7	19.0	8.6	4.7

Alfalfa

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	44.0 ^a	9.0 ^{ab}	4.3 ^{ab}	4.4
50 ppm	44.0 ^a	9.2 ^a	5.1 ^{ab}	4.1
100 ppm	47.5 ^a	10.3 ^a	5.4 ^a	4.0
300 ppm	42.5 ^a	8.5 ^{ab}	4.1 ^{ab}	4.4
500 ppm	47.5 ^a	10.8 ^a	5.1 ^{ab}	3.9
800 ppm	33.0 ^b	6.8 ^b	3.0 ^b	4.3

Italian ryegrass

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	48.0	9.1	4.9	4.7
50 ppm	49.5	9.3	4.6	4.8
100 ppm	50.5	9.3	5.0	4.8
300 ppm	57.5	10.8	6.0	4.7
500 ppm	56.6	10.4	5.6	4.8
800 ppm	48.0	9.2	4.9	4.6

Pr(NO₃)₃ 처리효과는 alfalfa는 100ppm 처리구에서 유의하게 TEP, ER, MER이 양호하였으며, 옥수수는 Pr(NO₃)₃ 처리효과가 없었다. Italian ryegrass는 300ppm에서 가장 양호하였으나 처리간 유의성은 없었다.

4) Nd(NO₃)₃ 출현율 실험

Corn

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	97.5	16.2 ^b	5.9 ^b	5.7 ^c
50 ppm	96.0	16.6 ^{ab}	7.3 ^a	5.3 ^a
100 ppm	95.0	16.5 ^{ab}	7.3 ^a	5.3 ^a
300 ppm	97.5	17.0 ^a	8.1 ^a	5.3 ^a
500 ppm	97.0	16.6 ^{ab}	7.9 ^a	5.5 ^b
800 ppm	96.5	16.5 ^{ab}	8.1 ^a	5.4 ^{ab}

Alfalfa

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	33.5	7.1	3.6	4.3
50 ppm	36.0	6.6	2.8	5.0
100 ppm	34.5	6.4	2.8	4.9
300 ppm	29.5	6.1	4.2	4.3
500 ppm	24.5	4.8	2.5	4.4
800 ppm	25.0	4.4	1.8	5.0

Italian ryegrass

RE concentration	TEP	ER	MER	Et50
0 ppm	47.5 ^{ab}	8.4 ^{ab}	4.9	5.0
50 ppm	49.5 ^{ab}	8.7 ^{ab}	4.7	4.9
100 ppm	50.0 ^{ab}	8.9 ^{ab}	5.4	5.0
300 ppm	41.5 ^b	7.4 ^b	4.3	5.0
500 ppm	46.0 ^{ab}	8.0 ^{ab}	4.4	5.1
800 ppm	53.0 ^a	9.2 ^a	4.9	5.1

옥수수에서 있어서 총 출현율은 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 처리효과가 전혀 나타나지 않았으나 출현속도는 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 300ppm에서 4.9% 향상되었으며 최대출현속도도 무처리구 5.9에 비해 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 300ppm 처리구에서는 8.1로 37.3%가 향상되었다($p < 0.01$). 총 출현율의 50%에 도달하는 일수는 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 처리로 0.4일이 단축되어 옥수수종자에 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 300ppm을 처리함으로서 단시일 내에 많은 종자가 출현되고 출현에 소요되는 일수도 단축시키는 효과가 있었다.

알팔파는 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 처리효과가 없었으며, 이탈리아라이그라스 종자에 대한 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 처리효과는 800ppm에서 가장 좋은 결과가 나타났는데 총 출현율은 11.6%, 출현속도는 9.5%가 향상되었으나 통계적인 유의성은 없었다. 최대출현속도와 총출현율의 50%에 도달하는 일수에서는 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 처리효과가 나타나지 않았다.

옥수수는 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 50~300ppm 처리에서 처리효과가 인정되었다. Alfalfa에서도 50~300ppm에서 출현력이 향상되었으나 통계적인 유의성은 없었다.

총출현율(TEP)은 모든 처리구에서 전반적으로 회토처리 효과가 나타나지 않았으며, alfalfa는 $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$ 800ppm, Italian ryegrass는 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 800ppm 처리에서 출현력이 오히려 크게 저하되었다. 출현속도(ER)는 특히 옥수수에서 회토 처리효과가 많았는데,

La(NO₃)₃ 처리가 6.2%, Ce(NO₃)₃ 20.2%, Pr(NO₃)₃ 43.4, Nd(NO₃)₃ 4.9%의 처리효과가 있었다. Italian ryegrass는 La(NO₃)₃ 7.5%, Nd(NO₃)₃ 9.5%로 약간의 처리효과가 있었다. 최대출현속도(MER)는 옥수수는 Ce(NO₃)₃ 100ppm에서 26.5%, Nd(NO₃)₃ 300ppm에서 37.3%, Italian ryegrass는 La(NO₃)₃ 10ppm 처리에서 38.2%의 효과가 나타났으나 alfalfa는 800ppm 처리에서 오히려 크게 저하되었다. 총출현율의 50%에 도달하는 일수(Et50)는 옥수수에서 Ce(NO₃)₃ 처리가 0.7일, Nd(NO₃)₃ 처리가 0.4일 단축되었다.

5) 옥수수 수량에 대한 희토처리 효과

가) 지상부 생초수량(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	18.6	21.0	23.5	16.4
20 ppm	14.7	17.1	22.3	21.3
50 ppm	20.3	19.4	26.6	27.0
100 ppm	18.9	20.5	23.6	26.8
300 ppm	17.1	20.4	21.6	25.2
800 ppm	15.1	19.5	19.5	19.0

나) 지상부 건물수량(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	2.45	2.77	2.90	2.16
20 ppm	1.91	2.30	2.99	2.79
50 ppm	2.65	2.52	3.47	3.61
100 ppm	2.42	2.68	3.23	3.66
300 ppm	2.27	2.67	3.11	3.68
800 ppm	2.07	2.69	2.64	2.65

다) 지하부 생초중(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	15.3	14.2	15.8	13.1
20 ppm	12.3	13.4	11.6	14.1
50 ppm	13.6	13.5	16.3	19.2
100 ppm	13.1	14.3	16.5	17.6
300 ppm	12.9	14.9	16.8	17.4
800 ppm	10.4	13.5	15.3	13.5

라) 지하부 건물중(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	1.38	1.33	1.55	1.17
20 ppm	1.08	1.18	1.20	1.34
50 ppm	1.16	1.21	1.56	1.78
100 ppm	1.14	1.28	1.64	1.73
300 ppm	1.11	1.29	1.59	1.61
800 ppm	0.94	1.21	1.53	1.28

옥수수 수량에 미치는 La(NO₃)₃와 Ce(NO₃)₃ 처리효과는 전혀 없었으며, Pr(NO₃)₃ 50ppm 처리에서 19.7%의 건물증가 효과가 있었다. Nd(NO₃)₃ 처리는 지상부 약 70%, 지하부 52%의 건물증가 효과를 얻을 수 있었다.

6) 수수 수량에 대한 희토처리 효과

가) 지상부 생초수량(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	6.9	3.8	3.0	5.8
20 ppm	3.7	3.4	3.3	7.2
50 ppm	5.5	5.8	5.4	8.4
100 ppm	5.5	5.5	6.5	7.8
300 ppm	4.3	4.5	6.9	8.2
800 ppm	4.4	4.0	7.3	9.0

나) 지상부 건물수량(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	0.64	0.32	0.26	0.54
20 ppm	0.34	0.34	0.30	0.75
50 ppm	0.54	0.56	0.49	0.80
100 ppm	0.54	0.58	0.53	0.74
300 ppm	0.45	0.47	0.68	0.83
800 ppm	0.39	0.39	0.71	1.26

다) 지하부 생초중(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	4.1	4.3	2.4	4.4
20 ppm	3.2	2.9	2.8	4.1
50 ppm	3.6	4.4	4.3	4.5
100 ppm	5.0	4.2	4.2	5.8
300 ppm	5.7	3.3	5.5	6.2
800 ppm	3.8	3.7	6.2	11.1

라) 지하부 건물중(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	0.20	0.15	0.09	0.18
20 ppm	0.12	0.16	0.09	0.21
50 ppm	0.14	0.19	0.20	0.25
100 ppm	0.17	0.20	0.20	0.24
300 ppm	0.21	0.16	0.21	0.34
800 ppm	0.12	0.16	0.29	0.63

La(NO₃)₃와 Ce(NO₃)₃는 300~500ppm 처리에서수량이 약간 증가되었으며, Pr(NO₃)₃와 Nd(NO₃)₃ 처리에서는 처리농도가 증가할수록 수량도 크게 증가하였는데, Pr(NO₃)₃와 Nd(NO₃)₃ 800ppm 처리시 지상부 건물증가율은 각각 173, 133%이었고 지하부(뿌리)는 222, 250%로 크게 증가되었다.

7) 이탈리아라이그라스 수량에 대한 회토처리 효과

가) 지상부 생초수량(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	2.25	4.0	5.7	1.7
20 ppm	2.70	2.7	3.1	3.3
50 ppm	3.15	2.9	3.4	3.2
100 ppm	3.33	5.2	6.3	3.5
300 ppm	4.38	5.0	3.3	3.9
800 ppm	3.28	4.9	3.0	2.9

나) 지상부 건물수량(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	0.37	0.57	0.86	0.33
20 ppm	0.40	0.40	0.48	0.51
50 ppm	0.45	0.51	0.48	0.56
100 ppm	0.53	0.73	0.92	0.48
300 ppm	0.71	0.80	0.57	0.64
800 ppm	0.51	0.70	0.47	0.46

다) 지하부 생초중(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	1.1	3.0	4.2	1.1
20 ppm	1.7	1.9	2.4	2.1
50 ppm	2.0	2.1	4.2	2.5
100 ppm	2.6	2.5	2.5	2.3
300 ppm	2.3	3.2	2.2	2.6
800 ppm	2.3	3.1	2.0	1.8

라) 지하부 건물중(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	0.06	0.17	0.27	0.05
20 ppm	0.10	0.14	0.15	0.13
50 ppm	0.14	0.17	0.25	0.16
100 ppm	0.21	0.17	0.18	0.15
300 ppm	0.17	0.26	0.16	0.17
800 ppm	0.16	0.26	0.15	0.15

Italian ryegrass의 생육에 미치는 희토 처리효과는 La(NO₃)₃, Ce(NO₃)₃, Nd(NO₃)₃ 처리에서 크게 나타났는데, La(NO₃)₃, Ce(NO₃)₃, Nd(NO₃)₃ 100~300ppm 처리시 지상부 건물수량 증가는 각각 91.9, 40.4, 93.9%이었다. 지하부 생육에서도 La(NO₃)₃, Ce(NO₃)₃, Nd(NO₃)₃ 100~300ppm 처리에서 건물증가율이 각각 250, 52.9, 240%로 지상부에 비해 월등하게 증가되었다.

8) 알팔파 수량에 대한 희토처리 효과

가) 지상부 생초수량(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	8.6	6.2	8.5	7.9
20 ppm	10.2	6.7	6.2	6.8
50 ppm	9.5	4.8	7.4	6.0
100 ppm	8.4	3.8	6.3	6.2
300 ppm	8.3	3.5	5.8	5.4
800 ppm	7.3	3.3	5.8	5.0

나) 지상부 건물수량(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	1.24	0.81	1.26	1.36
20 ppm	1.43	0.87	0.85	1.0
50 ppm	1.39	0.70	1.23	0.93
100 ppm	1.31	0.47	0.96	1.03
300 ppm	1.26	0.48	0.86	0.76
800 ppm	1.22	0.46	0.70	0.67

다) 지하부 생초중(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	4.2	4.6	5.6	5.5
20 ppm	8.6	6.3	4.8	5.2
50 ppm	8.2	3.0	5.8	5.2
100 ppm	6.2	3.4	5.9	5.4
300 ppm	5.8	2.9	5.4	4.8
800 ppm	2.1	2.7	4.4	4.5

라) 지하부 건물중(g/plant)

구 분	La(NO ₃) ₃	Ce(NO ₃) ₃	Pr(NO ₃) ₃	Nd(NO ₃) ₃
0 ppm	0.24	0.25	0.34	0.38
20 ppm	0.38	0.31	0.27	0.31
50 ppm	0.36	0.2	0.30	0.29
100 ppm	0.35	0.25	0.29	0.34
300 ppm	0.27	0.16	0.25	0.27
800 ppm	0.11	0.14	0.22	0.25

Alfalfa는 전반적으로 희토처리로 인해 생육 저해현상이 나타났으며 처리농도가 높을수록 피해가 커졌다. 지상부 건물중은 Ce(NO₃)₃, Pr(NO₃)₃, Nd(NO₃)₃ 처리로 무처리에 비해 각각 43.2, 44.4, 50.7%가 감소되었다. 반면 La(NO₃)₃와 Ce(NO₃)₃의 저농도(20ppm) 처리에서는 건물수량이 각각 지상부 15.3, 7.4%, 지하부 58.3, 24.0%가 증가되었다.

Nd(NO₃)₃ 처리농도가 옥수수 생장에 미치는 영향은 Nd(NO₃)₃ 처리로 옥수수의 지상부와 지하부 생육이 크게 향상되었으며 종자출현에서와 마찬가지로 Nd(NO₃)₃ 300ppm에서 가장 좋은 결과를 나타내었다. Nd(NO₃)₃ 300ppm 처리로 옥수수 지상부와 지하부 생장량은 건물중이 무처리구에 비해 각각 25.9%와 79.5%가 증가하여 지상부에 비해 지하부 생육이 크게 향상되었다. 수단그라스에서는 Nd(NO₃)₃ 처리효과가 더욱 두드러지게 나타났는데 수단그라스에서는 Nd(NO₃)₃ 처리농도가 증가할수록 생육이 크게 향상되어 800ppm에서 가장 생장이 우수하였다. 800ppm 처리로 수단그라스의 지상부와 지하부 건물중은 무처리에 비해 각각 64.8% 및 138.9%의 향상효과를 보여주었으며 통계적으로도 유의성(p<0.001)이 매우 높았다. 그러나 이탈리아라이그라스에서는 옥수수와 수단그라스에 비해서는 Nd(NO₃)₃ 처리효과가 크지 않았는데 무처리구에 비해 Nd(NO₃)₃ 300ppm 처리로 지상부 건물중은 48.8%, 지하부는 21.4%가 향상되었다. 그리고 옥수수와 수단그라스는 Nd(NO₃)₃ 처리는 지상부보다는 지하부의 생육이 크게 향상되었으나 이탈리아라이그라스에서는 Nd(NO₃)₃ 처리로 지하부보다 지상부의 생육이 향상되었다.

라. 적요

La(NO₃)₃, Ce(NO₃)₃, Pr(NO₃)₃, 및 Nd(NO₃)₃ 0, 50, 100, 300, 500, 800ppm 용액에 옥수수, Italian ryegrass 및 alfalfa 종자를 각각 6시간 동안 침지한 다음

vermiculite에 1cm 깊이로 파종하여 출현력을 조사하였다, 또한 옥수수, 수수, Italian ryegrass 및 alfalfa 유식물을 Lincoln액에 양액 재배하여 지상부와 지하부 생육을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 용액처리는 모든 초종에서 공히 10ppm처리로 가장 좋은 출현효과를 얻었다.
- 2) $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 용액처리에 있어서 옥수수는 100ppm 처리에서 ER, MER, Et50에 유의하게 좋은 결과를 보여 주었다. Italian ryegrass 및 alfalfa도 100ppm에서 좋은 출현력을 나타냈으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다.
- 3) $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$ 처리는 옥수수에서는 처리효과가 없었으며, Italian ryegrass는 300ppm에서 양호하였다. Alfalfa는 100ppm에서 TEP, ER, MER 모두 유의하게 양호하였다.
- 4) 옥수수는 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 300ppm용액에 침지한 종자가 ER, MER, Et50에서 양호하였으며, alfalfa에서는 오히려 저해현상이 나타났다. Italian ryegrass는 농도간 일정한 경향이 없었다.
- 5) 옥수수 수량에 미치는 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 와 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 처리효과는 없었으며, $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$ 는 50ppm에서 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 는 50~300ppm에서 건물 증수 효과가 있었다.
- 6) 수수에서는 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 와 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 는 300~500ppm에서 수량이 약간 증가하였으며, $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$ 와 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 는 처리농도가 증가할수록 수량도 크게 증가하였다.
- 7) Italian ryegrass는 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 및 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 처리는 100~300ppm에서 건물수량이 크게 증가하였으며, 특히 지상부에 비해 지하부의 건물수량 증가가 더 컸다.
- 8) Alfalfa는 희토처리로 생육저해현상이 나타났으며, 처리농도가 높을수록 피해가 더 컸다.

2. 희토 복합비료 개발에 관한 연구

가. 서론

희토원소의 생물학적인 응용연구는 1917년 중국 전충수의 실험으로 희토 중 Ce가 水綿에 특수한 작용이 있다는 것을 발견한 이후부터이다. 1930년대에 러시아와 동구라파 국가들의 연구에 의하여 완두, 옥수수, 소맥, 사탕무 등에 희토원소가 일정한 범위 내에서 작물의 성장발육과 생리활성을 촉진한다는 것이 밝혀졌다. 농작물에 대한 희토 효과의 본격적인 실험은 중국에서 1970년대 초반부터 시작되었는데 그동안 희토는 종자의 발아촉진, 뿌리의 활력과 생장촉진, 엽록소 함량과 광합성 능력 향상에 의한 지상부 생육 촉진 및 생산량 증대 효과가 있다고 보고 되고 있다. 희토는 식물생장에 필요한 영양소는 아니지만 일정한 농도에서는 확실히 뿌리의 활력을 높여주어 식물의 영양소에 대한 흡수를 촉진하고, 엽록소 함량과 광합성 능력을 높이며, 효소의 활성을 증강하며 물질대사를 촉진하여 목초, 사료작물 및 일반 농작물의 성장발육을 촉진하고 생산량과 품질을 높인다고(장 등, 2000) 보고 되어 있다.

그러나 국내에서는 희토에 대한 목초나 사료작물에 관한 연구가 전혀 이루어진 바 없다. 그리고 희토비료를 전량 중국에 의존하고 있는 실정으로 우리나라 기후 토양환경에 맞는 희토 복합비료의 개발이 절실하게 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 원료희토에 각종 미량원소와 생육촉진제 등을 첨가하여 우리나라에 맞는 희토복합비료를 개발하고자 하였다.

나. 재료 및 방법

희토 제품 실험 : 알팔파, Italian ryegrass, 옥수수 종자를 2003년 3월 15일에 상토에 처리별 4반복으로 파종하여 3월 28일과 4월 18일 두 차례에 걸쳐 희토제품 1000배액을 각각 엽면살포하였으며, 5월 19일에 수확하였다. 처리내용으로는 무처리, 원료희토(RRE), RRE+생육촉진제, RRE+미량원소, RRE+복합영양, 수입 희토 비료이다.

- 1) **엽록소 함량** : 생초 1g을 80% ethyl alcohol 20ml로 추출하여 80% acetone을 가한 용액을 UV Visible Spectrophotometer(Pharmacia Biotech, England)로 663 및 645nm에서 각각 chlorophyll-a와 b를 측정하여(농기연법, 1975) Bruinsma (1961) 방법으로 계산하였다.
- 2) **뿌리활력** : 물로 씻어 여지로 수분을 제거한 뿌리 1~2g을 100ml 삼각flask에 취하여 40ppm α -naphthylamine 용액과 M/10 인산 완충액의 동량 혼합액 50ml를 가하여 가볍게 흔든다. 이 용액 2ml에 10ml의 증류수를 넣고 여기에 1% sulfanilic acid 용액 1ml와 100ppm NaNO₂ 용액 1ml를 가하여 각반하고 5

분간 실온에서 발색시킨 후 증류수로 20ml가 되게 액량을 맞추어 10nm에서 측정하며, α -naphthylamine 의 표준곡선을 그려서 뿌리 1g당 시간당 α -naphthylamine 의 산화력을 측정하였다.

다. 결과 및 고찰

1) Alfalfa에 대한 희토비료 시비효과

Table 3-2. Effect of rare earth application on the growth of alfalfa.

Treatments*	Plant height (cm)	Leaf thickness (mm)	Tillers (NO/plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry matter weight (g/plant)
Control	16.6	0.29 ^b	7.4 ^c	18.32	2.84
Raw RE	17.2	0.34 ^{ab}	8.5 ^{bc}	20.66	3.36
RE+PGR	19.9	0.33 ^{ab}	11.1 ^a	20.05	3.27
RE+minerals	18.8	0.36 ^a	10.4 ^{ab}	19.54	3.08
RE+multinutrient	15.6	0.37 ^a	9.9 ^{ab}	18.62	3.02
RE fertilizer	17.8	0.30 ^{ab}	10.2 ^{ab}	22.33	3.51

* RE : rare earth, PGR : plant growth regulator

1차년도 실험과 예비실험을 통하여 결정된 적정농도의 미량원소, 복합영양, 비료 및 생육촉진제를 원료희토에 첨가하여 만든 희토비료를 알팔파에 처리한 결과는 표1에서 보는 바와 같다. 희토처리로 알팔파의 초장은 약간 커졌으나 통계적인 유의성은 없었다. 무처리구의 잎 두께는 평균 0.29mm이었으나 희토처리로 두꺼워졌는데, 원료희토, 희토+생육촉진제, 희토 비료구는 유의성이 없는 범위 내에서 약간 증가하였다. 그러나 희토+미량원소 처리구와 희토+복합영양 처리구는 무처리구에 비해 잎 두께가 유의하게 증가하였다. 알팔파의 수량은 모든 희토처리구에서 생초 및 건물수량이 증가하였으나 유의성은 나타나지 않았다. 분얼경수는 희토처리로 34~50%가 증가되었는데($p<0.05$) 특히 생육촉진제 첨가구에서 증가율이 가장 높았다.

2) Italian ryegrass에 대한 희토비료 시비효과

이탈리안라이그라스는 희토처리로 초장이 커졌으며, 생육 조절제 처리구가 가장 컸으나 처리간 유의성은 나타나지 않았다. 잎 두께도 희토처리로 두꺼워졌는데 특히 희토+생육촉진제 처리구, 희토+미량원소 첨가구, 희토비료 처리구의 잎 두께가 유의하게 증가하였다. 무처리구의 주당 평균 분얼경수는 34.2개이었으나 희토처리로 35.4~44.3로 증가하였는데 희토+미량원소 처리구와 희토비료 처리구에서 분얼경 발생이 가장 많이 촉진되었다.

엽중 엽록소함량도 원료희토처리구를 제외한 여타 희토처리구에서 모두 유의하게 증가하였는데 특히 희토+생육촉진제 처리구에서 엽록소 증가가 가장 많이 이루어졌다($p<0.05$). 희토처리로 이탈리안라이그라스의 뿌리 활력이 증가되는 경향이었으나 처리간 유의성은 없었다. 모든 희토처리구에서 이탈리안라이그라스의 생초수량과 건물수량이 증가하였으며 특히 희토+미량원소 첨가구와 희토비료 처리구에서 가장 높은 생초 및 건물이 생산되었다.

Table 3-3. Effect of rare earth application on the growth of Italian ryegrass.

Treatments*	Plant height (cm)	Leaf thickness (mm)	Tillers (NO/plant)	Chlorophyll ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)
Control	44.01	0.36 ^c	34.2	8.66 ^d
Raw RE	45.33	0.38 ^c	39.2	8.50 ^d
RE+PGR	54.83	0.43 ^{ab}	39.3	12.51 ^a
RE+minerals	44.67	0.43 ^{ab}	44.3	10.86 ^c
RE+multinutrient	49.17	0.39 ^{bc}	35.4	11.77 ^b
RE fertilizer	51.58	0.46 ^a	44.3	10.78 ^c

RE : rare earth, PGR : plant growth regulator

Table 3-4. Effect of rare earth application on the yield of Italian ryegrass.

Treatments*	1st cut		2nd cut		Total	
	Fresh weight (g/plant)	Dry matter weight (g/plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry matter weight (g/plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry matter weight (g/plant)
Control	19.92	2.72	20.35 ^{ab}	4.99	40.27	7.71
Raw RE	18.42	2.95	23.82 ^{ab}	6.07	42.34	9.02
RE+PGR	21.45	3.36	24.73 ^{ab}	6.24	46.18	9.6
RE+minerals	22.66	3.56	31.94 ^a	7.07	54.6	10.63
RE+multinutrient	20.20	3.04	27.20 ^{ab}	6.46	47.4	9.5
RE fertilizer	28.02	4.09	27.72 ^{ab}	6.44	55.74	10.53

* RE : rare earth, PGR : plant growth regulator

3) Corn에 대한 희토비료 시비 효과

Table 3-5. Effect of rare earth application on the growth of corn.

Treatments*	Plant height (cm)	Leaf thickness (mm)	Fresh weight (g/plant)	Dry matter weight (g/plant)
Control	81.05 ^b	2.06	52.58	4.93 ^b
Raw RE	89.17 ^a	2.23	58.83	6.01 ^{ab}
RE+PGR	89.42 ^a	2.03	64.72	5.98 ^{ab}
RE+minerals	91.08 ^a	2.28	66.06	6.35 ^a
RE+multinutrient	84.92 ^{ab}	2.08	56.34	5.27 ^{ab}
RE fertilizer	87.6 ^a	2.07	62.08	5.79 ^{ab}

* RE : rare earth, PGR : plant growth regulator

옥수수에 각종 희토를 처리하였을 때 초장, 잎 두께, 뿌리활력 등이 커졌으며 수량도 증가하였다. 희토+미량원소 처리구의 건물수량이 무처리구에 비하여 유의하게 증가하였는데 약 29%의 수량증가 효과가 있었다. 희토 처리 중 희토+미량원소 첨가구가 모든 면에서 가장 양호하였으나 희토처리구 간에 유의성은 인정되지 않았다.

식물에 있어서 뿌리의 발육은 매우 중요하다. 특히 유식물기에 빠른 뿌리의 발육은 지상부 생육보다 더욱 중요한 의미를 가지고 있다. 따라서 지하부(뿌리)에 대한 지상부(줄기+잎)의 비율(T/R율)이 낮을수록 초기에 뿌리가 건실하게 성장하였음을 의미한다. 본 실험에서 알팔파, 이탈리아라이그라스 및 옥수수에서 희토처리로 T/R율이 공히 감소하였다(그림 1). 알팔파 무처리구의 T/R율은 0.83이었으나 희토처리로 0.57~0.71로 낮아졌다. 이탈리아라이그라스는 무처리구의 T/R율은 2.15이었으나 희토처리구는 1.92~2.08로 뿌리비율이 높아졌다. 옥수수에서도 희토처리로 T/R율이 19.1~28.4% 낮아졌다. 이들 사료작물 중에서 옥수수가 초기 뿌리발육이 가장 왕성하였으며 다음이 알팔파이었다.

희토처리는 식물체의 건물율을 증가시키는 경향이 있었는데, 그림2에서 보는 바와 같이 알팔파 무처리구의 건물율은 15.5%이었으나 희토처리로 15.7~16.3%로 증가되었다. 이탈리아라이그라스에서도 무처리구의 건물율은 13.7%이었는데 희토처리구에서는 14.6~16.0%로 증가하였다.

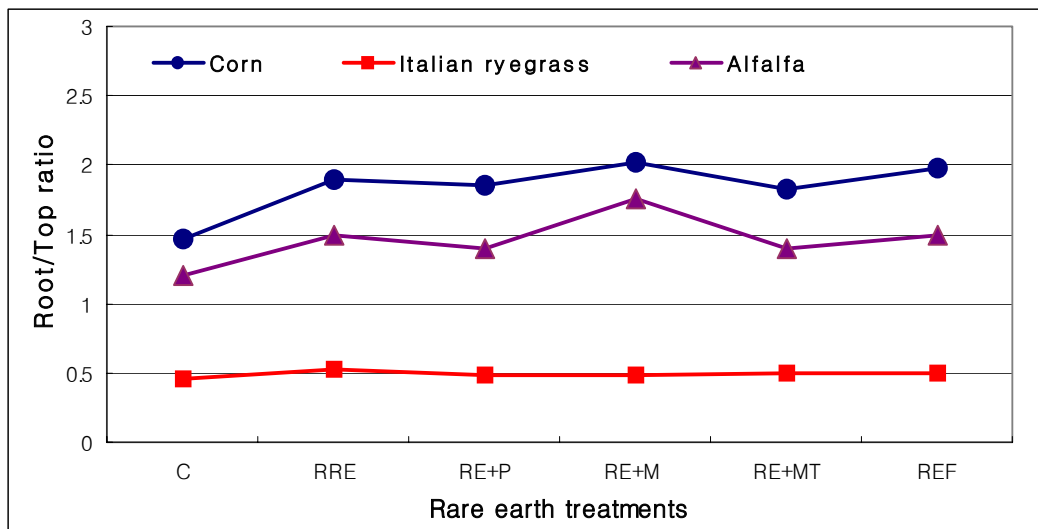


Fig. 3-1. Effect of rare application on root/top ratio of forage crops.

C : control RRE : raw rare earth RE+P : rare earth+ plant growth regulator
 RE+M ; rare earth+minerals RE+MT : rare earth+multi-nutrient REF : rare earth fertilizer

식물에 있어서 뿌리의 발육은 매우 중요하다. 특히 유식물기에 빠른 뿌리의 발육은 지상부 생육보다 더욱 중요한 의미를 가지고 있다. 따라서 지하부(뿌리)에 대한 지상

부(줄기+잎)의 비율(T/R율)이 낮을수록 초기에 뿌리가 건실하게 성장하였음을 의미한다. 본 실험에서 알팔파, 이탈리아라이그라스 및 옥수수에서 희토처리로 T/R율이 공히 감소하였다(그림 3-1). 알팔파 무처리구의 T/R율은 0.83이었으나 희토처리로 0.57~0.71로 낮아졌다. 이탈리아라이그라스는 무처리구의 T/R율은 2.15이었으나 희토처리구는 1.92~2.08로 뿌리비율이 높아졌다. 옥수수에서도 희토처리로 T/R율이 19.1~28.4% 낮아졌다. 이들 사료작물 중에서 옥수수가 초기 뿌리발육이 가장 왕성하였으며 다음이 알팔파이었다.

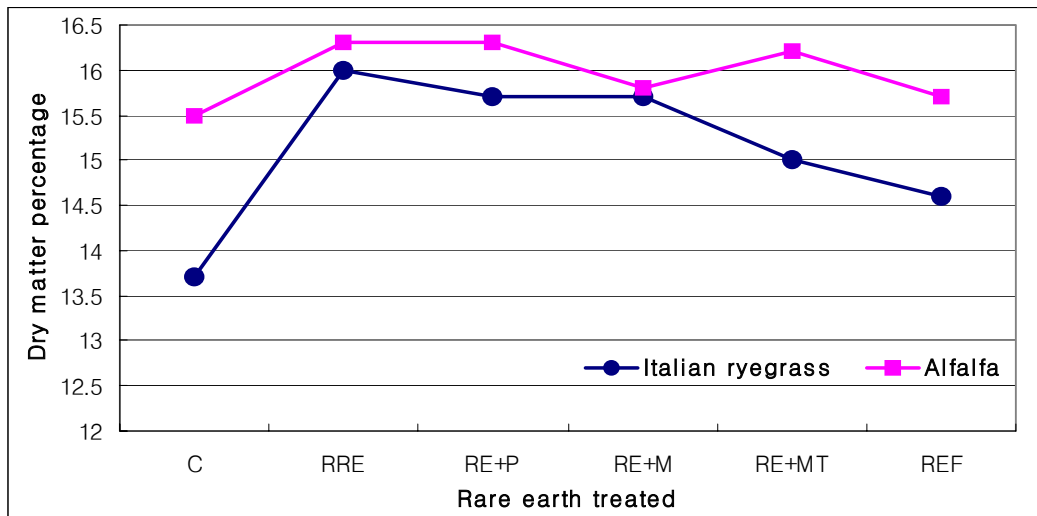


Fig. 3-2. Dry matter percentage of forage crops treated with rare earth.

C : control RRE : raw rare earth RE+P : rare earth+ plant growth regulator
 RE+M ; rare earth+minerals RE+MT : rare earth+multi-nutrient REF : rare earth fertilizer

희토처리는 식물체의 건물율을 증가시키는 경향이 있었는데, 그림3-2에서 보는 바와 같이 알팔파 무처리구의 건물율은 15.5%이었으나 희토처리로 15.7~16.3%로 증가되었다. 이탈리아라이그라스에서도 무처리구의 건물율은 13.7%이었는데 희토처리구에서는 14.6~16.0%로 증가하였다.

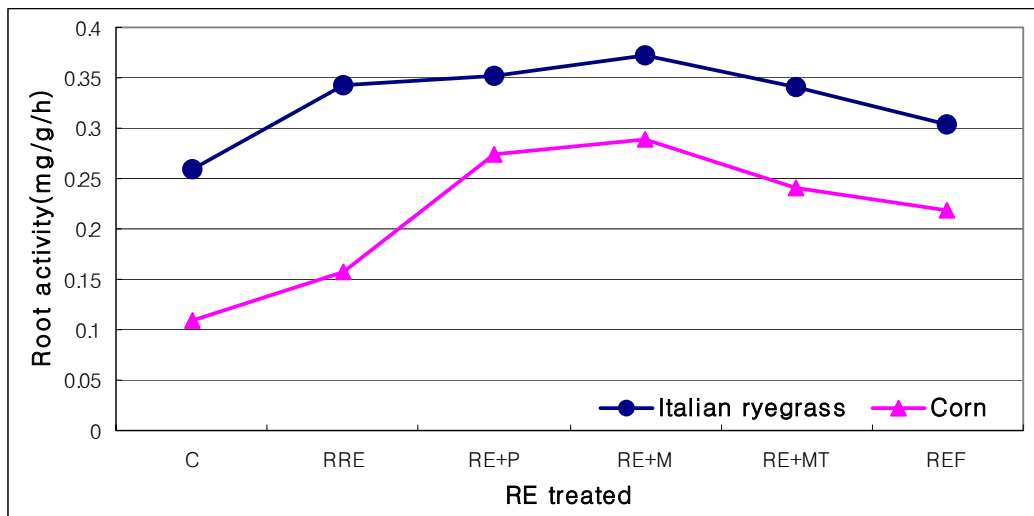


Fig 3-3. Effect of RE application on the root activity of Italian ryegrass and corn.

C : control RRE : raw rare earth RE+P : rare earth+ plant growth regulator
 RE+M ; rare earth+minerals RE+MT : rare earth+multi-nutrient REF : rare earth fertilizer

라. 적요

Alfalfa, Italian ryegrass 및 옥수수를 상토에 재배하여 원료희토(RE), RE+생육촉진제, RE+미량원소, RE+복합영양 및 수입 희토비료 1,000배액을 각각 2회 엽면시비하여 잎 두께, 수량, 엽록소 함량, 뿌리활력 등을 조사하였다.

- 1) 희토처리로 alfalfa의 잎이 두꺼워졌는데 특히 RE+미량원소, RE+복합영양 처리구의 잎이 유의하게 더 두꺼워졌다.
- 2) Alfalfa의 수량은 모든 제품의 희토 처리구에서 모두 증가하였으나 유의성은 인정되지 않았으며, 분얼경 수는 RE+생육촉진제 처리구에서 가장 많았다.
- 3) 희토처리로 Italian ryegrass의 잎이 두꺼워졌으며, 분얼경 수는 RE+미량원소 처리구에서 가장 많았다.
- 4) RE+미량원소 처리구와 수입 희토비료구에서 Italian ryegrass의 생초 및 건물 수량이 가장 많았다.

- 5) 옥수수에 각종 회토 제품을 처리하였을 때 초장, 잎 두께, 뿌리활력 등이 증가하였으며, RE+미량원소 처리구가 가장 양호하였다. 건물수량도 RE+미량원소 처리로 29%가 증수되었다.
- 6) 회토 시용으로 모든 초종의 root/shoot 비율이 모두 높아졌으며, RE+미량원소 처리구가 가장 높았고 다음이 수입 회토 비료구이었다.
- 7) 뿌리활력은 Italian ryegrass와 옥수수 공히 RE+미량원소 처리구에서 가장 높았다.
- 8) RE+미량원소 처리구가 식물생장 특성이나 수량 면에서 가장 우수하였다. 따라서 회토 복합비료 개발 가능성이 매우 높았다

3. 회토 및 질소시용이 치커리의 성장과 질산태질소 함량에 미치는 영향

가. 서 론

우리나라는 제한된 면적에서 농산물을 생산하여야 되기 때문에 그동안 증산일변도의 농업정책으로 인하여 다량의 비료와 농약 사용을 하게 되었다. 그 결과 비료 중 특히 질소질비료의 다량 사용으로 인한 토양내 nitrate 유출로 강물이 오염되고 물고기는 물론 가축과 사람의 건강까지 위협하고 있다. Nitrate가 축적된 사초를 가축이 다량 섭취하여 질산염 중독을 일으켰다는 사례가 가끔 발생되고 있다(김, 1983; 윤 등 1990).

질산태질소는 식물의 정상적인 대사 작용과 생장에 절대적으로 필요한 양분중의 하나이지만 질소질비료를 다량 사용하여 식물체가 질소성분을 많이 흡수할 경우 nitrate reductase 효소의 활력 감소와 광합성 능력의 저하로 식물체 내에 높은 수준의 질산염이 축적된다. 습한 조건 하에서는 질산염 축적이 많지 않지만(Hanway 및 Englehorn, 1958; Wright 및 Divison, 1964) 일시적인 건조는 식물체의 대사를 저하로 질산염 축적이 증가된다(Case, 1957). 또한 토양중 유효태 미량원소의 부족이나 그늘(Crawford 등, 1961), 일조시간 부족, 과다한 퇴비사용, 낮은 기온, 그리고 제초제인 2,4-D 같은 화학물질 등에 의해 식물체내 질산염이 다량 축적된다고 한다(中村 등, 1971; Uesaka 및 Miyazaki, 1964).

질산염을 다량 섭취하게 되면 반추가축의 제1위에서 질산염이 아질산염으로 환원이 되어 혈액중 hemoglobin과 결합하여 methemoglobin을 형성하여 혈액의 산소운반능력이 저하되어 조직의 산소결핍증(anoxia)을 야기시키며 심하면 폐사가 될

수도 있으나 약할 때는 생장저해, 유산, 산유량 감소, 번식장애 등이 유발되기도 한다(Wright 및 Davison, 1964).

사초중의 질산염 함량은 재배시에 살포되는 비료의 종류, 살포량, 살포시기에 영향을 많이 받으며, 특히 질소 시용량과 사초 내 질산염 축적량과는 밀접한 연관이 있기 때문에 본 연구는 치커리에 대한 질소질비료 시비수준에 따른 식물체 생장 및 질산염 축적과, 천연 신소제로 알려진 회토처리에 의한 식물체 성장과 엽록소 함량 증진, 질산염 강하효과 등을 조사함으로써 안전식품 생산에 의한 농가 소득 향상은 물론 국민 건강 증진에 기여할 수 있는 방안을 모색하고자 하였다.

나. 재료 및 방법

- 1) **공시작물 및 육묘** : 치커리(*Cichorium intybus* L., 농우)를 2002년 9월 7일에 파종하였는데 상토는 vermiculite : perlite : peat moss를 1:1:1로 섞어 프러그 육묘하였다. 영양액을 3~4일 간격으로 엽면살포하였고, 매일 상토의 수분상태를 관찰하면서 수분을 보충하였다.
- 2) **처리내용** : Vermiculite와 perlite를 반반씩 섞은 상토를 Ø20 x 20cm인 pot에 일정량씩 넣어 pot 당 1주씩 9월 27일에 식재하였으며, 처리당 4반복, 분할구 배치법으로 배치하여 전북대학교 농과대학 생리실험온실에서 재배하였다. 영양액은 Lincoln액을 일부 수정하였으며, 질소량은 보통수준(N+0), 보통수준+보통수준의 1/4량 첨가(N+1), 보통수준+보통수준의 1/2량 첨가(N+2)의 세 수준으로 하여 1주일 간격으로 일정량을 관주하였다. 물은 토양의 수분상태를 관찰하면서 약 1주일 간격으로 보충하여 주었다.
회토는 동성 엔씨티에서 제공한 회토미량원소비료 "다조아" 1,000배액을 3회((2002년 9월 28일, 10월 24일, 11월 19일)에 걸쳐 엽면살포하였으며 12월 11일에 수확하였다.
- 3) **엽록소 정량** : 생초 1g을 80% ethyl alcohol 20ml로 추출하여 80% acetone을 가한 용액을 UV Visible Spectrophotometer(Pharmacia Biotech, England)로 663 및 645nm에서 각각 chlorophyll-a와 b를 측정하여(Arnon, 1949) Bruinsma (1961) 방법으로 계산하였다.
- 4) **질산태질소** : Paul 및 Carlson(1968) 방법을 수정하여 분석하였는데, 65℃에서 건조한 40mesh 크기의 시료 500mg에 이온수 100ml를 첨가하여 1분간 혼합한 다음 활성탄 4g을 넣어 잘 혼합하여 여과하였다. 여과액 25ml에 Nitraver 5

Nitrate Reagent Power Pillow 1개를 넣고 즉시 뚜껑을 닫은 후 정확히 1분간 흔들어서 NeoMet Ion Meter(Multi-Analyzer, Istek Inc.)의 nitrate electrode로 mV값을 측정한 다음 semi-logarithmic graph를 이용하여 질산태질소 함량을 산출하였다.

다. 결과 및 고찰

표 3-6에서 보는 바와 같이 치커리 잎의 두께는 질소비료 시비수준이 높을수록 증가하였으며, 회토처리로 잎 두께가 유의하게 증가하였다($p<0.05$). 엽장은 질소 시비수준에 크게 영향을 받지 않았으나 엽폭은 질소 시비량이 증가함에 따라 약간씩 증가하는 경향이였다. 회토처리가 잎의 크기에 미치는 영향은 회토처리로 엽장과 엽폭이 모두 증가하였으며, N+2 처리구에서 회토처리효과가 가장 크게 나타났다($p<0.05$). 포기당 엽수는 질소수준이나 회토처리로 약간의 영향은 받았으나 통계적인 유의성은 없었다.

張 등(2000)은 화본과 사초인 wild rye, sudangrass, 양초(*Leymuschinesis* Tzvel)에 회토를 분무 시용한 결과 초장이 각각 19.1, 12.5, 9.3% 증가하였으며, 두과 사초인 sainfoin, milk vetch, alfalfa는 초장이 19.5, 16.9, 6.4%가 각각 증가되었고 생산량도 증수되었다고 보고하였다. 본 실험에서는 회토처리로 치커리 잎의 크기와 두께가 증가하였으며 포기당 엽수도 약간 증가하는 경향이였으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다.

Table 3-6. Effect of rare earth and nitrogen application on the growth of chicory leaves.

Leaf	N+0 ¹⁾		N+1 ¹⁾		N+2 ¹⁾	
	Control	RE ²⁾	Control	RE ²⁾	Control	RE ²⁾
Thickness(mm)	0.38 ^e	0.44 ^{bc}	0.39 ^{de}	0.48 ^{ab}	0.43 ^{cd}	0.49 ^a
Length(cm)	8.0 ^{bc}	9.2 ^a	8.0 ^{bc}	8.2 ^{bc}	7.3 ^c	8.4 ^{ab}
Width(cm)	5.5 ^b	5.8 ^b	5.6 ^b	5.8 ^b	5.7 ^b	6.7 ^a
No./plant	6.4	7.0	7.0	7.2	7.1	7.2

^{a~e}Means within a row with different superscripts differ($P<0.05$).

1) N+0; moderate N, N+1; moderate N+1/4 moderate N, N+2; moderate N+1/2 moderate N

2) Rare earth

표 3-7은 치커리의 엽중 엽록소 함량을 나타내고 있는데, 질소 시비수준이 증가할수록 단위 부피당 총 엽록소 함량이 유의하게 감소하였다($p<0.05$). 회토처리로 총 엽록소 함량이 증가되었으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다.

寧 등(1988)이 종합 정리한 자료에 의하면 작물에 회토를 사용하면 엽록소 함량이 현저히 제고되었다고 하였는데, 대두는 25.1, 땅콩 5.8, 벼 3.0, 면화 13.4, 자운영은 30.0%가 증가되었다고 하였다. 儲 등(1994)도 회토의 일종인 염화세륨은 螺旋 海藻類의 엽록소와 단백질 형성을 촉진한다고 보고한 바 있다. 다른 보고에 의하면 질소비료 사용량이 증가할수록 엽록소 함량이 증가하는 경향(박, 1998; 이등, 1999; 홍등, 2001)이라고 하였으나 본 실험결과에서는 질소시용수준이 증가할수록 단위 엽 부피당 엽록소 함량이 오히려 줄어들었는데 이것은 질소 시비량 증가로 포기당 식물체 부피와 건물중은 증가하지만 건물율이 감소하여 단위 부피당 엽록소 함량이 감소된 것으로(표 3-6, 3-8) 판단되기 때문에 앞으로 이 부분의 확인 실험이 요구되었다.

Table 3-7. Effect of rare earth and nitrogen application on the chlorophyll content of chicory leaves.

Chlorophyll content	N+0		N+1		N+2	
	Control	RE	Control	RE	Control	RE
Total chlorophyll ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	6.911 ^{ab}	7.095 ^a	6.053 ^{cd}	6.340 ^{bc}	5.264 ^e	5.586 ^{de}
Chlorophyll-a ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	3.288	3.291	2.895	3.101	2.524	2.684

^{a~c}Means within a row with different superscripts differ($P<0.05$).

광합성에 있어서 빛의 화학반응에 중요한 역할을 하는 엽록소-a 함량은 총 엽록소 함량과 마찬가지로 질소 시비수준이 증가할수록 단위 부피당 엽록소-a 함량이 감소하였으며, 회토처리로 엽록소-a 함량이 증가하였다(표 3-7). 질소 시비수준이 증가할수록 엽록소-b에 대한 엽록소-a의 비율(a/b)은 증가하였으며, 회토처리에는 엽록소 a/b을 높였다(그림 3-4).

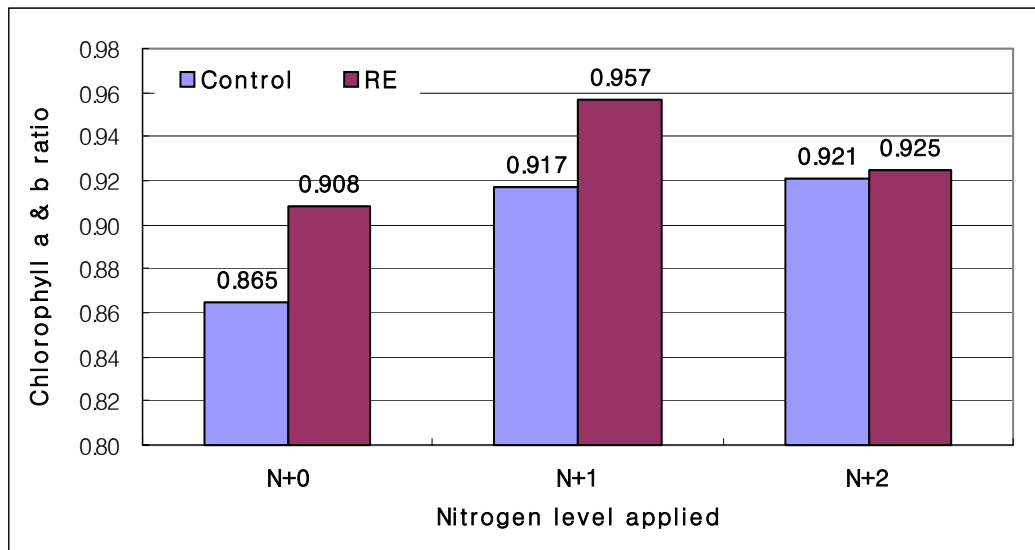


Fig 3-4. Effect of rare earth and nitrogen application on chlorophyll a & b ratio of chicory leaves.

張 등(2000)도 희토시용으로 엽록소-a 함량이 증가되었으며 엽록소-a의 형광광도가 높아져 광합성능이 뚜렷이 개선되었다고 “농목양식업에서의 희토응용”이라는 책에 기술하였다.

표3-8에 의하면 질소 시비수준을 증가할수록 생체수량이 증가하였으며, 같은 수준의 질소시비에서 희토처리는 6.7~17.0%의 수량증가를 가져왔는데 N+2 처리구에서만 통계적인 유의성이 있었다. 재배기간은 충분하였으나 생육도중 충분한 난방이 되지 않았고 단일과 저온으로 치커리가 정상적으로 자라지 못하였다.

건물수량에서도 질소수준이 증가할수록 건물수량이 증가하였으며, 희토처리로 건물수량이 9.0~10.8%가 증수되었다. 중국에서 농산물 생산을 위한 희토의 응용에 관한 장(2001)의 종합고찰에 의하면 희토는 작물의 지상부와 뿌리계통의 생체중과 건물중을 증가시켜 식량작물과 특용작물은 10~25%, 과일류 20~40%, 채소류는 20~40% 증산되었다고 하였는데 본 실험에서도 유사한 증수효과를 얻을 수 있었다.

Table 3-8. Effect of rare earth and nitrogen application on the yield of chicory.

Species	N+0		N+1		N+2	
	Control	RE	Control	RE	Control	RE
Fresh weight (g/plant)	7.59 ^c	8.10 ^{bc}	7.93 ^{bc}	8.52 ^{bc}	9.0 ^b	10.53 ^a
Dry matter (g/plant)	0.83 ^c	0.92 ^b	0.85 ^c	0.94 ^b	0.91 ^b	1.12 ^a
DM %	10.9	11.4	10.7	11.0	10.1	10.6

^{a-c}Means within a row with different superscripts differ(P<0.05).

특이한 점은 질소 시비량 증가로 건물율이 감소되었으나, 회토시용으로 건물율이 4.6~5.8% 증가되었다(표 3). 이것은 회토시용으로 무기양분의 흡수가 촉진되었기 때문인(張 등, 2000) 것으로 판단되었다.

張 등 (2000)에 의하면 회토처리는 질소 환원효소의 활성도를 높여 무기태질소를 아미노산과 단백질로 전환시킴으로서 식물체내 질산태질소 함량을 감소시키며 아미노산과 총질소 함량이 증가하여 영양생장이 촉진된다고 하였다. 본 실험에서는 그림 2에서 보는 바와 같이 질소시비량이 많아질수록 배추의 질산태질소 함량이 크게 증가하였으며, 반면 질소시비량이 증가할수록 회토시용효과가 크게 나타나 질산태질소 함량이 크게 줄어들었다. N+0구와 N+1구는 질산태질소 함량이 각각 392와 440ppm이었으나 N+2구는 558ppm으로 크게 증가되었다. 회토처리로 질산태질소 감소율이 N+0구와 N+1구에서는 각각 9.2와 28.6%이었으나 N+2처리구에서는 45.9%로 크게 감소하였다.

질소질비료의 다량사용은 사초 중의 질산염 과다 축적으로 가축의 건강을 위협할 뿐만 아니라 토양의 질산염 집적으로 인한 토양과 수질오염으로 환경문제를 야기시키고 있다. 다행히 본 실험을 통하여 천연 신소재인 회토 시용으로 치커리의 질산염 함량을 45% 이상 감소시켜 질산염 문제를 해결할 수 있는 가능성을 시사함으로서 국내외적으로 의미가 크다고 하겠다.

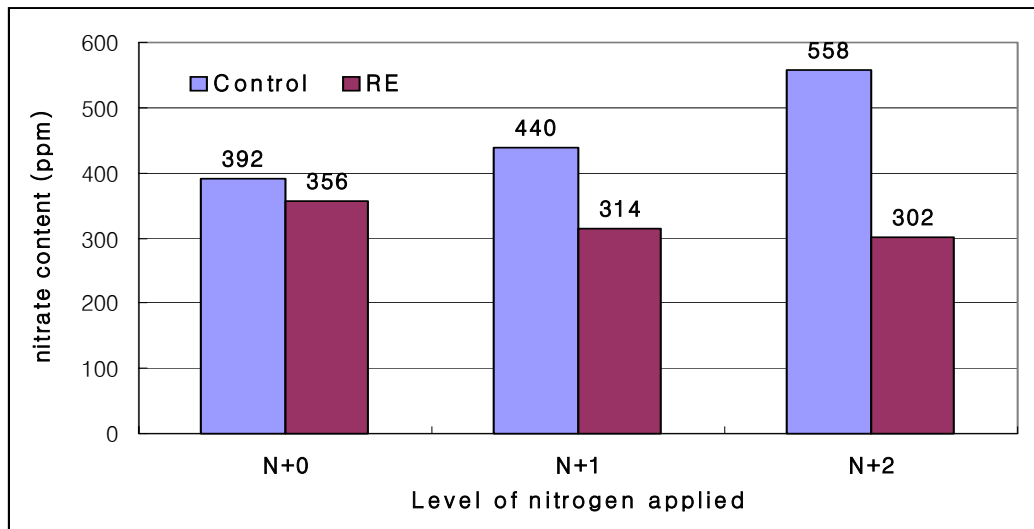


Fig 3-5. Effect of Rare earth(RE) and nitrogen application on nitrate content of chicory leaves.

라. 적요

질소 시용에 의한 치커리의 질산염 축적과 회토처리가 질산염 강하에 미치는 영향을 검토하기 위하여 질소 시비수준에 따른 치커리 잎의 성장과 수량, 엽록소 함량, 질산염 함량 등을 조사하였으며, 회토처리가 치커리의 생육촉진과 질산태질소 함량 감소에 미치는 영향 등을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 질소 시비수준이 증가할수록 치커리 잎이 두꺼워지고 잎 크기도 커졌으며, 같은 수준의 질소 시비구에서 회토처리로 잎이 두꺼워지고 잎의 크기도 커졌다. N+2구에서 회토처리 효과가 가장 뚜렷하였다($p<0.05$).
- 2) 질소처리수준이 높아질수록 치커리 엽중 총 엽록소 함량과 엽록소-a 함량은 감소되었으나 엽록소-b에 대한 엽록소-a의 비율은 증가되었다. 회토처리로 총 엽록소 함량, 엽록소-a 함량 및 엽록소 a/b율이 모두 증가되었으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다.
- 3) 생체와 건물수량이 질소 시비수준 증가에 따라 증가하였으며, N+2구에서 유의성이 인정되었다($p<0.05$). 회토 사용으로 생체수량은 6.7~17.0%, 건물수량은 9.0~10.8% 증가되었다. 질소 시용증가로 건물율이 감소되었으나 회토시용은 건물

율을 4.6~5.8% 증가시켰다.

4) 질소 시용수준이 높을수록 치커리의 질산태질소 함량이 증가하였으나, 회토 엽면살포로 그 함량이 감소되었으며 N+2처리구에서는 45.9%나 감소되었다.

5) 회토시용은 식물 생장에 필수적 요인인 엽록소함량을 증가시켜 식물 생장을 촉진하고, 특히 식물체내 질산태질소 강하효과가 뚜렷하여 안전 농산물생산의 가능성을 보여 주었다.

4. 회토 처리가 시금치와 상치의 생장과 질산태질소 축적 및 농약잔류량에 미치는 영향

가. 서 론

회토원소의 생물학적인 응용연구는 1917년 중국 전충수의 실험으로 회토 중 Ce가 水綿에 특수한 작용이 있다는 것을 발견한 이후부터이다. 1930년대에 러시아와 동구라파 국가들의 연구에 의하여 완두, 옥수수, 소맥, 사탕무 등에 회토원소가 일정한 범위 내에서 작물의 성장발육과 생리활성을 촉진한다는 것이 밝혀졌다. 농작물에 대한 회토 효과의 본격적인 실험은 중국에서 1970년대 초반부터 시작되었는데 그동안 회토는 종자의 발아촉진, 뿌리의 활력과 성장촉진, 엽록소 함량과 광합성 능력 향상에 의한 지상부 생육 촉진 및 생산량 증대 효과가 있다고 보고 되고 있다. 특히 최근에는 회토에 의한 고품질 청정 농산물 생산에 대한 실험이 활발하게 진행되고 있는데 회토시용으로 과일과 채소의 신선도를 오래 유지할 수 있으며 내병성 증진은 물론 과채류의 색깔을 좋게 하고 영양성분 함량을 증가시키고 질산태질소 및 농약잔류량을 감소시키는 효과가 있다고 알려졌다.

그러나 국내에서는 회토에 대한 농산물 품질실험이 이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구는 식탁에 자주 오르는 채소 중 상치와 시금치의 회토 중 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 에 대한 생장반응과 질산태질소 함량 및 농약잔류량에 미치는 영향 등을 조사하고자 하였다.

나. 재료 및 방법

1) **공시작물의 파종 및 수확** : 1차년도 실험은 전북 정읍시 농소동 소재 비닐하우스에서 시금치(*Spinacia oleracea* L., 중국산 파라코)는 2001년 9월 20일에, 상치(*Lactuca sativa* L., 홍농 꽃상추)는 9월 26일에 각각 파종하여 다같이 10월 30일에 수확하였다. 2차실험은 1차실험과 같은 장소에서 실시하였으며 시금치(중국산 파라코)와 상치(홍농 꽃상추)를 모두 2003년 9월 1일에 파종하여

10월 16일에 수확하였다.

- 2) **재배** : 1차와 2차실험 공히 시금치와 상치를 비닐하우스 내에서 농가 관행에 의하여 관리 재배하였으며, 시금치와 상치가 재배된 토양의 화학성분은 표 3-9와 같다. 회토(중국 내몽고 회토연구소)는 1차실험에서는 1,300배액을 2001년 10월 7일에, 1,000배액을 10월 18일에 2차에 걸쳐 엽면살포하였다. 2차실험에서는 1차년도와 동일한 회토 1,300배액을 2003년9월 20일에, 1,000배액을 10월 1일에 각각 엽면살포하였으며, 시험구 크기는 처리당 600평으로 임의 배치하였다.

표 3-9. 시금치와 상치 재배 토양의 화학성분.

작 목	pH	유기물 (%)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	총질소 (mg/kg)	유효인산 (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	
시금치	대 조 구	5.40	4.99	88.0	79.0	497.6	1273	2292	25.8	9.45
	Nd(NO ₃) ₃	5.77	4.67	80.0	38.0	454.8	897	2054	39.6	9.87
상 치	대 조 구	5.37	5.47	102.0	33.0	440.5	1167	2441	48.0	10.08
	Nd(NO ₃) ₃	5.49	5.39	81.0	29.0	588.1	934	2501	55.1	10.29

- 3) **일반성분 분석** : 분석을 위한 시료는 65℃ 열풍건조기 내에서 72시간 이상 건조한 후 20mesh mill로 분쇄하여 desiccator에 보관하여 분석에 이용하였다. 일반 조성분은 AOAC(1991)법에 의하여 분석하였고, 무기물은 원자흡광도계 (Automic Absorption Spectrophotometer)로 분석하였다.

- 4) **엽록소 정량** : 생초 1g을 80% ethyl alcohol 20ml로 추출하여 80% acetone을 가한 용액을 UV Visible Spectrophotometer(Pharmacia Biotech, England)로 663 및 645nm에서 각각 chlorophyll-a와 b를 측정하여(농기연법, 1975) Bruinsma (1961) 방법으로 계산하였다.

- 5) 질산태질소 : Paul 및 Carlson(1968) 방법을 수정하여 NeoMet Ion Meter (Multi-Analyzer, Istek Inc.)의 nitrate electrode로 질산태질소 함량을 측정하여 semi-logarithmic graph를 이용하여 산출하였다.
- 6) 농약 잔류량 : 코니도(imidacloprid) 수화제를 제품의 사용 설명서에 따라 2,000배로 희석하여 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 처리후 3일째에 각각 살포하였다. 농약 잔류량은 국립 농산물 품질관리원 전북지원에 분석 의뢰하였다. Imidacloprid 성분분석은 마쇄한 분석 시료에 acetonitrile을 첨가한 다음 진탕 추출하여 감압 농축하고, 여기에 포화 NaCl과 n-hexane을 첨가한 후 수용액 층을 얻었다. 다시 dichloromethane을 가하여 진탕한 후 dichloromethane 층을 얻어 silica gel 칼럼에서 정제하였다. Ethyl acetate로 용출시킨 용출액을 감압건고 후 acetonitrile:water (2:8)에 용해시켜 HPLC로 최종 분석 하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 1차년도 실험

표 3-10에서 보면 시금치의 엽록소 함량은 대조구가 $6.745\mu\text{g}/\text{ml}$ 이었으나 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 처리구는 $7.645\mu\text{g}/\text{ml}$ 으로 13.3% 증가되었다. 그러나 상치는 대조구 $3.316\mu\text{g}/\text{ml}$ 에 비해 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 처리구는 $3.401\mu\text{g}/\text{ml}$ 로 2.6% 증가에 그쳤다. 張 등(2000)의 종합보고에 의하면 회토는 잎의 엽록소 함량을 증가시키는 효과가 뚜렷하여 알팔파 잎의 엽록소 함량은 18%, 자운영은 30%나 증가되었다고 하였으나 본 실험 결과는 이에 약간 미치지 못하였다. 광합성에서 빛의 화학반응에 중요한 역할을 하는 엽록소-a 함량도 회토 처리로 인해 증가되었는데, 회토 처리에 의한 엽록소-a 증가율은 상치 1.5%에 비해 시금치는 15.3%가 증가되어 시금치에서 회토 처리효과가 두드러지게 나타났다. 儲 등(1994)의 실험에서도 회토(CeCl_3 120ppm)를 영양액에 배양한 螺旋藻에 처리하였더니 엽록소-a의 형성을 촉진하여 대조구에 비해 처리구의 엽록소-a 함량이 27.5~13.7%가 증가되었다고 보고한 바 있다.

표 3-10. 회토 시용이 시금치와 상치의 엽록소 함량에 미치는 영향

엽록소 함량 ($\mu\text{g}/\text{m}\ell$)	시금치		상치	
	대조구	$\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$	대조구	$\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$
총 엽록소	6.745 ± 0.97	7.645 ± 0.98	3.316 ± 0.16	3.401 ± 0.20
엽록소-a	3.190 ± 0.43	3.679 ± 0.56	1.647 ± 0.04	$\pm 1.671 \pm 0.10$

Mean $\pm$ S. D.

표 3-11에서 보면 시금치의 포기당 생체무게는 대조구는 24.5g이었으나 회토 처리구는 30.1g으로 22.7%가 증가되었다($p < 0.05$). 잎 두께도 대조구의 0.59mm에 비해 회토 처리구는 0.67mm로 회토 처리로 시금치 잎이 두꺼워졌다. 상치에 있어서도 회토 처리로 포기당 평균 무게가 증가되었는데, 대조구는 평균 포기당 무게가 92.9g이었으나 회토 처리구는 103.1g으로 약 11%가 늘어났다($p < 0.05$).

식물체 내 엽록소 함량은 식물체 생산량과 밀접한 관계가 있기 때문에 (Jakrlova, 1967; Ocubo 등, 1975; Pilat, 1967) 시금치나 상치에 회토 처리로 엽록소 함량이 증가되어 포기당 무게가 증가된 것은 당연한 결과라 하겠다. 張 등 (1998)이 중국 내몽고과학기술원 시험포에서 실시한 사탕무에 대한 회토 복합비료 시비시험에 의하면 1畝(약 200평)당 100g씩 회토 복합비료를 封壟期와 그 이후에 매 20일 간격으로 세 차례 분무하였는데, 1畝당 평균 생산량이 대조구 3,770kg에 비해 회토시비구는 4,424kg이 생산되어 17.3%의 증수효과가 있었다고 보고하였다. 배추에 대한 회토시비실험에서는 두 차례 질산회토를 시비한 결과 1畝당 750~1,000kg의 배추를 증산하였으며 품질도 향상되었다고 하였다(寧 등, 1988).

표 3-11. 회토 시용이 시금치와 상치의 잎 두께 및 생체중 증가에 미치는 영향.

	시금치		상치	
	대조구	$\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$	대조구	$\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$
생체중 (g/포기)	24.5 ± 5.8^d	30.1 ± 5.8^c	92.9 ± 17.9^b	103.1 ± 18.3^a
잎 두께 (mm)	0.59 ± 0.11	0.67 ± 0.13	—	—

Mean $\pm$ S. D.

^{a~d}Means within a row with different superscripts differ($P < 0.05$).

寧 등(1988)에 의하면 회토를 처리한 식물체는 질소 환원작용이 활성화되어 식물체 내의 무기태 질소를 유기태질소로 전환하여 아미노산 함량을 높일 뿐만 아니라 체내 질산태질소의 축적을 감소시키는 효과가 있다고 하였다. 그리고 회토가 땅콩 잎의 질소 대사에 미치는 영향에 대한 실험결과에서 땅콩에 회토를 분사하였더니 질소 환원효소의 활성도는 대조구에 비해 17.8%가 향상되었으며, 질산태질소 함량은 33.5%가 감소되었다고 발표하였다. 張 등(1995)의 실험결과에서도 유채에 회토 복합비료를 분무 처리하였을 경우 식물체 내 질산태질소 함량이 대조구에 비해 평균 15.2% 감소되었으며, 배추에서는 대조구에 비해 회토처리구에서 평균 NO_3 함량이 13.3%, NO_2 함량은 40.3% 강하되었다고 보고하였다. 본 실험(그림 3-6)에서도 시금치에 회토 중 회토를 엽면살포하였을 경우 질산태질소 함량이 대조구의 평균 1,254ppm에 비해 회토처리구에서는 966ppm으로 감소되어 약 23%의 감소효과를 얻을 수 있었다. 상치에서도 대조구 1,548ppm에서 회토처리구 1,240ppm으로 19.9%의 강하효과가 있었다.

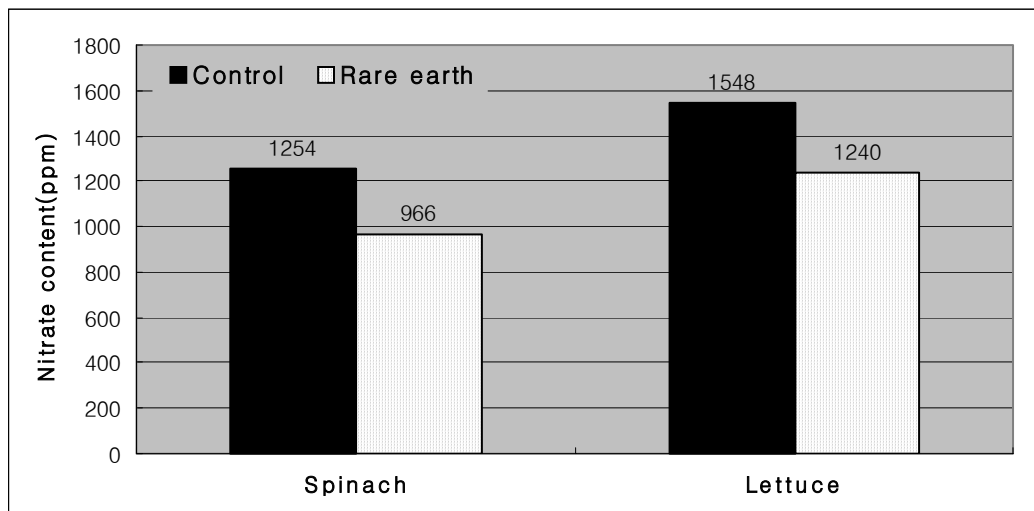


그림 3-6. 회토 사용이 시금치와 상치의 질산태질소 함량에 미치는 영향

회토처리가 식물체 일반성분 구성에 미치는 영향을 조사한 결과(표 3-12) 회토처리로 시금치의 조단백질, 조섬유 함량은 약간 감소된 반면 조회분 함량은 증가되었다. 상치에서도 조단백질, 조지방, 조섬유 함량은 감소되고, 조회분과 Ca, K, Mg 함량은 증가되었다. 寧 등(1988)이 발표한 회토의 무기이온 흡수율에 대한 종합 기술에 의하면 동위원소를 이용하여 무기영양소의 흡수이용율을 추적 조사한 결과 땅콩의 인 흡수가 회토사용으로 대조구에 비해 3~17.6% 높았으며, 유채의 칼리 흡수와 면화의 질소 및 인 흡수도 회토에 의해 명확한 증가를 보여주었다고 기술하고 있다. 본 실험에

서도 유기양분 함량은 감소하였으나 무기양분은 증가하였음을 알 수 있었다.

표 3-12. 회토 시용이 시금치와 상치의 화학성분에 미치는 영향.

(DM, %)

처리 내용		조단백질	조지방	조섬유	조회분	Ca	K	Mg
시금치	대조구	29.12	4.15	5.65	19.76	0.51	7.96	0.94
	Nd(NO ₃) ₃	28.63	4.15	5.09	20.54	0.51	7.74	0.97
Lettuce	대조구	30.09	5.15	7.99	17.24	1.03	6.01	0.38
	Nd(NO ₃) ₃	29.46	4.88	7.82	18.16	1.16	6.83	0.49

상치에 회토를 처리한 결과 농약잔류량 감소효과가 나타났는데 그림 3-7에서 보면 대조구의 imidacloprid 함량이 0.928ppm인데 반해 회토를 한번 처리한 구에서는 imidacloprid 함량이 0.746ppm으로 대조구에 비해 19.6% 감소하였다. 회토를 두 차례 살포하였을 경우에는 imidacloprid 함량이 0.759ppm으로 한 번 시용시보다 오히려 약간 증가되어 일관성 있는 결과라고는 할 수 없지만 회토 처리가 농약잔류량을 감소시킨다는 사실은 확인할 수 있었다. 회토를 약 일주일 간격으로 세 차례 처리하였더니 imidacloprid 함량이 0.627ppm으로 대조구에 비해 32.4%의 감소효과를 보여줌으로서 회토를 1~2회 처리하는 것보다 3회 처리시 농약잔류량 감소효과가 더욱 뚜렷하였다.

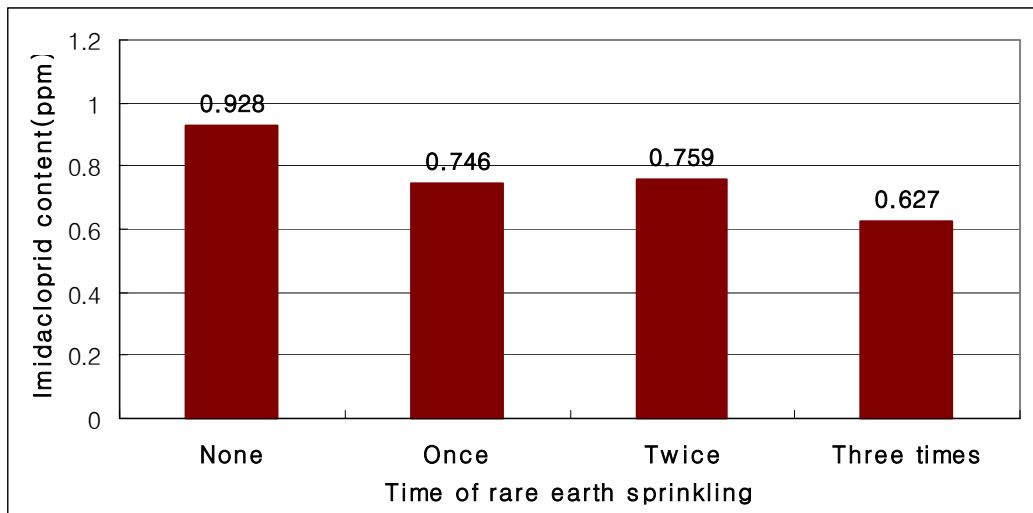


그림 3-7. 회토 시용 횟수가 시금치의 농약(imidacloprid) 잔류량에 미치는 영향

2) 2차년도 실험

표 3-13에서 보면 엽록소 b에 대한 a의 비율(a/b)은 시금치 대조구는 0.88, 회토 처리구는 1.05로 회토 처리구가 높았으며, 상치에서도 대조구 1.06에 비해 회토 처리구는 1.11로 회토 처리구가 엽록소 a/b비율이 높았다. 총 엽록소 함량에 있어서도 시금치에서 회토 처리구는 대조구에 비해 12.6%가 많았으며, 상치에서는 7.9%가 더 많았다.

표 3-13. 회토 시용이 시금치와 상치의 엽록소 함량에 미치는 영향

엽록소 함량 ($\mu\text{g}/\text{m}\ell$)	시금치		상치	
	대조구	$\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$	대조구	$\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$
총 엽록소	11.08 ± 0.76^b	12.48 ± 0.69^a	4.32 ± 0.17	4.66 ± 0.33
엽록소-a	5.61 ± 0.40^b	6.40 ± 0.34^a	2.22 ± 0.08	2.45 ± 0.18
엽록소 a/b	0.88	1.05	1.06	1.11

Mean $\pm$ S. D.

^{a, b}Means within a row with different superscripts differ($P < 0.05$).

시금치의 잎 두께는 회토 처리 효과가 나타나지 않았으나 상치에서는 대조구에 비해 회토 처리구가 11.5% 더 두꺼워졌다(표 3-14). 시금치의 포기당 생체 무게는 표 3-14에서 보는 바와 같이 대조구 12.81에 비해 회토 처리구는 15.06으로 17.6%가 더 무거웠으며, 상치는 회토 처리구가 0.8%가 더 무거웠다.

표 3-14. 회토 시용이 시금치와 상치의 잎 두께 및 생체중 증가에 미치는 영향.

	시금치		상치	
	대조구	$\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$	대조구	$\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$
생체중 (g/포기)	12.81 ± 4.31^b	15.06 ± 5.08^a	37.98 ± 16.81	38.29 ± 13.25
잎 두께 (mm)	0.465 ± 0.06	0.455 ± 0.06	0.26 ± 0.03^b	0.29 ± 0.03^a

Mean $\pm$ S. D.

^{a, b}Means within a row with different superscripts differ($P < 0.05$).

시금치의 엽중 질산염 함량(그림 3-8)은 대조구가 평균 783ppm인데 비해 회토 처리구는 574ppm으로 26.7%의 질산염 강하효과가 있었으며, 상치의 질산염 함량은 시금치에 비해 월등하게 높았으며, 회토 처리로 10.7%가 낮아졌다.

상치에 진딧물 구제약인 모노포(monocrotophos)를 살포한 후 엽중 잔류량을 측정한 결과 대조구는 평균 8.984ppm이었으며, 회토 처리구는 8.243ppm으로 8.2%의 농약잔류량 감소효과가 있었다(그림 3-9).

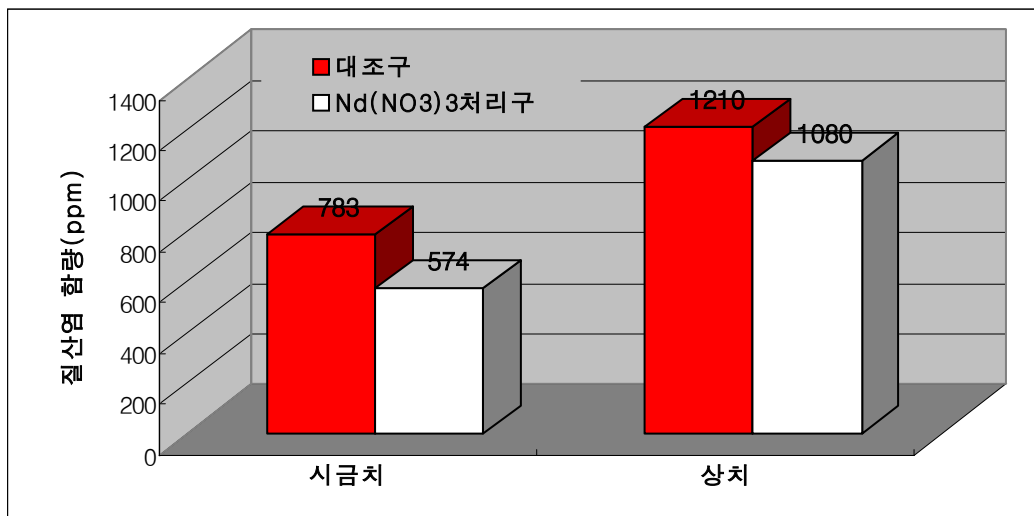


그림 3-8. 회토 처리가 시금치와 상치의 질산염 함량에 미치는 영향

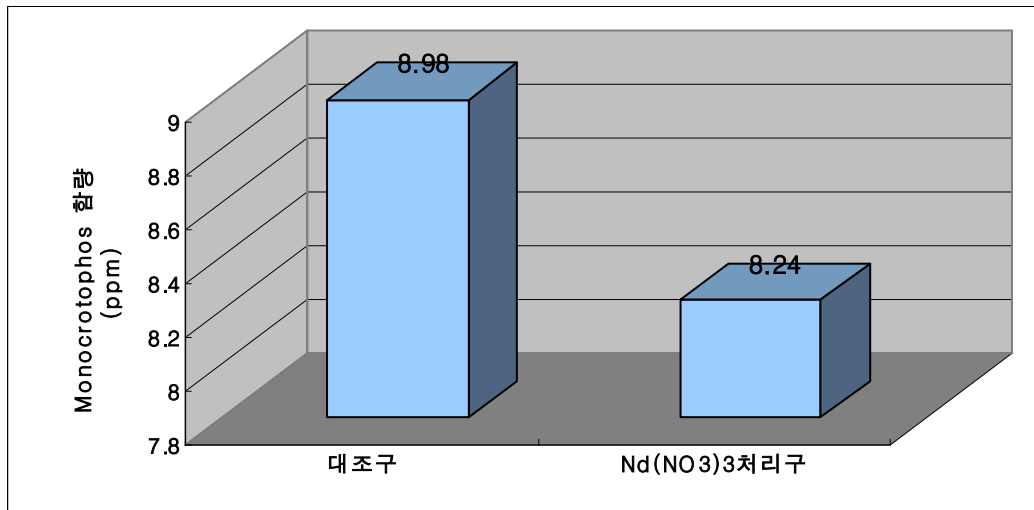


그림 3-9. Nd(NO3)3 시용이 상추의 농약(monocrotophos) 잔류량에 미치는 영향

표 3-15. 회토 시용이 시금치와 상치의 회토 함량에 미치는 영향

작 물	처리내용	La	Ce	Pr	Nd
시금치	무처리	0.44	0.00	0.00	5.81
	회토	0.79	0.40	0.85	7.20
상치	무처리	3.69	5.97	3.80	33.71
	회토	4.27	4.62	2.69	25.28

시금치의 식물체 내 회토함량은(표 3-15) 회토 처리로 La, Ce, Pr, Nd 모두 약간씩 증가하였으나 상치는 La를 제외한 나머지 원소들의 함량이 오히려 약간씩 감소하였다. 중금속 함량은 표 3-16에서 보는 바와 같이 시금치와 상치 모두 무처리와 회토 처리간에 중금속 함량에 큰 차이를 보이지 않았으며 극히 미량이었다. 따라서 회토 시용으로 인한 중금속 오염문제는 없을 것으로 판단되었다.

표 3-16. 회토 시용이 시금치와 상치의 중금속 함량에 미치는 영향

작 물	처리내용	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
시금치	무처리	3.19	3.03	2.33	121.72	0.00	0.53	0.00
	회토	4.62	4.64	3.36	115.79	0.16	0.04	0.00
상치	무처리	32.34	17.21	4.10	75.80	0.45	0.26	3.43
	회토	75.10	52.14	4.71	78.84	0.50	0.26	2.39

寧 등(1988)이 “회토의 농업적 이용”이란 저서에서 종합 기술한 바에 의하면, 회토 시용은 농산물에 잔류되어 있는 유기염소를 포함한 농약잔류량을 낮춘다고 하였다. 11종의 작물을 공시하여 1,312번의 측정에 의하면 농약의 평균 분해율은 50.8%이었으며 그 중 차 잎, 담배, 포도, 고추에서의 분해효과가 가장 우수하였다고 기술하였다. 또한 중국 호남성 농업과학원에서의 실험에 의하면(熊 등, 2000) 회토원소의 사용으로 벼는 20.9%, 고추는 22.9%의 농약잔류량 감소효과가 있었다고 하였으며, 중국 내몽고 회토연구원의 보고에 의하면 회토처리로 오이는 7.0%, 배추는 13.3~40.3%의 농약잔류량 감소효과가 있다고 발표하였다.

식물 중의 잔류농약은 극히 미량이기 때문에 급성중독에는 문제가 없다고 하지만 미량의 농약이라도 오랜 기간동안 연속적으로 섭취하게 되면 체내에 축적되어 결국 농약에 의하여 중독을 일으킬 가능성이 있다. 그리고 농산물에 대한 유해물질 함유문

제가 세인의 초 관심사이기 때문에 앞으로 이에 대한 규제가 더욱 강화될 것으로 예상된다. 그런데 회토 시용에 의한 농약 분해율은 작물의 종류와 회토 농도, 시용시기, 토양이나 기후환경 등에 따라 차이가 있기 때문에 앞으로 이에 대한 보다 정밀한 요인별 실험이 수행되어야 할 것이다. 본 실험을 통하여 회토에 의한 청정 농산물 생산의 가능성이 보였으며, 보다 다각적인 실험을 통한 효과검증 및 안전성 검토가 요구되었다.

라. 적 요

회토 시용이 시금치와 상치의 성장과 품질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 전북 정읍시 농소동 소재 비닐하우스에서 농가실증 재배실험을 실시하였으며, 회토 시용에 의한 엽중 조성분과 무기양분 함량, 엽록소 함량, 질산태질소 축적량, 농약잔류량 및 생산량 등의 차이를 조사하였다. 회토처리로 시금치는 엽록소 함량이 13.3% 증가되었으며, 상치는 2.6% 증가되었다. 포기당 생체 무게는 시금치는 대조구에 비해 22.7% 증가되었으며($p<0.05$), 잎 두께도 두꺼워졌고, 상치는 약 11%의 증수효과가 있었다($p<0.05$). 회토 시비로 시금치와 상치 공히 조단백질, 조지방, 조섬유 함량은 약간 감소된 반면, 조회분과 무기물 함량은 증가되었다. 그리고 시금치의 질산태질소 함량은 대조구의 1,254ppm이 비해 회토처리구는 966ppm으로 23.0%의 감소효과가 있었으며, 상치에서는 19.9%의 강하효과를 얻을 수 있었다. 회토처리구는 상치의 imidacloprid 함량을 크게 감소시켰는데 특히 회토를 3회 처리시 32.4%의 감소효과가 있었다. 회토처리구는 시금치와 상치의 엽록소 함량을 높여 생산량을 증대시켰으며, 질산태질소 및 농약잔류량을 감소시켜 청정 농산물 생산에 밝은 전망을 보여 주었다.

5. 회토 및 질소시용이 배추의 성장과 질산태질소 함량에 미치는 영향

가. 서 론

친환경 청정 농산물 생산은 앞으로 우리 농업이 지향하는 방향이며 모든 국민이 소원하는 바이다. 이를 위해 정부에서는 막대한 자금을 투자하고 있으며, 대학이나 연구소뿐만 아니라 농민이나 농민단체에서도 친환경 자연 농산물 생산을 위하여 꾸준히 연구 노력하고 있다.

회토는 기능성 천연 신소재로 작물의 광합성을 촉진하여 지상부 생육을 돕고, 뿌리 생육을 왕성하게 하는 생리활성물질로 알려져 있으며, 농산물의 품질을 향상시키고 내병성 및 내환경성을 증진시키는 있는 것으로 보고 되고 있다. 특히 회토는 모든 인류의 초관심사인 인체 건강과 밀접한 관계가 있는 농약잔류량과 질산염 강하 효과가

있는 것으로 보고 되고 있는데, 중국 내몽고 회토연구원의 실험결과에 의하면 7.0~40.3%의 질산염 감소효과가 있다고 하였으며, 중국 호남성 농업과학원에서는 회토를 사용함으로써 벼에서는 20.95, 고추는 22.9%의 농약잔류량 강하효과가 있었다고 발표된 바 있다.

그러나 국내에서는 정읍시 농업기술센터에서 작물 수량에 미치는 회토의 영향에 대한 국부적인 시험이 실시된 바가 있을 뿐이며 환경친화적인 분야의 실험은 수행된바 없다. 따라서 본 실험은 배추를 공시작물로 하여 회토에 대한 생장반응과 식물체내 질산태질소 강하효과를 조사함으로써 인류가 지향하는 고품질 청정 농산물 생산효과를 구명하고자 하였다.

나. 재료 및 방법

- 1) **공시작물** : 1차년도 실험은 전북 장수군 소재 가나안프러그에서 2002년 9월 4일에 파종하여 육묘한 배추(*Brassica campestris* subsp. Makino, 신가락)를 9월 27일에 구입하여 이식하였다. 2차년도 실험은 가나안프러그에서 2003년 2월 19일에 파종한 배추(노랑 봄배추) 육묘를 3월 12일에 구입하여 이식하였다.
- 2) **재배** : 1차년도와 2차년도 공히 vermiculite와 perlite를 반반씩 섞은 상토를 $\varnothing 20 \times 20$ cm인 pot에 일정량씩 채워 pot 당 1주씩 식재하였으며, 처리당 4반북, 분할구 배치법으로 배치하여 농과대학 부속 생리실험온실에서 재배하였다. 영양액은 Lincoln액을 일부 수정하였으며, 질소량은 보통수준(N+0), 보통수준+보통수준의 1/4량 첨가(N+1), 보통수준+보통수준의 1/2량 첨가(N+2)의 세 수준으로 하여 1주일 간격으로 일정량을 관주하였다. 물은 토양의 수분상태를 관찰하면서 약 1주일 간격으로 보충하여 주었다. 농약은 진딧물 방제에 사용되고 있는 코니도(imidacloprid, 미성)를 처리 지침에 따라 3회에 걸쳐 살포하였다. 회토(중국 내몽고 회토연구소) 1,000배액을 3회에 걸쳐 엽면살포하여 1차년도 실험에서는 2002년 12월 11일에, 2차년도에는 2003년 5월 12일에 수확하였다.
- 3) **회토의 이화학적 성분** : 전북대학교 농업과학기술연구소 종합분석실에 의뢰하여 시험에 사용된 회토의 이화학적 성분을 분석한 결과는 다음과 같다.

표 3-17. 공시재료의 희토함량(%)

시 료 명	Nd	La	Ce	Pr	Sm	Y	총 희토함량
복합희토	1.67	2.66	3.60	1.29	0.16	0.36	9.73
원료희토	2.87	13.09	6.83	2.60	0.63	0.35	26.37

표 3-18. 희토의 중금속 함량(ppm)

시 료 명	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni	Hg
복합희토	0.4	419	2.1	7.1	11.1	15.6	ND
원료희토	13.0	82.3	3.4	26.9	6.7	2.4	ND

4) 엽록소 정량 : 생초 1g을 80% ethyl alcohol 20ml로 추출하여 80% acetone을 가한 용액을 UV Visible Spectrophotometer(Pharmacia Biotech, England)로 663 및 645nm에서 각각 chlorophyll-a와 b를 측정하여(농기연법, 1975) Bruinsma (1961) 방법으로 계산하였다.

5) 질산태질소 : Paul 및 Carlson(1968) 방법을 수정하여 분석하였는데, 65℃에서 건조한 40mesh 크기의 시료 500mg에 이온수 100ml를 첨가하여 1분간 혼합한 다음 활성탄 4g을 넣어 잘 혼합하여 여과하였다. 여과액 25ml에 Nitraver 5 Nitrate Reagent Power Pillow 1개를 넣고 즉시 뚜껑을 닫은 후 정확히 1분간 흔들어서 NeoMet Ion Meter(Multi-Analyzer, Istek Inc.)의 nitrate electrode로 mV가를 측정한 다음 semi-logarithmic graph를 이용하여 질산태질소 함량을 산출하였다.

6) 농약 잔류량 : 코니도(imidacloprid) 수화제를 제품의 사용 설명서에 따라 2,000배로 희석하여 희토 처리후 3일째에 각각 살포하였다. 농약 잔류량은 국립 농산물 품질관리원 전북지원에 분석의뢰 하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 1차년도 실험

표 3-19에서 보면 질소시비량을 증가할수록 배추 잎이 넓어지는 경향이었는데, N+0구에 비해 N+1이나 N+2처리구의 배추 잎의 폭과 길이가 더 길어졌다. 그리고 잎의 두께도 질소시비량 증가로 약간 증가하였으나 처리수준에 따라 일정한 수준으로 증가하지는 않았다. 회토를 3회에 걸쳐 엽면시비한 결과 모든 질소 처리구에서 회토 시용으로 잎의 두께, 폭, 길이 모두가 공히 증가하였다. 그러나 포기당 엽수는 질소수준이나 회토처리 여부에 따라 N+0구외에는 차이가 나타나지 않았다.

張 등(2000)은 화본과 사초인 wild rye, sudangrass, 양초(*Leymuschinesis* Tzvel)에 회토를 분무 시용한 결과 초장이 각각 19.1, 12.5, 9.3% 증가하였으며, 두과 사초인 sainfoin, milk vetch, alfalfa는 초장이 19.5, 16.9, 6.4%가 각각 증가되었고 생산량도 증수되었다고 보고하였다. 寧 등(1988)에 의하면 배추에 회토를 2회 살포하여 초장이 0.9~3.8cm 증가하고 포기 폭이 1.4~4.6cm 증가하였으며, 포기당 잎수가 0.5~1개 정도가 증가하여 무당(약 200평) 750~1,000kg이 증산되었다고 하였다. 그러나 본 실험에서는 엽면적은 증가하였으나 포기당 엽수는 차이가 나타나지 않았다.

표 3-19. 회토와 질소시용이 배추 잎의 생장에 미치는 영향.

잎	N+0 ¹⁾		N+1 ¹⁾		N+2 ¹⁾	
	대 조구	회 토	대 조구	회 토	대 조구	회 토
잎 두께(mm)	0.80 ^{bc}	0.88 ^{ab}	0.77 ^c	0.83 ^{ab}	0.87 ^{ab}	0.97 ^a
잎 길이(cm)	8.8 ^c	9.6 ^{bc}	9.42 ^c	10.4 ^a	10.3 ^{ab}	11.0 ^a
잎 폭(cm)	4.7 ^d	5.0 ^{bc}	4.9 ^{cd}	5.3 ^b	5.1 ^{bc}	5.7 ^a
잎 수./포기	10.3 ^b	11.0 ^a	11.6 ^a	11.6 ^a	12.0 ^a	11.8 ^a

^{a~c} Means within a row with different superscripts differ(P<0.05).

1) N+0; moderate N, N+1; moderate N+1/4 moderate N, N+2; moderate N+1/2 moderate N

배추에 회토를 엽면살포한 결과 통계적인 유의성은 인정되지 않았으나 모든 처리구에서 엽록소 함량이 증가되었다. 질소 시비수준에 따른 엽중 엽록소 함량은 N+2처리구에서 가장 높게 나타났다.

寧 등(1988)이 종합 정리한 자료에 의하면 작물에 회토를 시용하면 엽록소 함량이

현재까지 제고되었다고 하였는데 대두는 25.1, 땅콩 5.8, 벼 3.0, 면화 13.4, 자운영은 30.0%가 증가되었다고 하였으며, 儲 등(1994)도 회토의 일종인 엽록소는 螺旋 海藻 類의 엽록소와 단백질 형성을 촉진한다고 보고한 바 있다. 다른 보고에 의하면 질소 비료 사용량이 증가할수록 엽록소 함량이 증가하는 경향(박, 1998; 이등, 1999; 홍등, 2001)이라고 하였으나 본 실험결과에서는 질소사용수준에 따른 일관성 있는 결과를 얻지 못하였기 때문에 앞으로 이 부분의 확인 실험이 요구되었다.

표 3-20. 회토 및 질소사용이 배추의 엽록소 함량에 미치는 영향.

엽록소 함량	N+0 ¹⁾		N+1 ¹⁾		N+2 ¹⁾	
	대조구	회토	대조구	회토	대조구	회토
초 엽록소 ($\mu\text{g}/\text{m}\ell$)	5.446 ^a	5.464 ^a	4.134 ^c	4.152 ^c	5.182 ^{ab}	5.515 ^a
엽록소a:b 비율	1.024	1.032	1.020	1.035	1.013	1.026

^{a-c}Means within a row with different superscripts differ($P<0.05$).

1) N+0; moderate N, N+1; moderate N+1/4 moderate N, N+2; moderate N+1/2 moderate N

빛의 화학반응에서 중요한 역할을 하는 엽록소-a 함량은 모든 처리구에서 회토 사용으로 그 함량이 증가되었으며(그림 3-10), 엽록소-b에 대한 엽록소-a의 비율(a/b)도 회토처리로 증가되었다. 張 등(2000)도 회토사용으로 엽록소-a 함량이 증가되었으며 엽록소-a의 형광광도가 높아져 광합성능이 뚜렷이 개선되었다고 “농목양식업에서의 회토응용”이라는 책에서 밝힌 바 있다.

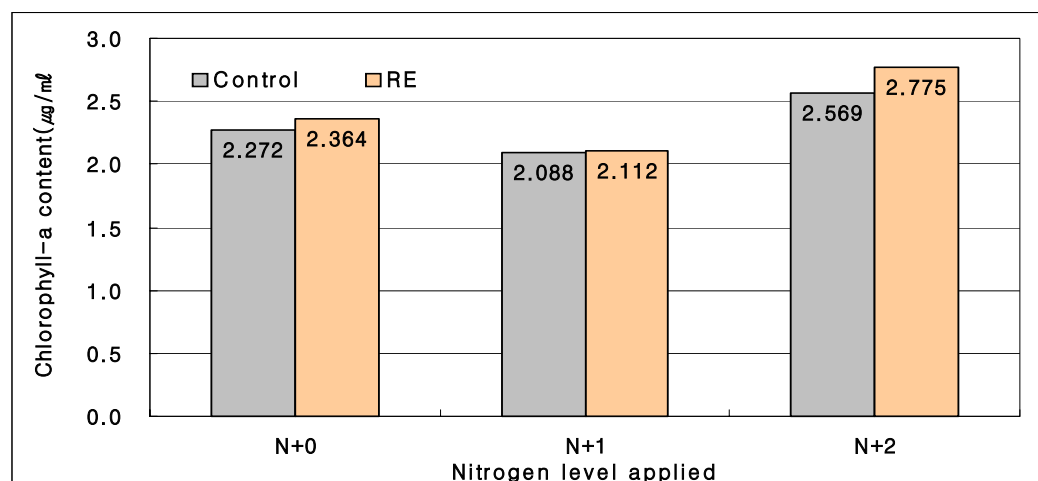


그림 3-10. $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 및 질소사용이 엽록소-a 함량에 미치는 영향

표3-21에 의하면 질소 시비수준을 증가할수록 생체수량이 유의하게 증가하였으며, 같은 수준의 질소시비에서 회토처리하는 약 2~14%의 수량증가를 가져왔다. 재배기간은 충분하였으나 생육도중 약간의 난방은 되었으나 저온으로 인한 성장장애로 배추가 정상적으로 자라지 못하였다. 따라서 회토 처리효과는 육안으로는 어느 정도 확인할 수 있었으나 식물체가 작아서 처리간 통계적인 유의성이 나타나지 않아 차후 확인실험의 필요성을 느꼈다. 건물수량에서도 질소수준이 증가할수록 건물수량이 유의하게 증가하였으며, 회토처리로 건물수량이 6.5% 가량 증수되었으나 생체수량과 마찬가지로 유의성은 인정되지 않았다.

중국에서 농산물 생산을 위한 회토의 응용에 관한 장(2001)의 종합고찰에 의하면 회토는 작물의 지상부와 뿌리계통의 생체중과 건물중을 증가시켜 식량작물과 특용작물은 10~25%, 과일류 20~40%, 채소류는 20~40% 증산되었다고 하였는데 본 실험에서도 위와 같은 사실을 확인할 수 있었다. 만 및 이(2000)도 중국 호남성 농업과학원 회토농용연구소 망실온실에서 배추에 회토를 기비와 엽면시비를 한 결과 8.0% 증수되었으며 농약잔류량이 크게 감소되었다고 기술하였다.

특이한 점은 표3-21에서 보는 바와 같이 회토사용으로 인해 건물율이 2~4% 증가되었는데 이것은 회토사용으로 무기양분의 흡수가 촉진되었기 때문(張 등, 2000)으로 판단되어 회토사용이 농산물의 품질과 저장성 향상에 좋은 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료되었다.

표 3-21. 회토 및 질소시용이 배추 수량에 미치는 영향

	N+0 ¹⁾		N+1 ¹⁾		N+2 ¹⁾	
	대조구	회토	대조구	회토	대조구	회토
생체중 (g/포기)	11.8 ^c	13.4 ^c	16.1 ^b	16.4 ^b	19.0 ^a	20.5 ^a
건물중 (g/포기)	1.10 ^c	1.17 ^c	1.38 ^b	1.47 ^b	1.63 ^a	1.69 ^a
건물 %	11.6	12.0	11.5	11.7	9.9	10.3

^{a~c} Means within a row with different superscripts differ(P<0.05).

1) N+0: moderate N, N+1: moderate N+1/4 moderate N, N+2: moderate N+1/2 moderate N

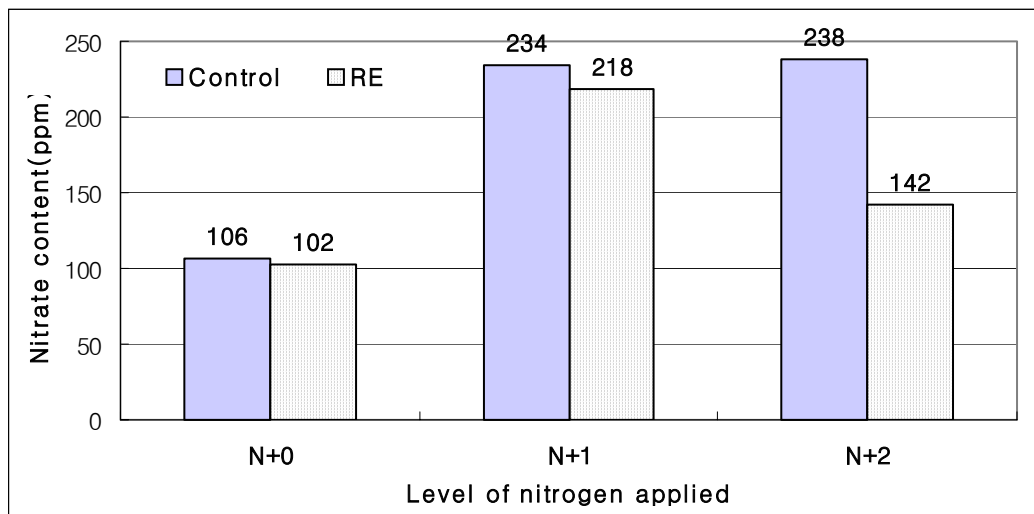


그림 3-11. $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 및 질소시용이 배추의 질산태질소 함량에 미치는 영향

張 등 (2000)에 의하면 회토처리는 질소 환원효소의 활성도를 높여 무기태질소를 아미노산과 단백질로 전환시킴으로서 식물체내 질산태질소 함량을 감소시키며 아미노산과 총질소 함량이 증가하여 영양생장이 촉진된다고 하였다. 본 실험에서도 그림3에서 보는 바와 같이 질소시비량이 많아질수록 배추의 질산태질소 함량이 증가하였으며 회토 시용효과도 크게 나타났다. N+0구와 N+1구에서는 회토처리로 질산태질소 감소율이 각각 3.8과 6.8%이었으나 N+2처리구에서는 40.3%로 크게 감소하였다.

질산염은 타액중 *S. epidermides* 등의 세균에 의해 아질산염으로 환원되고 이 아질산염은 식품 중에 들어 있는 아민류와 반응하여 N-nitrosamine이라는 강력한 발암성 물질이 생성된다고 보고 되어 있다. 질산염의 과다 섭취는 암과 돌연변이, 태아 기형, 갑상선 비대증을 일으킨다는 보고도 있다. 질산염의 가장 큰 섭취원은 채소이다. 그런데 불행하게도 우리나라 국민의 채소 섭취량은 세계 1위이며 따라서 질산염 섭취량도 FAO/WHO의 일일섭취허용량(ADI)의 1.8~3.4배나 초과한 390~ 742mg이며, 서양인들의 일일질산염 섭취량 50~100mg과도 엄청난 차이가 있다(손, 2000). 이렇게 사람이나 동식물의 건강을 크게 위협하고 있는 질산태질소 문제를 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 로 어느 정도 해결할 수 있는 가능성을 본 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

2) 2차년도 실험

배추에 대한 회토 처리효과를 재확인하기 위한 2차년도 실험에 의하면 표 3-22에서 보는바와 같이 회토처리로 배추 잎의 두께가 유의하게 두꺼워졌다($p<0.05$). 질소비료

시비수준 간에는 시비수준을 증가함에 따라 잎 두께가 약간 증가하는 경향이었으나 통계적인 유의성은 없었다. 배추 포기 길이와 둘레도 회토 시비와 질소비료 시비량 증가로 약간 커졌으나 유의성은 나타나지 않았다. 배추 포기당 평균 무게는 회토+질소다비구(N+2)는 대조구에 비해 무게가 유의하게($p<0.05$) 증가하였다. 1차년도 실험과 마찬가지로 2차년도 실험에서도 회토시비는 배추의 수량을 증가시키는데 긍정적인 역할이 있음을 확인할 수 있었다.

표 3-22. 회토 및 질소시용이 배추 생장에 미치는 영향.

	대 조 구	회 토 처 리 구		
		N+0	N+1	N+2 ¹⁾
잎 두께(mm)	0.35±0.013 ^b	0.39±0.019 ^a	0.41±0.014 ^a	0.42±0.016 ^a
초장(cm)	34.0±3.03	34.5±2.32	34.8±2.71	36.2±2.45
포기 둘레(cm)	30.0±6.24	33.1±5.80	33.2±3.05	37.2±4.22
생체 중 (g/포기)	310.9±121 ^b	336.4±89 ^{ab}	355.6±101 ^{ab}	431.2±106 ^a

^{a~b} Means within a row with different superscripts differ($P<0.05$).

1) N+0; moderate N, N+1; moderate N+1/4 moderate N, N+2; moderate N+1/2 moderate N

표 3-23에 의하면 회토 시비로 배추 잎의 엽록소 함량이 대조구에 비해 크게 증가하였다. 같은 질소 시비수준을 기준으로 회토 처리에 의한 엽록소 증가효과를 비교하면 대조구의 총 엽록소함량 6.256 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 에 비해 회토 처리구는 9.570 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 로 약 53%의 엽록소 증가 효과가 나타났다. 배추 유식물에서는(1차년도) 회토 처리에 의한 엽록소 증가 효과가 미미하였으나 배추가 왕성하게 자란 2차년도에는 회토 효과가 크게 증가되었다.

표 3-23. 회토 및 질소시용이 배추의 엽록소 함량에 미치는 영향.

엽록소 함량($\mu\text{g}/\text{mL}$)	대 조 구	회 토 처 리 구		
		N+0	N+1	N+2 ¹⁾
엽록소-a	2.997 ^c	5.432 ^a	4.489 ^b	4.769 ^b
총 엽록소	6.256 ^c	10.685 ^a	8.926 ^b	9.570 ^{ab}

^{a~c} Means within a row with different superscripts differ($P<0.05$).

1) N+0; moderate N, N+1; moderate N+1/4 moderate N, N+2; moderate N+1/2 moderate N

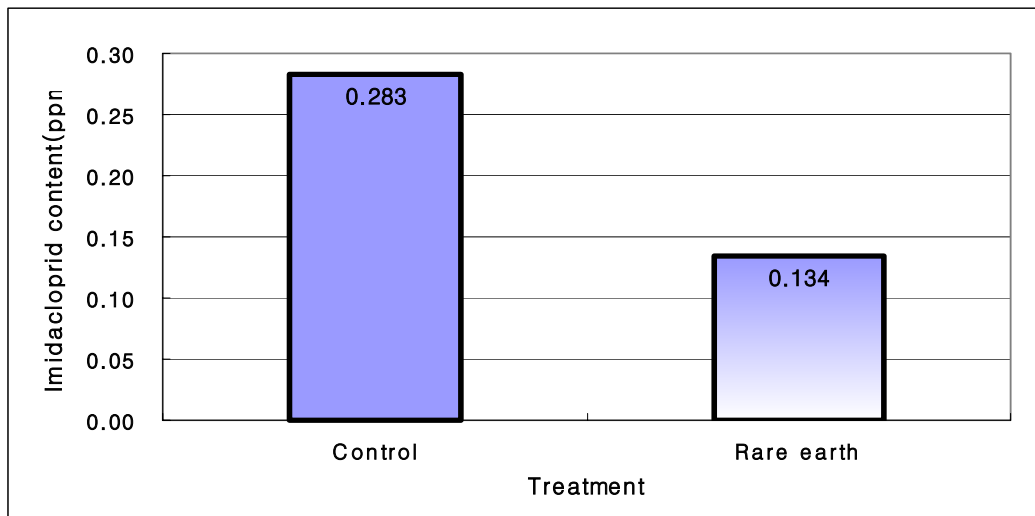


그림 3-12. Nd(NO₃)₃ 시용이 배추의 농약(imidacloprid) 잔류량에 미치는 영향

코니도(imidacloprid)를 처리한 배추에 회토를 3회 처리한 결과 무처리구의 농약 잔류량(imidacloprid)은 0.283ppm인데 비해 회토 처리구는 0.134 ppm으로 52.7%의 농약잔류량 감소효과가 나타났다.

식료품 중의 농약 잔류량 문제는 인간의 건강이나 생명과 직접적인 관련이 있기 때문에 매우 중요한 문제이다. 더구나 우리나라 국민의 1인당 채소 섭취량은 세계 제1위로 농약중독의 가능성은 상존해 있다. 그런데 회토 처리로 채소중의 농약 잔류량을 감소시킬 수 있다는 것은 매우 고무적인 일이라 할 수 있다.

라. 적 요

질소수준을 달리하여 회토 시용효과를 비교하기 위하여 프러그 육묘한 배추 유묘를 유리온실에서 pot 재배하여 잎의 성장과 수량, 엽록소 및 질산태질소 함량을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 질소 사용량이 증가할수록 잎이 커졌으며, 회토 처리로 잎의 폭, 길이 및 두께가 모두 증가하였으나 통계적인 유의성은 N+1처리구에서만 인정되었다.
- 2) 질소처리수준이 증가할수록 생체와 건물수량이 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.05$), 회토 사용으로 생체 및 건물수량이 각각 2~12, 4~6.5% 증수되었다.

- 3) 회토 처리는 배추잎의 건물율을 증가시켰다.
- 4) 모든 질소수준에서 회토 처리로 엽록소함량이 증가되었으며, 질소 시용수준이 높을수록 회토 시용에 의한 엽록소 증가율이 높았다.
- 5) 질소 시비수준이 높을수록 배추잎의 질산태질소 함량이 증가하였으나, 회토 엽면살포로 그 함량이 크게 감소되었으며 N+2처리구에서는 약 40%가 감소되었다.
- 6) 회토 시용은 식물 생장에 필수적 요인인 엽록소함량을 증가시켜 식물 생장을 촉진하고, 특히 식물체내 질산태질소 강하효과가 뚜렷하여 청정 농산물생산의 가능성을 보여 주었다.
- 7) 회토 3회 시용으로 농약(imidacloprid) 잔류량을 52.7% 감소시킬 수 있었다.

6. 미량원소 회토 액비 처리가 방울토마토의 수량과 품질에 미치는 영향

가. 서 론

생활수준의 향상과 선진 외국에서의 국내 주요 과채류에 대한 수입이 증가함에 따라 토마토의 수요도 매년 증가하고 있으나 재배기술과 환경관리의 미흡으로 고품질 토마토의 생산이 어려운 실정이다. 따라서 품질이 양호하면서 수량과 안전성이 높은 방울토마토의 생산기술을 개발하여 국민건강을 증진시키고 수출을 확대하여야 할 것이다.

회토는 식물의 생장을 촉진하고 생리활성을 높여 수량과 품질개선 효과가 탁월한 것으로 알려져 있다. 특히 최근에는 회토에 의한 고품질 청정 농산물 생산에 대한 관심이 높아지고 있는데, 회토 시용으로 과일과 채소의 신선도를 오래 유지할 수 있으며 내병성 증진은 물론 질산태질소 및 농약잔류량을 감소시킬 수 있다.

지금까지는 분말형태의 회토를 물에 희석하여 사용하여 왔으나 일반 농가에서 사용하는 데 여러 가지로 번잡하고 어려움이 많았다. 따라서 농가에서 간편하고 편리하게 사용할 수 있도록 미량원소에 회토를 첨가한 액비를 개발하여 방울토마토에 엽면시비 함으로서 방울토마토의 생장 특성, 수량 및 품질에 미치는 영향을 평가하고자 본 연구를 수행하였다.

나. 재료 및 방법

- 1) **공시작물의 파종 및 시험설계** : 전북 장수군 소재 가나안 프리그에서 구입한 방울토마토(var. 꼬꼬방울) 모종을 전북대학교 실험온실과 전북 전주시 호성동 3가 114번지 소재 비닐하우스 포장에 2004년 4월 6일에 정식하였다. 주폭 35cm, 휴폭 50cm 간격으로 무처리구, 분말회토 처리구, 미량요소 복합비료 처리구로 구분하여 처리당 4반복, 반복당 12주씩 난괴법으로 배치하였다.
- 2) **재배 및 수확** : 전북대 실험온실과 전주시 호성동 재배시험 공히 농가관행으로 시비관리 및 측지 제거작업을 하였다. 분말회토 및 미량요소 회토액비는 1회 살포는 1,300배액을 4월 6일에 엽면살포하였고, 2회와 3회는 1,000배액을 4월 21일과 5월 10일에 각각 엽면살포하였다. 물은 토양의 수분상태를 관찰하면서 보충하였으며, 1차 수확은 2004년 6월 14일에, 2차 수확은 6월 28일에 하였다.
- 3) **회토의 이화학적 성분** : 전북대학교 농업과학기술연구소 종합분석실에 의뢰하였으며, 시험에 사용된 원료회토의 이화학적 성분은 다음과 같다.

표 3-24. 원료회토의 회토함량(%)

Nd	La	Ce	Pr	Sm	Y	총 회토함량
2.87	13.09	6.83	2.60	0.63	0.35	26.37

표 3-25. 원료회토의 중금속 함량(ppm)

Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni	Hg
13.0	82.3	3.4	26.9	6.7	2.4	ND

- 4) **미량요소 회토액비(제4종)의 이화학적 성분** : 전북대학교 농업과학기술연구소 종합분석실에서 분석하였다. 일반성분은 AOAC(1995) 방법에 준하였고, 무기물은 원자흡광도계(Automic Absorption Spectrophotometer)로 분석하였다.

표 3-26. 제4종 미량요소 회토액비의 이화학적 성분

성분	주성분		유해성분					
	수용성 붕소	수용성 몰리브덴	비소	니켈	크롬	티탄	아질산	카드뮴
함량(%)	0.37	0.05	흔적	흔적	0.04	0.005	0.00005	흔적

5) 잎과 줄기의 두께, 과일 당도 및 경도 : 당도 측정은 Hand Refractometer (Atago N-1a, Japan)를 사용하였으며, 잎과 줄기의 두께는 Digimatic Caliper(Mitutoyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 경도는 Fudoh Rheo Meter(Rheotech, Japan)를 사용하여 과육의 경도를 측정하였다.

다. 주요 결과

1) 전복대 실험온실 시험

표 3-27. 방울토마토의 생장특성(전복대 실험온실)

처 리	평균 절간길이(cm)	제1화방 높이(cm)	제2화방 높이(cm)	줄기 직경(cm)	잎 두께(mm)
무처리	5.05 ^{a*}	18.5	53.8	5.79	0.412
분말회토처리	4.21 ^b	17.6	44.6	5.86	0.453
미량요소 회토액비	4.78 ^{ab}	18.1	52.4	6.24	0.458

* Means within a column with different superscripts differ(p<0.01)

회토시용으로 평균 절간길이가 짧아졌는데 무처리구의 평균 절간길이는 5.05cm인데 비해 분말회토 처리구는 4.21cm, 미량요소 회토액비 처리구는 4.78cm로 분말회토 처리구의 절간길이가 가장 짧았다. 제1화방의 높이는 분말회토 처리구와 미량요소 회토액비 처리구가 각각 17.6, 18.1cm로 무처리구의 18.5cm에 비해 모두 낮았다. 제2화방의 높이에서도 제1화방과 같은 경향을 보여주었다. 미량요소 회토액비 처리로 줄기가 7.8% 굵어지고 잎이 11.2% 두꺼워졌는데 개체 차이가 컸기 때문에 처리구간 통계적인 유의성은 인정되지 않았다.

표 3-28. 방울토마토의 수량 (전북대 실험온실)

처 리	제1화방		제2화방		총 과일 수량 (g/plant)
	수확과수	총 무게(g)	수확과수	총 무게(g)	
무처리	8.1	68.7	7.8	49.7	1,035
분말희토 처리	10.4	82.0	8.7	52.7	1,162
미량요소 희토액비	10.8	88.4	9.8	59.3	1,254

제1화방과 제2화방의 수확과수는 희토처리로 크게 증가하였으며 과일 수량도 크게 증가하였다. 제1화방의 과일 무게는 미량요소 희토액비 처리구가 무처리구에 비해 28.7%가 증수되었으며, 제2화방에서도 19.3%가 증수되었다. 식물체당 총 과일 수량은 분말희토 처리구에서는 12.3%가 증수되었으며, 미량요소 희토액비 처리구에서는 21.2%가 증수되었다.

표 3-29. 방울토마토의 품질(전북대 실험온실)

처 리	1과중(g/개)	당도(Brix, %)	경도(g/cm ²)
무처리	9.32	6.6 ^{c*}	507.2 ^b
분말희토 처리	10.68	7.8 ^a	647.4 ^a
미량요소 희토액비	9.89	7.1 ^b	599.9 ^{ab}

* Means within a column with different superscripts differ(p<0.01)

방울토마토의 개당 평균 무게(1과중)는 무처리에 비해 미량요소 희토액비 처리구가 14.6% 더 무거웠다. 당도는 분말희토 처리구의 과일이 무처리구에 비해 18.2% 향상되었으며, 미량요소 희토액비 처리구는 7.6%의 향상효과가 있었다. 과육의 경도는 희토처리로 크게 증가되었는데(p<0.01), 특히 분말희토 처리구의 과육이 더 단단하였다. 희토처리로 평균 절간길이가 전체적으로 짧아지면서 화방경의 높이가 낮아졌으며, 줄기가 커지고 잎이 두꺼워졌다. 그리고 열매수가 희토처리로 많아지고 수량도 증가하였으며, 열매의 당도와 경도가 증가되었다. 미량요소 희토액비 처리는 분말희토 처리에 비해 줄기와 잎이 더 두꺼워졌으며, 수량도 약 8%가 증수되었다.

2) 전주시 호성동 시험

표 3-30. 방울토마토의 생장특성(전주시 호성동)

처 리	평균 절간길이(cm)	제1화방 높이(cm)	제2화방 높이(cm)	줄기 직경(cm)	잎 두께(mm)
무처리	5.59	17.7	49.4	11.3 ^{b*}	0.45
분말희토 처리	5.22	15.3	46.5	11.8 ^{ab}	0.50
미량요소 희토액비	5.37	16.1	48.4	12.5 ^a	0.48

* Means within a column with different superscripts differ($p<0.01$)

전주시 호성동의 시설 하우스 내 포장에서 재배한 방울토마토에 희토를 처리한 결과 평균 절간길이가 짧아졌으며, 제1화방경과 제2화방경의 높이가 낮아졌다. 그리고 전북대 실험온실에서와 마찬가지로 미량요소 희토액비 처리로 줄기의 직경이 커지고 잎이 두꺼워졌다.

표 3-31. 방울토마토의 수량 (전주시 호성동)

처 리	제1화방		제2화방		총 과일 수량 (g/plant)
	수확과수	총 무게(g)	수확과수	총 무게(g)	
무처리	12.1 ^{b*}	135.6 ^b	17.9 ^b	198.9 ^b	1,271
분말희토 처리	14.2 ^a	152.6 ^a	18.4 ^b	231.1 ^a	1,462
미량요소 희토액비	15.0 ^a	164.2 ^a	20.8 ^a	244.6 ^a	1,514

* Means within a column with different superscripts differ($p<0.01$)

미량요소 희토액비 처리는 방울토마토의 수확과수를 늘리고 수량도 크게 많아졌다. 제1화방의 수확과수는 미량요소 희토액비 처리가 무처리에 비해 24%가 증가되었고, 수량도 약 21%가 증수되었다. 제2화방에서도 마찬가지로 미량요소 희토액비 처리는 분말액비 처리에 비해서 수확과수와 수량을 크게 증가시켰다($p<0.01$). 식물체당 총 수량에서는 미량요소 희토액비는 무처리구에 비해 15%의 수량 증가가 있었으며, 미량요소 희토액비 처리구에서는 약 19%의 수량 증가를 가져올 수 있었다.

표 3-32. 방울토마토의 품질(전주시 호성동)

처 리	1과중(g/개)	당도(Brix, %)	경도(g/cm ²)
무처리	9.66	5.54 ^{b*}	803 ^b
분말회토 처리	11.39	6.07 ^a	939 ^a
미량요소 회토액비	10.24	5.80 ^{ab}	934 ^a

* Means within a column with different superscripts differ(p<0.01)

방울토마토의 개당 평균무게(1과중)는 무처리가 9.66g인 반면 분말회토 처리구는 11.39g으로 약 18%가 더 무거웠다. 회토처리로 토마토의 당도가 증가되었으며, 과일의 경도도 유의하게(p<0.01) 증가되었는데, 미량요소 회토액비 처리구와 분말회토 처리구간에 통계적인 유의차는 없었다.

호성동에서 재배한 토마토는 전북대에서 재배한 것에 비해 절간길이가 길고 줄기가 두 배 가까이 더 굵었으며, 잎도 더 두꺼웠다. 또한 호성동에서 재배한 토마토의 수확 과수가 전북대에서 재배한 것에 비해 더 많았으며, 총 과일 수량도 두 배 이상이 더 많았다. 개당 과일 무게(1과중)과 경도도 호성동에서 재배한 것이 더 컸으나 당도는 전북대에서 재배한 것이 더 높았다. 이러한 차이는 호성동의 토양이 전북대 실험온실 토양에 비해 pH가 높고 더 비옥하였기 때문이며, 재배관리의 차이에도 기인한 것으로 사료되었다. 분말회토와 미량요소 복합비료 처리로 방울토마토의 영양생장이나 생식 생장에 어떠한 피해도 나타나지 않았으며, 모두 작물재배에 안전한 것으로 판단되었다.

라. 적 요

분말회토와 미량요소 회토액비 시용이 방울토마토의 생장과 수량, 과일품질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 전북대학교 실험온실과 전주시 호성동 소재 포장에서 재배하여 조사한 주요 결과는 다음과 같다.

1) 전북대학교 실험온실 재배시험 결과요약

- 방울토마토의 생육특성 : 미량요소 회토액비 시용으로 평균 절간길이가 짧아졌으며, 제1화방경과 제2화방경의 높이도 낮아졌다. 또한 토마토 줄기의 굵기를 굵게 하고 잎을 두껍게 하였다.
- 방울토마토의 수량 : 미량요소 회토액비의 시용으로 수확과수가 증가되었으며, 총 과일의 수량도 21.2%가 증수되었다.

- 방울토마토의 품질 : 미량요소 회토액비 시용은 방울토마토의 1과중 무게를 약 14.6% 증가시켰으며, 당도는 7.6% 향상되었다. 과육의 경도도 크게 증가되었다.
- 종합 고찰 : 미량요소 회토액비는 줄기를 짧게 하면서 줄기와 잎을 튼튼히 하여 열매 수와 무게를 증가시킴으로서 수량을 크게 제고하였다. 그리고 생육 도중 식물생육에는 전혀 피해를 주지 않았다.

2) 전주시 호성동 재배시험 결과요약

- 방울토마토의 생육특성 : 전북대 실험온실의 재배결과와 마찬가지로 미량요소 회토액비 시용으로 방울토마토의 평균 절간길이가 짧아졌으며, 줄기가 굵어지고 잎이 두꺼워 졌다.
- 방울토마토의 수량 : 미량요소 회토액비 처리는 수확과수를 크게 늘리고 수량도 약 19%가 증수되었다.
- 방울토마토의 품질 : 미량요소 회토액비 시용으로 방울토마토의 무게가 증가되고 당도와 과육의 경도가 크게 향상되었다.
- 종합 고찰 : 호성동에서 재배한 토마토가 전북대에서 재배한 것에 비해 식물체가 더 컸고 착과 수, 수량 등이 월등하게 많았다. 과일의 당도는 전북대 실험온실에서 재배한 것이 더 높았다.
- 결론 : 미량요소 회토액비의 시용으로 방울토마토의 절간을 짧게 하면서 줄기와 잎을 굵게 하여 생육이 더 왕성하여졌으며, 과일의 크기와 수량을 크게 제고하였다. 또한 과일의 당도와 경도를 높임으로서 방울토마토의 품질을 크게 향상시키는 결과를 가져왔다.

7. 회토급여가 재래염소의 성장과 도체 육질에 미치는 영향

가. 서론

현재 중국에서는 120여종의 농작물, 목초, 임목에 회토가 이용되고 있으며, 20여종의 가축사료에 사용되고 있다. 중국 각지에 회토가 보급되어 총 사용 면적이 약 4,600만 ha에 달하며, 약 8,000톤의 회토가 사용되고 있다고 한다(張, 2003). 우리나라에서는 금년(2004년)에 약 80톤의 회토가 농작물에 사용될 예정이며, 가축용 사료첨가제로는 약 20여 톤이 사용될 것으로 예상하고 있다.

회토는 가축에 매우 강한 생리활성작용이 있어 핵산대사에 영향을 주며, 성장발육과 육질을 좋게 한다고 하였다(張 등, 2000). 사료에 회토를 첨가하면 비육돈은 털에 윤

기가 나며 질병에 강하여 폐사율이 감소되며 일당증체량이 10~20% 향상되었다고 하였다(張 등, 2000). 또한 비육양에서도 체중과 산모량이 증가되고 양털의 품질이 개선되었다고 하였다. 소와 말에 있어서는 회토급여로 증체가 빨라지고 육질이 개선되었으며 산육량이 5~10% 증가하였다고 보고 되었다.

따라서 농후사료에 회토를 첨가하고, 또한 회토를 엽면살포하여 재배한 수단그라스를 사일리지로 제조하여 한국 재래염소에 급여함으로써 염소의 성장과 도체 품질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

나. 재료 및 방법

1) 공시축 및 시험장소

체중이 12.5kg 내외의 생후 4개월령인 재래염소 수컷을 처리당 5두씩 4처리로 총 20두를 공시하였다. 시험기간은 2003년 11월 18일부터 2004년 2월 16일까지 90일간 전북대학교 부속목장에서 실시하였다.

2) 공시사료 및 사양관리

농후사료는 시중에서 판매하고 있는 중송아지용 펠렛을 모든 공시축에 급여하였다, 조사료는 무처리구와 회토구는 갈잎과 알팔파 건초를 3:1의 비율로 급여하였으며, 사일리지구와 RE-사일리지 급여구는 갈잎과 사일리지를 1:1 건물비로 급여하였다. RE-사일리지는 전북대학교 실험포장에 2003년 5월 5일에 파종하여 생육기간 중에 회토 1,000배액을 3회 엽면시비 하였으며, 8월 21일에 수확하여 트렌치 사일로에서 제조한 사일리지 이다. 시험축은 처리구별로 군집사양을 하였으며, 시험 개시전 10일간 시험사료 적응기간을 두었다. 조사료는 1일 2회 자유급여 하였으며, 농후사료는 오전 9시와 오후 4시경에 체중의 2%를 급여하였고, 신선한 물을 자유급수 하였다.

3) 체중 및 사료섭취량 측정

시험개시와 종료시 체중을 사료 급여 전에 측정하였다. 사료섭취량은 사료급여량을 측정하여 급여한 후 다음날 첫 사료 급여 전에 잔량을 측정하여 급여량에서 잔량을 제한 값을 사료섭취량으로 하였다.

4) 도체 및 육질 검사

도체검사는 시험 종료 후 ,각 처리별로 4두씩의 시험축을 축산연구소 농산물이용과에서 도축하여 5°C에서 24시간 냉장시킨 후 발골하여 도체중, 정육률, 뼈, 지방 무게를 측정하였다. 육질은 처리구당 3두씩 3반복으로 시료를 등심과 채끝

에서 채취하여 pH, 가열감량, 전단력(Warner-Bratzler shear meter, G-R Elec. Mfg. Co. USA), 및 관능검사 등을 조사하였다.

다. 결과 및 고찰

Table 3-33. Effect of feeding rare earth on body weight gain and feed intake of Korean native goat.

Item	Control	RE	Silage	RE-silage
Initial weight(kg)	12.60±1.85	12.58±2.61	12.41±1.62	12.20±2.36
Finished weight(kg)	17.58±2.61	18.20±3.44	17.12±2.31	16.38±2.98
Total gain(kg)	4.98±1.77	5.62±3.09	4.71±2.03	4.18±1.59
ADG(g/day)	55.28±16.84	62.46±21.94	52.28±20.03	46.40±17.08
TDMI(g/day)	627	606	555	543
- Concentrate(g)	280	280	280	280
- Roughage(g)	347	326	275	263
Feed conversion ratio	11.3	9.7	10.6	11.7

AGD : Average daily gain, TDMI : Total dry matter intake

체중이 12.5KG 내외인 재래염소에 희토와 희토처리 사일리지를 급여한 결과 시험기간 중 총 증체량은 희토구가 가장 높았으며, 사일리지 급여구는 낮은 조사료 섭취로 인해 무처리에 비해 오히려 낮았다. 일당 증체량에 있어서도 마찬가지로 결과가 나타났는데 희토구는 무처리구에 비해 약 13%가 더 증체되었다. 그러나 사일리지 급여구는 일일 조사료 섭취량이 무처리구에 비해 72G을 더 적게 먹었으며, RE-사일리지 급여구는 84g이나 적게 섭취함으로써 일당증체량이 크게 낮았다. 1g 증체당 사료요구량은 무처리구 11.3g에 비해 희토구는 9.7g으로 희토구의 사료효율이 크게 높았다.

Table 3-34. Effect of feeding rare earth on carcass characteristics of Korean native goat.

Item	Control	RE
Slaughter weight(kg)	5.07±0.41	16.55±3.04
Cold weight(kg)	6.06±0.37	6.67±1.32
Dressing percentage(%)	40.0±1.84	40.3±2.15
Meat weight(kg)	4.28±0.32	4.75±0.90
Meat percentage(%)	71.0±3.16	71.2±3.38
Bone percentage	23.9±1.92	23.7±1.86
Fat percentage(%)	4.8±2.31	6.7±3.79

냉도체중, 도체율 및 정육량은 희토급여구가 약간 높았으나 통계적인 유의성은 없었다. 뼈에서는 처리간에 차이가 없었으며, 지방률은 대조구의 4.8%에 비해 희토구는 6.7%로 희토처리로 지방함량이 증가하였다.

Table 3-35. Effect of feeding rare earth on carcass physical properties of Korean native goat.

Item	Control	RE
Shear force(kg/0.5inch ²)	2.45±0.87	3.37±1.08
Cooking loss(%)	25.09±4.59	26.45±3.50
Water holding capacity(%)	56.21±3.15	53.46±3.25
Joiciness	4.93±0.70	4.00±0.53
Tenderness	5.33±0.61	4.73±0.50
Flavour	4.33±0.64	4.33±0.12
pH	5.79±0.23	5.71±0.16

도체의 물리적 성질은 전단력은 희토 급여구가 대조구에 비해 높았으며, 가열감량도 희토구가 약간 높았다. 보수력도 희토구가 약간 낮았으며, 다즙성과 연도에 있어서도 희토구가 약간 낮았으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다. 향미와 pH는 처리구간 비슷한 결과를 보여 주었다. 따라서 희토처리로 육질 향상효과를 본 실험에서는 기대할 수 없었다.

Table 3-36. Effect of feeding rare earth on chemical composition of Korean native goat.

Item	Control	RE
Moisture(%)	75.50±1.06	74.52±0.53
Crude protein(%)	20.43±0.11	20.40±0.37
Crude fat(%)	3.18±0.96	4.18±0.44
Crude ash(%)	0.89±0.01	0.90±0.03

희토처리로 재래염소의 수분함량이 약간 감소되었으며, 조지방함량은 증가하였다. 그러나 조단백질과 조회분함량은 차이가 없었다.

제 4 절 세부과제 4 : 친환경용 희토 복합제 개발

1. 시험방법

가. 공시작물 : 상추, 사료용 옥수수, Italian ryegrass

- 1) 상추 : 청치마 상추(F1, 농우종묘)
- 2) 사료용 옥수수 : 수원19호(농촌진흥청, F1, 2001년산)
- 3) Italian ryegrass : 말티시모(미국, 2001년산)

나. 공시 희토

1) 단일희토

- 순도 99.99%의 $RE Cl_3$ 를 구입하여 1000ppm의 농도로 희석한 다음 처리
- 처리원소 : La(Lanthanum), Pr(Praseodymium), Nd(Neodymium), Ce(Cerium), Y(Yttrium)

2) 복합희토

- 포함성분 : La, Pr, Nd, Ce, Y, 기타 미량원소(Cu, Mn, Mo, Zn, Fe), 증진제(增量劑), 확산제(擴散劑), 침투촉진제(浸透促進材劑) 등
- 순도 약 8.99%로 조제하여 농도별로 희석하여 시용

다. 공시 농약

- Mancozeb 수화제(상품명 : 다이센엠45)

라. 시험설계

- 1) 5개원소(La, Ce, Pr, Nd, Y) 및 대비구
- 2) 5개처리(4개 $RE Cl_3$ 첨가수준: 10, 30, 50, 100ppm 및 무처리), 처리당 6반복

마. 처리방법

- 1) 침종처리
 - 상추 : 7시간, 사료용 옥수수 : 24시간
 - 각 원소별 농도별로 침종 후 파종
- 2) 희토 염면시비 처리
 - 상추 : 정식 10일후 1차, 생육초기, 생육중기(수확 개시 10일전)
 - 옥수수 : 유묘기, 생육중기, 출수(사)기
 - Italian ryegrass : 유묘기, 출수기 직전
- 3) 양액공급
 - 배양액 처방 : 일본 원예연구소 표준액(원예연액) - pH 5.8~6.2
 - 공급방법 : 배양액의 농도는 유묘기(5엽기까지) 0.9~1.0dS/m, 유묘기 이후부터는 1.1~1.2dS/m로 하고, 온도관리는 주간 20℃, 야간 15℃를 기준으로 유지하였다.
- 4) 기비 및 추비
 - 옥수수 : 토양검정을 통해 농촌진흥청 표준시비 기준에 따라 N-P-K에 대해 25-17-15로서 N의 1/3은 기비로서 1차 추비(생육중기)로서 1/3, 2차 추비(출수기 직전) 1/3로 분시하였다.
 - Italian ryegrass : 옥수수와 같은 방법으로 농촌진흥청 표준시비 기준에 따라 N-P-K에 대해 20-15-15로서 N의 1/3은 기비로서 1차 추비(재생기, 2월 15일)로서 1/3, 2차 추비(출수기 직전, 3월 15일) 1/3로 분시하였다.
- 5) 농약
 - 옥수수 : Mancozeb(상품명: 다이센엠45)수화제를 40ml/20L 수준으로 2회 처리
 - 상추 : 옥수수와 같은 농약과 살포방법으로 3회 처리
 - Italian ryegrass : 재배농가 관행상 농약처리를 하지 않으므로 본 시험에서도 농약처리를 제외하였다.

Table 4-1. 작물별 희토처리 방법

< 단일희토 >

상추 및 옥수수

처리구	1차	2차
CK	-	-
I -1	침 중	La10ppm
I -2	침 중	La30ppm
I -3	침 중	La50ppm
I -4	침 중	La100ppm
II -1	침 중	Ce10ppm
II -2	침 중	Ce30ppm
II -3	침 중	Ce50ppm
II -4	침 중	Ce100ppm
III -1	침 중	Y10ppm
III -2	침 중	Y30ppm
III -3	침 중	Y50ppm
III -4	침 중	Y100ppm
IV -3	침 중	Pr10ppm
IV -4	침 중	Pr30ppm
IV -3	침 중	Pr50ppm
IV -4	침 중	Pr100ppm
V -1	침 중	Nd10ppm
V -2	침 중	Nd30ppm
V -3	침 중	Nd50ppm
V -4	침 중	Nd100ppm

<복합희토>

상 추					옥수수 및 이탈리아안라이그라스			
처리구	1차	2차	3차	4차	처리구	1차	2차	3차
CK	-	-	-	-	CK	-	-	-
I -1	침 중	100ppm	-	-	II -1	토양시용	200ppm	-
I -2	침 중	200ppm	-	-	II -2	토양시용	300ppm	-
II -1	침 중	100ppm	200ppm	-	II -3	토양시용	500ppm	-
II -2	침 중	100ppm	300ppm	-	II -4	토양시용	700ppm	-
II -3	침 중	100ppm	500ppm	-	II -5	토양시용	1,000ppm	-
II -4	침 중	100ppm	1,000ppm	-	III -1	-	200ppm	200ppm
III -1	침 중	100ppm	200ppm	300ppm	III -2	-	200ppm	300ppm
III -2	침 중	100ppm	200ppm	500ppm	III -3	-	200ppm	500ppm
III -3	침 중	100ppm	200ppm	1,000ppm	III -4	-	200ppm	700ppm
III -4	침 중	100ppm	200ppm	1,500ppm	III -5	-	200ppm	1,000ppm

2. 조사방법 및 항목

가. 생육상황

- 1) 측정항목 : 초장(草長), 엽수(葉數), 주중(株重), 엽생체중(葉生體重),
엽건물중(葉乾物重) 등
- 2) 방 법 : 실측 및 건조 후 계량(농촌진흥청 표준분석법 기준)

나. 질산염 및 농약잔류량 강하률

- 1) 농약잔류량
 - 가) 유효농약성분 : A coordination product of Zinc and Manganese ethylene bis dithiocarbamate
 - 나) 분석성분 : 2-benzyl-1-pentafluorobenzyl-2-imidazoline
 - 다) 분석방법 : 생육종료 후 생엽을 채취하여 서울대학교 농생대에 의뢰하여 E.T.U standard(97.19%) solution에 의한 검량선을 작성하고 E.T.U의 추출 및 유도체의 형성, 정제 및 분석, 회수율시험 등의 과정을 통해 실시하였으며 검출한계는 0.006ppm, 최소 검출량은 3 pg 으로 설정하였다,
- 2) 질산염 : 전북대학교 농업과학기술연구소에 의뢰, fresh weight base로 측정하였다.

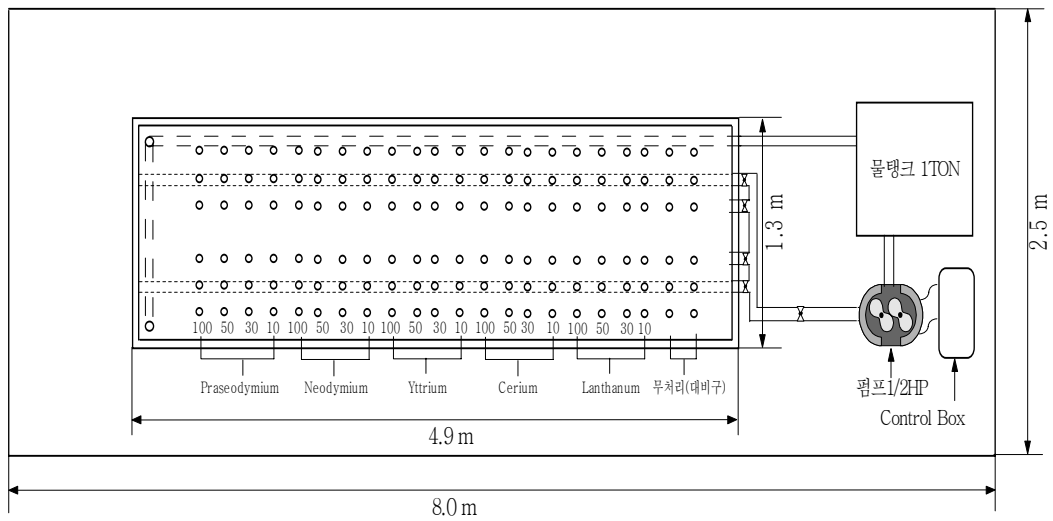
다. 식물체내 회토원소 잔존량

-옥수수 및 상추작물에 대한 단일회토 및 복합회토 처리에 따른 잔류량을 전북대학교 농업과학기술연구소에 의뢰하여 원자흡광분석기 등으로 측정하였다.

3. 시험시설의 설치 및 배치

가. 상 추

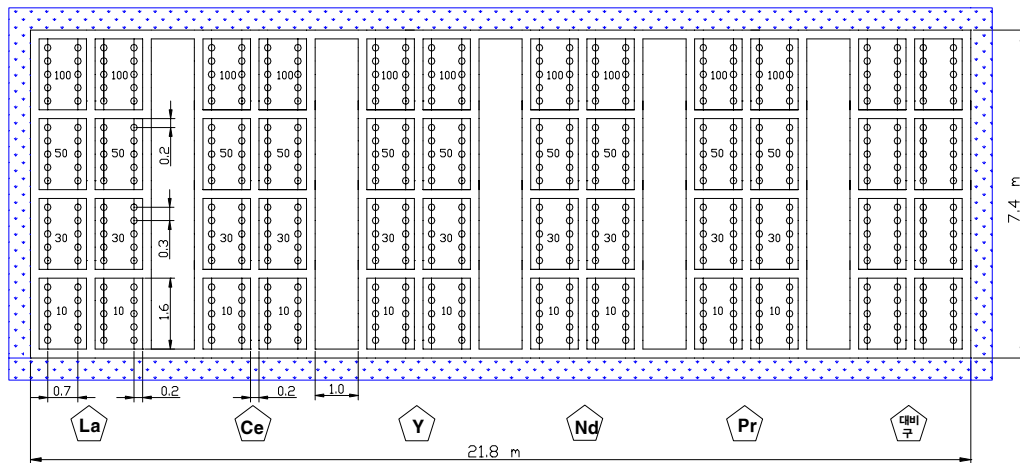
비고형(非固型) 배지경 양액재배방식으로서 분무경(噴霧耕)방법을 채택하여 전북대학교 농과대학 유리온실에 양액재배시설을 설치하고, 포트에 파종하여 육묘한 후 재배상(栽培床)에 정식하였다.<Fig. 4-1>참조.



<Fig. 4-1> 양액재배 단면도(상추)

나. 사료용 옥수수

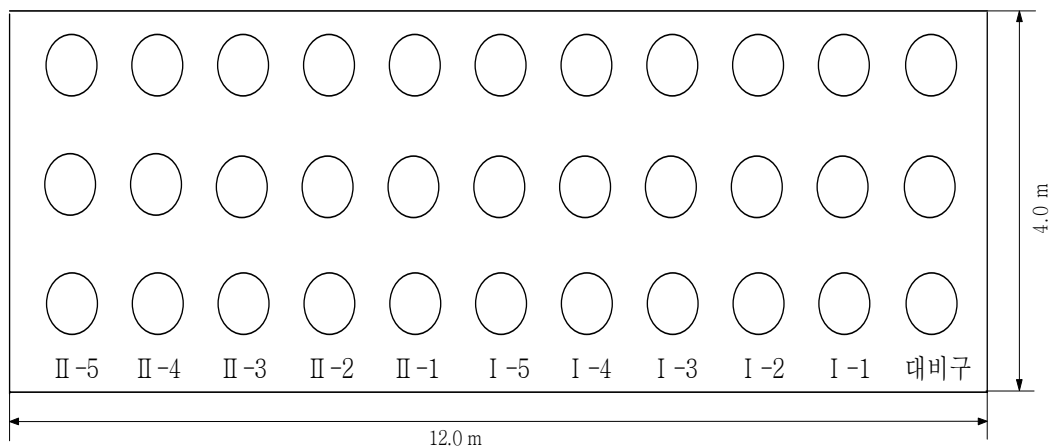
사료용 옥수수 재배실험을 위한 실험포는 21.8m×7.4m(가로×세로)의 크기에 5개 원소(La, Ce, Pr, Nd, Y) 및 5개처리(4개 $RECl_3$ 첨가수준: 10, 30, 50, 100ppm 및 무처리)구로 구분하여 전북대학교 농과대학 실험포장에 <Fig. 4-2>와 같이 설치하였다.



<Fig. 4-2> 옥수수 실험포장 단면도

다. Italian ryegrass

이탈리안라이그라스 재배실험을 위한 실험포는 전북대학교 농과대학 유리온실(12×4m)에서 규격 0.6m×0.8m(직경×높이) 크기의 포트에 파종하고 10개 처리구 및 무처리구로 구분 하여 <Fig. 4-3>과 같이 설치하였다.



<Fig. 4-3> 이탈리안라이그라스 실험포장 단면도

4. 연구수행 결과

가. 상대적 다량 단일회토 원소의 적정처리 농도 구명

복합회토 조제에 활용되는 16개의 단일원소의 원료투입함량은 그 원소의 식물체 내로의 흡수 양태와 작용기작, 체내에서의 반응수준 등에 따라 많은 차이를 보인다. 이 분야에 대한 정밀하고 과학적인 실증적 연구는 국내외적으로 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 우리나라의 재배환경과 농약잔류량 및 질산염잔존량의 측면에서 안전성의 검증을 요구하는 몇 종류의 지표작물을 대상으로 적정 처리농도와 시용 횟수를 구명하기 위하여 3년에 걸쳐 2회 시험을 수행한 바 그 결과는 다음과 같다.

본 시험결과에 사용된 자료는 2차에 걸쳐 분석된 값의 평균치를 나타낸 것이다.

1). 상 추

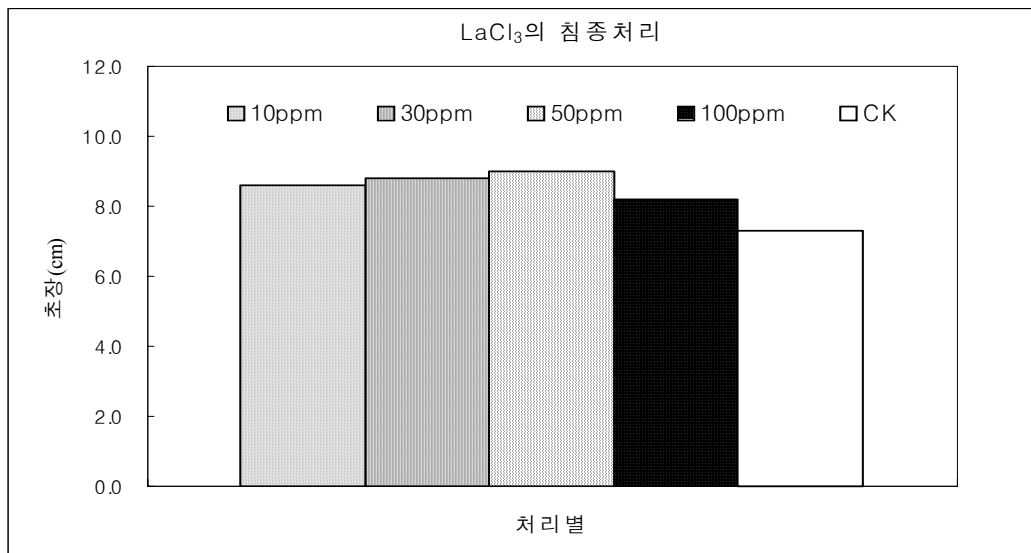
가) $LaCl_3$ 의 처리효과

Table 4-2 및 Fig.4-4에서 보는 바와 같이 상추종자에 대한 $LaCl_3$ 침종 처리 시 주중(株重:주당중량)에서는 2.7~2.9g(96.4%~103.6%)의 범위로서 특별한 차이를 발견할 수 없었으나 초장에 있어서는 10ppm, 30ppm, 50ppm, 100ppm 처리구가 무처리구(대비구) 7.3cm에 비해 각각 17.8%, 20.5%, 23.2%, 12.3% 정도 크게 나타나 50ppm, 30ppm, 10ppm, 100ppm 순으로 회토처리 효과가 있는 것으로 나타났다.

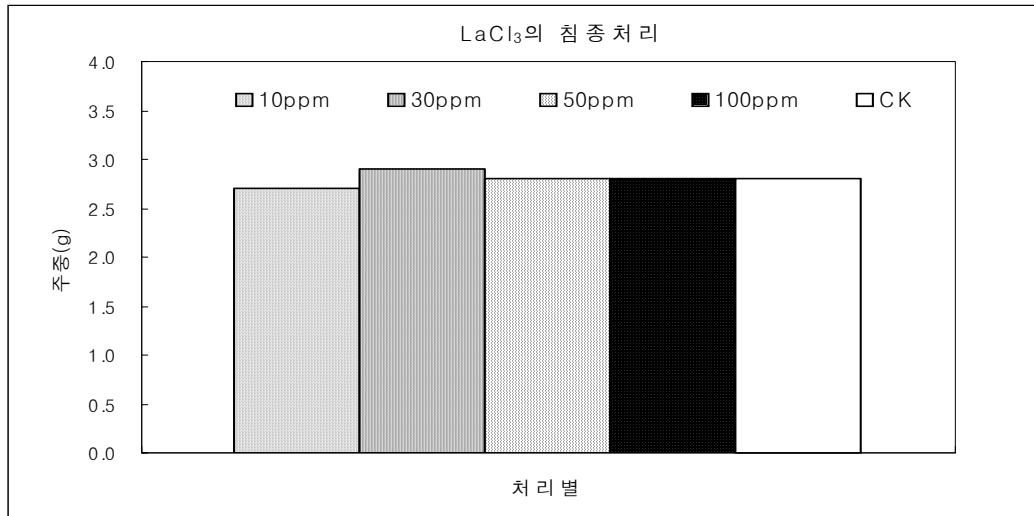
Table 4-2. $LaCl_3$ 의 침종처리가 상추의 생장에 미치는 영향

측정 항목 \ 처 리	10ppm	30ppm	50ppm	100ppm	CK(대비구)
초장(cm)	8.6(117.8)	8.8(120.5)	9.0(123.2)	8.2(112.3)	7.3(100.0)
주중(g)	2.7(96.4)	2.9(103.6)	2.8(100.0)	2.8(100.0)	2.8(100.0)

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)



<Fig. 4-4-1> $LaCl_3$ 침종처리가 상추의 초장에 미치는 영향



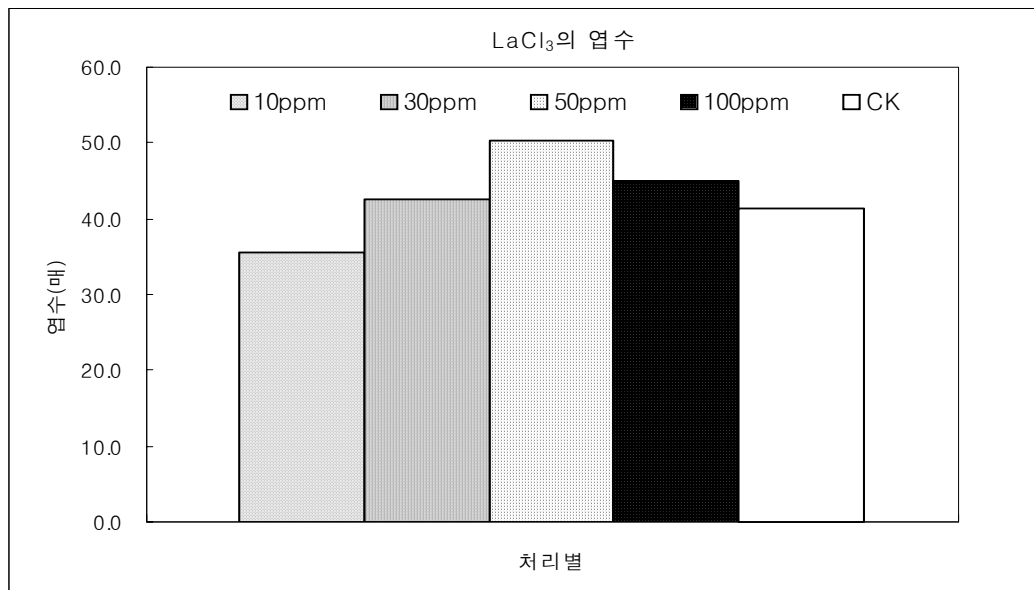
<Fig. 4-4-2> $LaCl_3$ 침종처리가 상추의 주중에 미치는 영향

생육과정 중 단일희토 원소 처리효과는 Table 4-3 및 Fig. 4-5에서 보는 바와 같이 침종처리의 경우 모든 처리구에서 큰 차이가 나타나지는 않았으나 비교적 농도가 높은 50ppm, 100ppm에서는 무처리구에 비해 엽수, 엽생체중, 건물중 등에서 2회 평균 값이 각각 22.0%, 9.0% 및 14.4%, 18.0%와 12.6%, 12.6% 씩 증가한 결과를 알 수 있었다. 2차 성장시험에 비해 1차 성장시험의 희토 시용효과가 더 많이 나타난 이유는 재배시기에 있어서 1차 때는 비교적 저온기였으므로 희토 원소의 작용기작 중 저온 및 고온 등의 불리한 환경에서의 생리활성작용의 촉진에서 비롯된 것으로 추정된다.

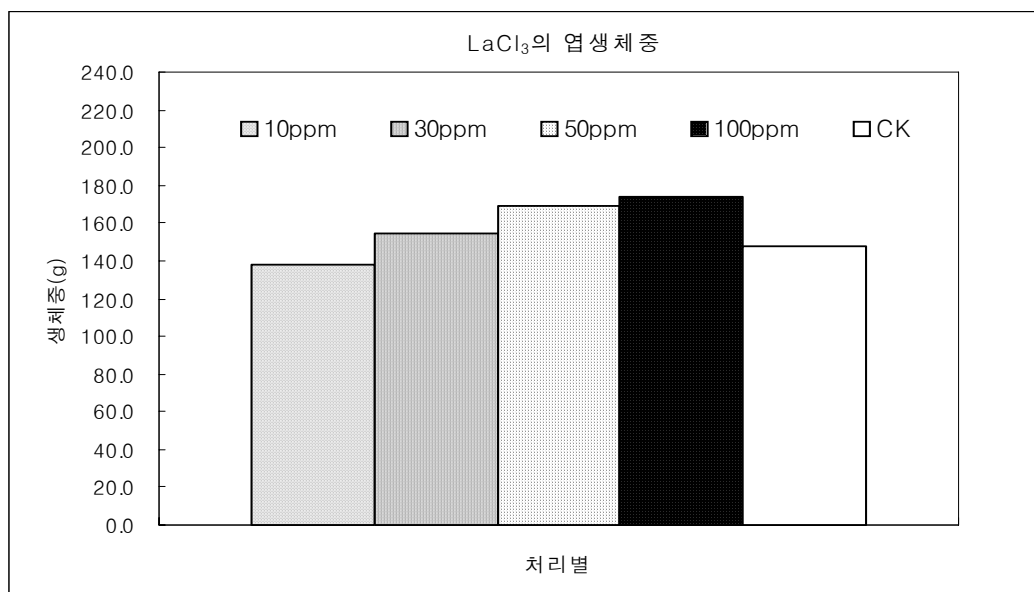
Table 4-3. $LaCl_3$ 의 엽면시비가 상추 수확에 미치는 영향

처 리 측정항목	10ppm			30ppm			50ppm			100ppm			CK(대비구)		
	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균
엽수(매)	15.4	55.8	35.6 (86.2)	33.5	51.7	42.6 (103.1)	46.8	54.0	50.4 (122.0)	34.2	55.7	45.0 (109.0)	28.4	54.1	41.3 (100.0)
엽생체중(g)	104.1	172.7	138.4 (93.8)	147.3	161.5	154.4 (104.7)	158.2	179.2	168.7 (114.4)	163.1	184.9	174.0 (118.0)	116.9	178.1	147.5 (100.0)
엽건물중(g)	7.3	12.4	9.9 (96.1)	8.8	11.2	10.0 (97.1)	9.4	13.7	11.6 (112.6)	9.8	13.3	11.6 (112.6)	7.3	13.3	10.3 (100.0)
단엽중(g)	6.9	3.1	5.0	4.4	3.1	3.8	3.5	3.3	3.4	4.8	3.3	4.1	4.1	3.3	3.7

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)



<Fig. 4-5-1> *LaCl*₃의 엽면시비가 상추의 엽수에 미치는 영향



<Fig. 4-5-2> *LaCl*₃의 엽면시비가 상추의 생체중에 미치는 영향

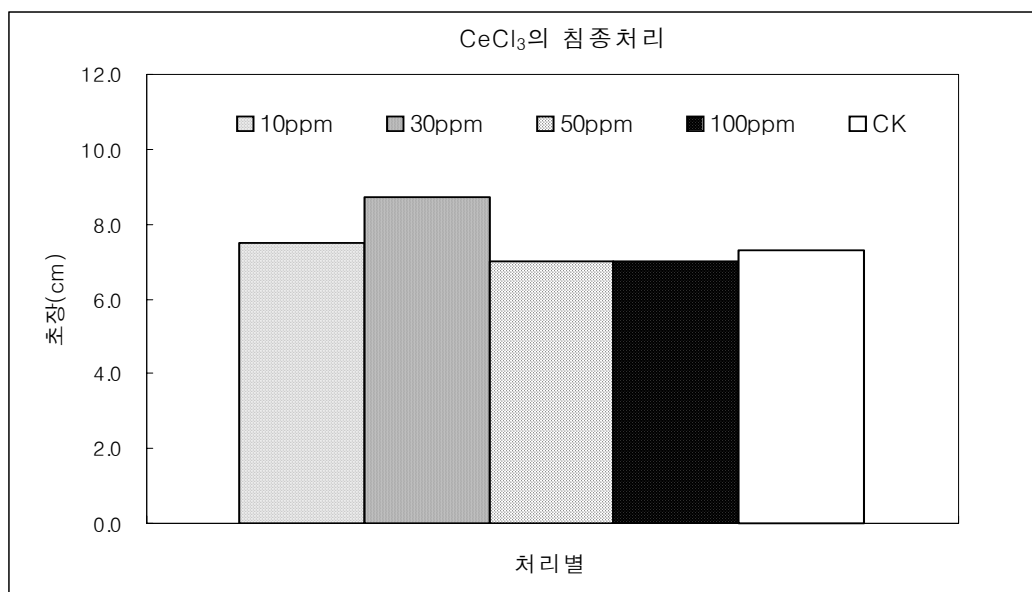
나) $CeCl_3$ 의 처리효과

침종 처리 시 $CeCl_3$ 처리효과는 Table 4-4 및 Fig. 4-6에서 보는 바와 같이 초장 및 주중(株重)에 있어서 비교적 저농도인 10ppm, 30ppm 처리구가 무처리구에 비해 각각 2.7%, 19.2%와 10.7%, 21.4%의 증가를 보였으나 고농도인 50ppm, 100ppm 처리시는 초장과 주중에서 각각 4.1%, 17.9% 정도가 적은 것으로 나타났다.

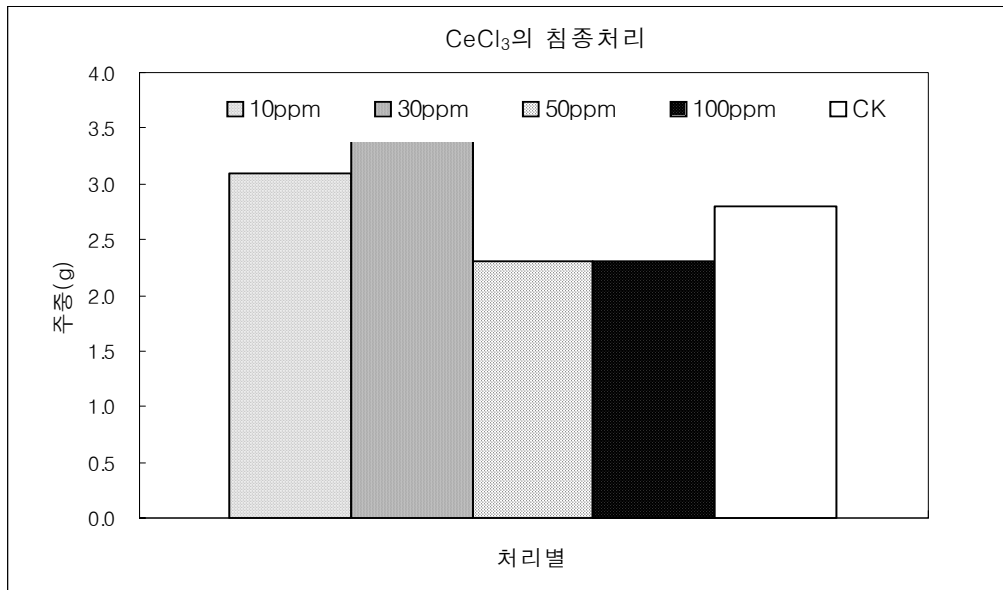
Table 4-4. $CeCl_3$ 의 침종처리가 상추의 생장에 미치는 영향

측정 항목 \ 처 리	10ppm	30ppm	50ppm	100ppm	CK(대비구)
초장(cm)	7.5(102.7)	8.7(119.2)	7.0(95.9)	7.0(95.9)	7.3(100.0)
주중(g)	3.1(110.7)	3.4(121.4)	2.3(82.1)	2.3(82.1)	2.8(100.0)

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)



<Fig. 4-6-1> $CeCl_3$ 의 침종처리가 상추의 초장에 미치는 영향



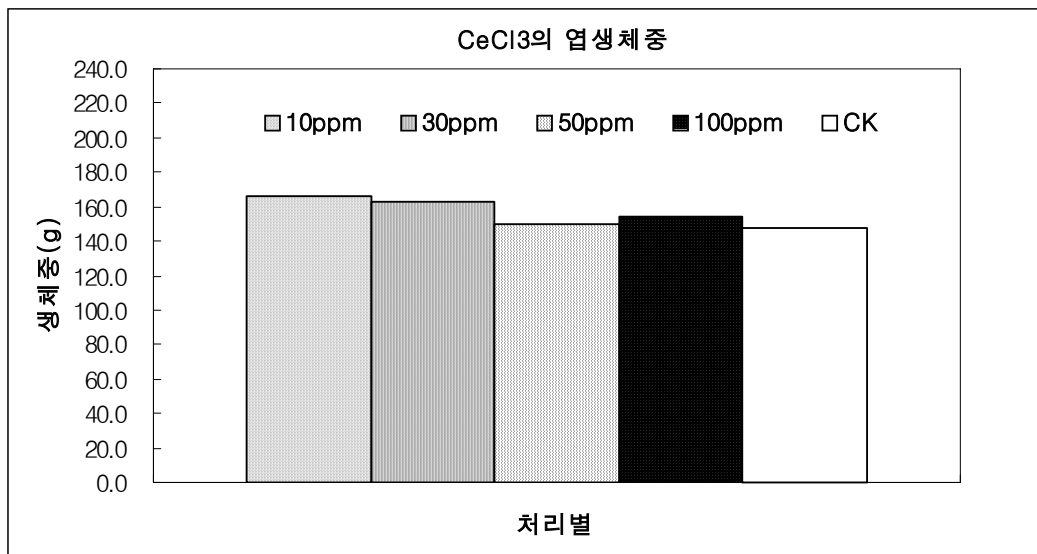
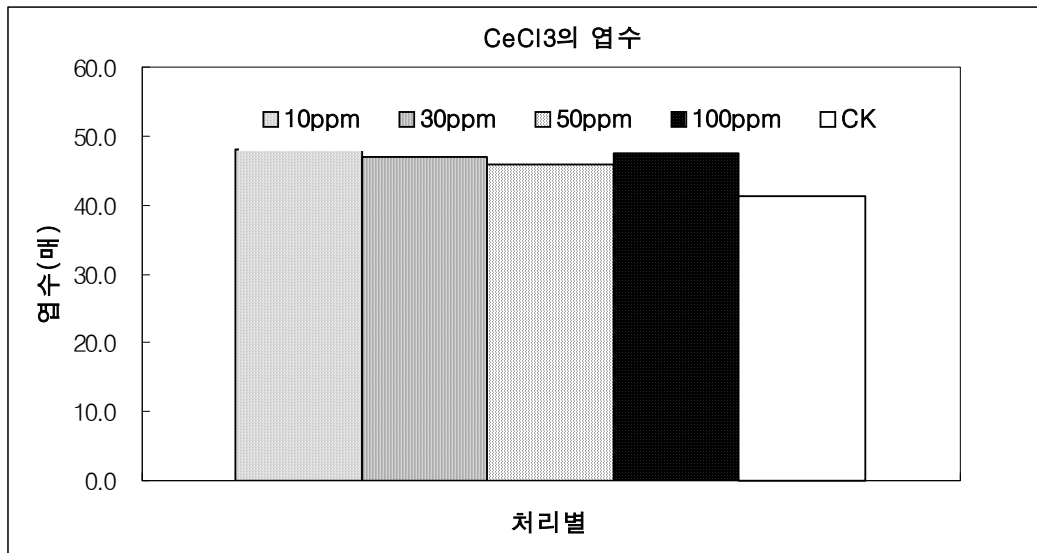
<Fig. 4-6-2> $CeCl_3$ 의 침종처리가 상추의 주중에 미치는 영향

생육과정 중 $CeCl_3$ 처리효과는 Table 4-5 및 Fig. 4-7에서와 같이 모든 농도의 처리구에서 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 비교적 농도가 낮은 10ppm 및 30ppm 처리구에서 무처리구에 비해 엽수, 엽생체중, 건물중 등의 2회 평균값이 각각 16.7%, 14.2% 및 12.7%, 10.8%와 6.8%, 8.7%씩 증가한 결과를 알 수 있었다.

Table 4-5. $CeCl_3$ 의 엽면시비가 상추의 수확량에 미치는 영향

측정 항목 \ 처리	10ppm			30ppm			50ppm			100ppm			CK(대비구)		
	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균
엽수(매)	42.3	54.0	48.2 (116.7)	40.2	54.0	47.1 (114.2)	38.7	53.2	46.0 (111.4)	40.0	55.0	47.5 (115.2)	28.4	54.1	41.3 (100.0)
엽생체중(g)	162.6	169.9	166.3 (112.7)	148.4	178.3	163.4 (110.8)	137.1	161.6	149.4 (101.3)	134.7	172.9	153.8 (104.3)	116.9	178.1	147.5 (100.0)
엽건물중(g)	9.6	12.3	11.0 (106.8)	8.6	13.7	11.2 (108.7)	8.0	11.5	9.8 (94.7)	8.3	12.7	10.5 (101.9)	7.3	13.3	10.3 (100.0)
단엽중(g)	3.8	3.2	3.5	3.7	3.3	3.5	3.6	3.0	3.3	3.4	3.1	3.3	4.1	3.3	3.7

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)



<Fig. 4-7> $CeCl_3$ 의 엽면시비가 상추의 생장에 미치는 영향

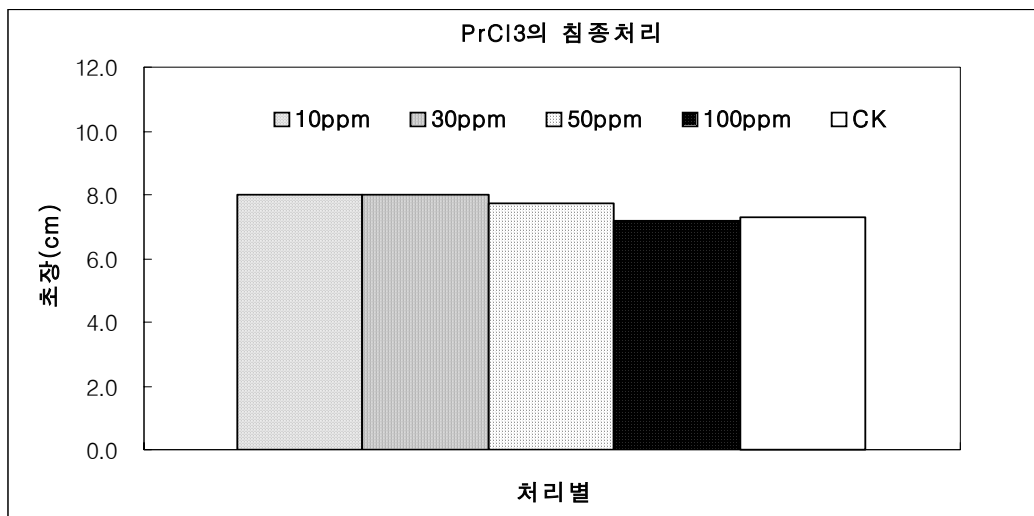
다) PrCl_3 의 처리효과

PrCl_3 침종 처리 시 처리효과는 Table 4-6 및 Fig. 4-8에서 보는 바와 같이 초장의 경우 10ppm 및 30ppm 처리구가 무처리구에 비해 각각 9.6%, 주중의 경우는 각각 35.7%, 17.9%로 큰 값을 나타냈으나, 고농도인 50ppm, 100ppm 처리구에서는 초장은 약간 증가 하거나 비슷했으며, 주당중량은 각각 17.7%, 14.3% 정도 적은 것으로 나타났다.

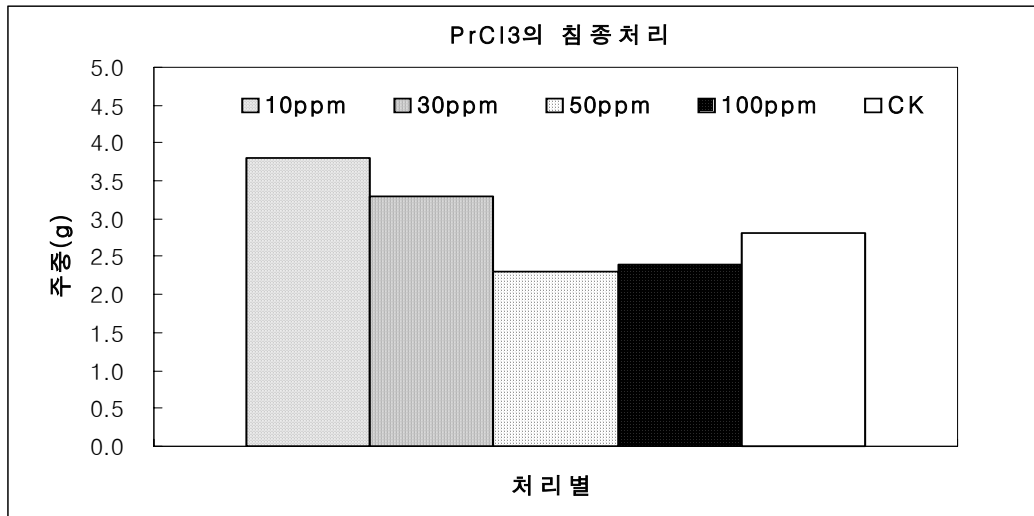
Table 4-6. PrCl_3 의 침종처리가 상추의 생장에 미치는 영향

측정항목 \ 처 리	10ppm	30ppm	50ppm	100ppm	CK(대비구)
초장(cm)	8.0(109.6)	8.0(109.6)	7.7(105.5)	7.2(98.6)	7.3(100.0)
주중(g)	3.8(135.7)	3.3(117.9)	2.3(82.1)	2.4(85.7)	2.8(100.0)

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)



<Fig. 4-8-1> PrCl_3 의 침종처리가 상추의 초장에 미치는 영향



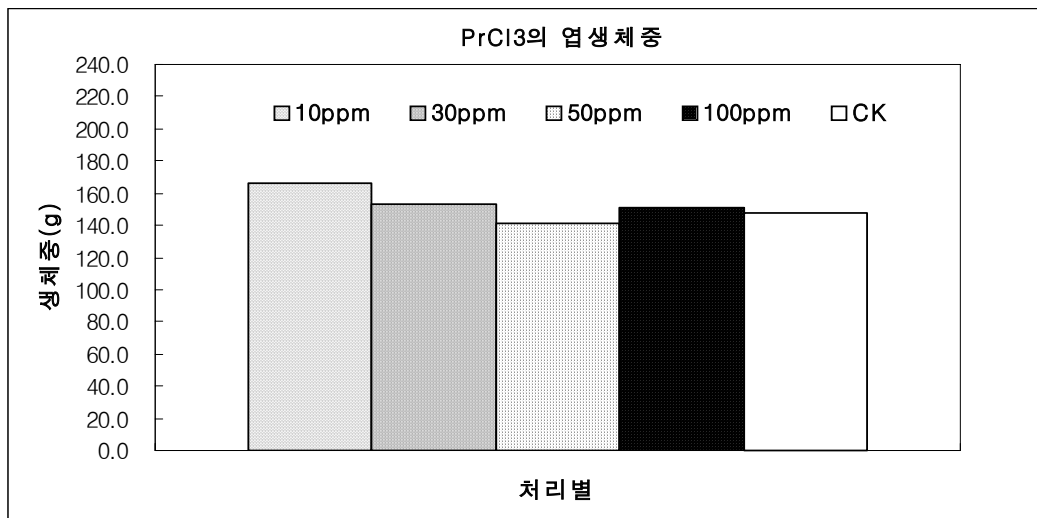
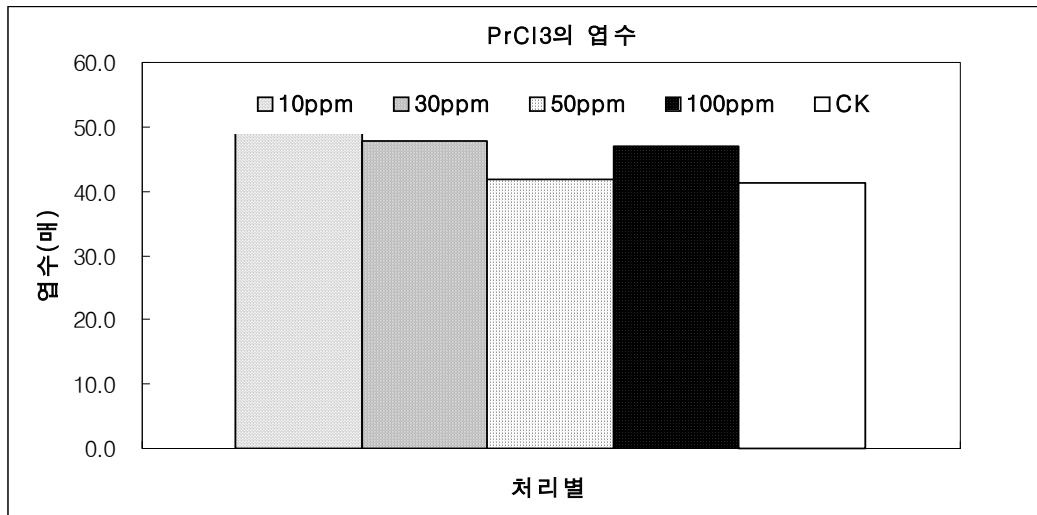
<Fig. 4-8-2> Pr Cl₃의 침종처리가 상추의 주중에 미치는 영향

생육 과정 중 2차에 걸쳐 처리한 Pr Cl₃의 희토의 엽면처리 효과는 Table 4-7 및 Fig. 4-9에서 보는 바와 같이 대체적으로 낮은 농도 처리구(10ppm, 30ppm)에서 무처리구에 비해 엽수, 엽생체중의 2회 평균값이 각각 19.5%, 15.9% 및 12.9, 4.1% 씩 증가하여 수확량에 관계되는 요인에 좋은 효과가 나타났으나, 농도가 높은 처리구(50ppm, 100ppm)에서는 거의 차이가 없거나 감소하는 경향을 보였다.

Table 4-7. Pr Cl₃의 엽면시비가 상추 수확에 미치는 영향

측정항목 \ 처 리	10ppm			30ppm			50ppm			100ppm			CK		
	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균
엽수(매)	43.8	54.8	49.3 (119.5)	42.8	52.8	47.8 (115.9)	36.2	47.5	41.9 (101.5)	40.5	53.5	47.0 (113.9)	28.4	54.1	41.3 (100.0)
엽생체중(g)	157.4	175.7	166.6 (112.9)	137.3	169.9	153.6 (104.1)	121.0	161.6	141.3 (95.8)	137.0	165.4	151.2 (102.5)	116.9	178.1	147.5 (100.0)
엽건물중(g)	9.4	12.4	10.9 (105.8)	8.8	12.0	10.4 (101.0)	7.3	9.5	8.4 (81.6)	8.0	12.2	10.1 (98.1)	7.3	13.3	10.3 (100.0)
단엽중(g)	3.6	3.2	3.4	3.2	3.2	3.2	3.4	2.9	3.2	3.2	3.1	3.2	4.1	3.3	3.7

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)



<Fig. 4-9> Pr Cl₃의 엽면시비가 상추 수량에 미치는 영향

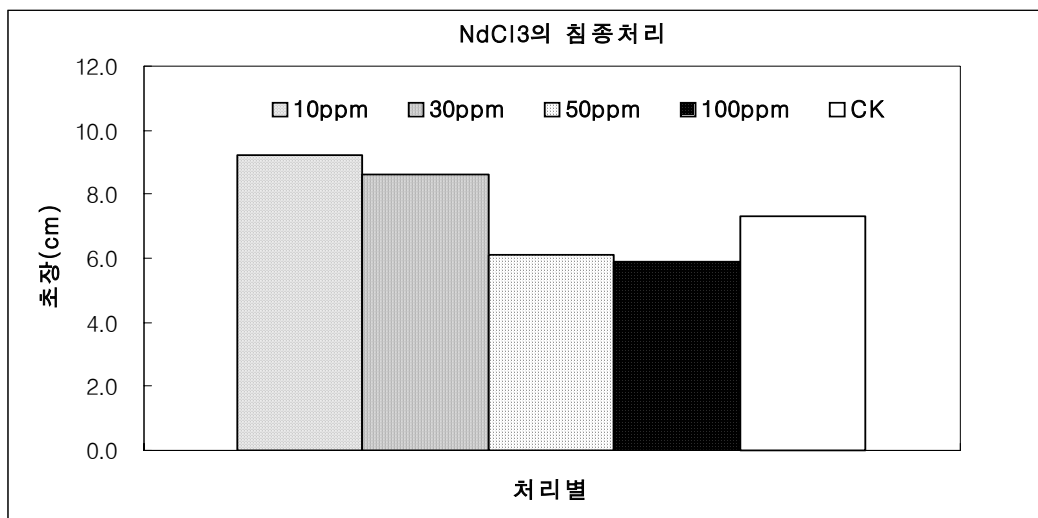
라) $NdCl_3$ 의 처리효과

$NdCl_3$ 침종처리시 나타난 효과를 살펴보면 Table 4-8과 Fig. 4-10에서 보는 바와 같이 초장 및 주당중량(주중)은 10ppm 및 30ppm 처리구가 무처리구에 비해 각각 26.0%, 17.8%와 46.4%, 39.3%로서 비교적 높게 나타났으나, 고농도인 50ppm, 100ppm 처리시에는 각각 16.4%, 19.2% 및 32.1%, 21.4% 정도 상당히 적게 나타나 감소경향을 보였다. 이는 상대적 다량단일희토 원소인 Nd가 La, Ce, Pr에 비해 비교적 소량원소에 속하는 원소로서 일정 수준의 농도를 넘어서 유효기 단계에 사용하였기 때문에 급격한 생리활성 저해현상이 발생한 것으로 판단된다. 이는 기존의 이론을 뒷받침하는 결과라고 해석할 수 있다.

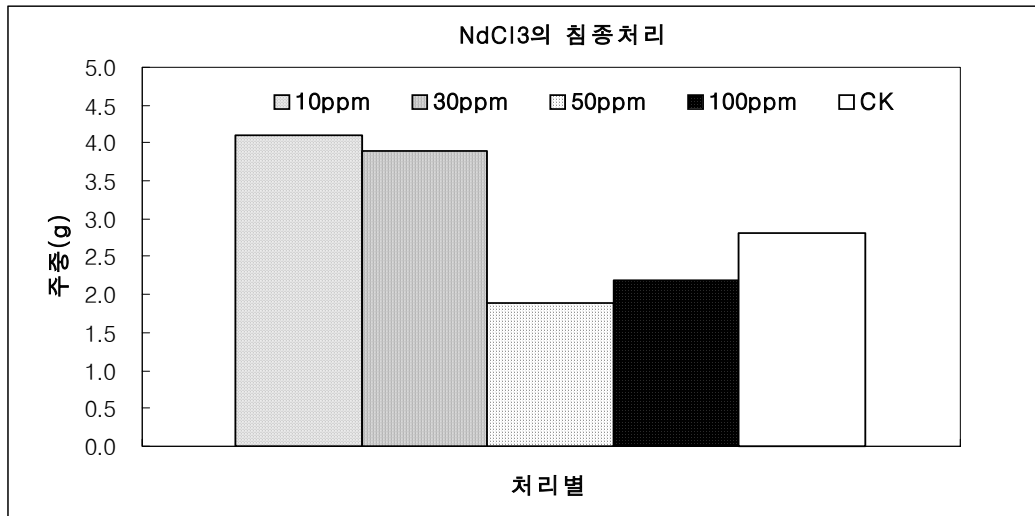
Table 4-8. $NdCl_3$ 의 침종처리가 상추의 생장에 미치는 영향

측정항목 \ 처 리	10ppm	30ppm	50ppm	100ppm	CK(대비구)
초장(cm)	9.2(126.0)	8.6(117.8)	6.1(83.6)	5.9(80.8)	7.3(100.0)
주 중(g)	4.1(146.4)	3.9(139.3)	1.9(67.9)	2.2(78.6)	2.8(100.0)

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)



<Fig. 4-10-1> $NdCl_3$ 침종처리에 따른 초장에 미치는 영향



<Fig. 4-10-2> $NdCl_3$ 침종처리에 따른 주중에 미치는 영향

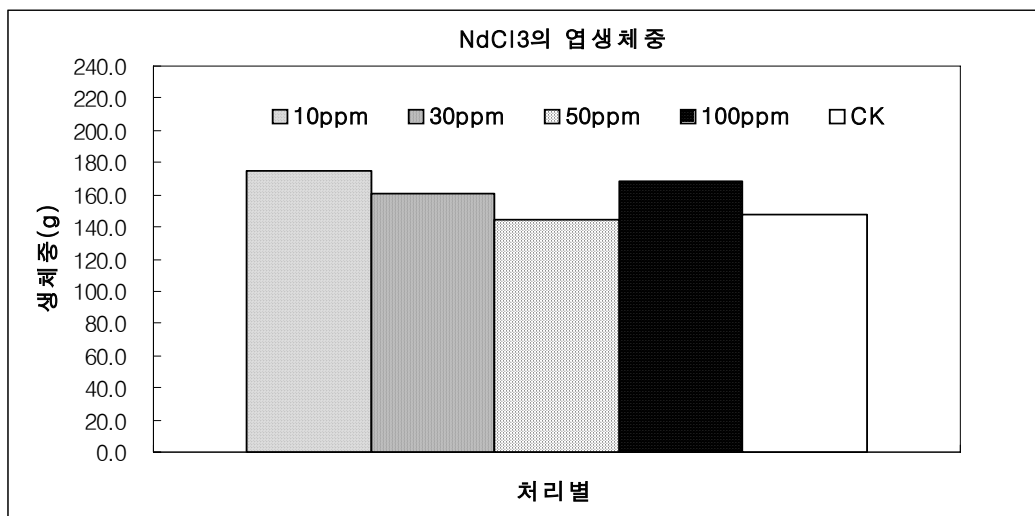
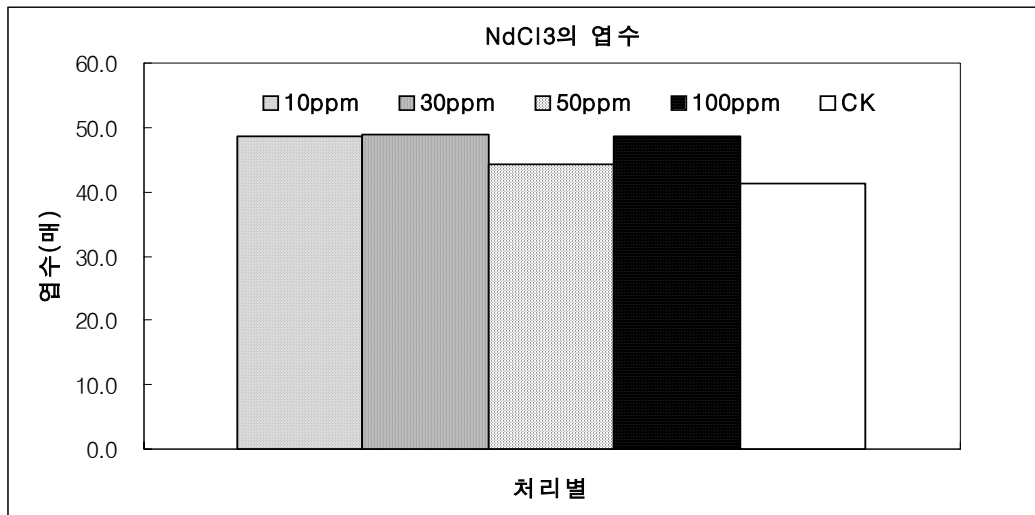
유묘기이후 생육과정 중 2차에 걸쳐 $NdCl_3$ 의 엽면처리 효과는 대체적으로 낮은 농도 처리구(10ppm, 30ppm)에서 엽수 및 생체중이 15.8%, 18.2% 및 16.6%, 9.3%로서 수량의 증가가 크게 나타났고, 농도가 높은 처리구(50ppm, 10ppm)에서는 거의 차이가 없거나 감소의 경향을 보였으나, 유묘기의 경우처럼 고농도 처리구에서 급격한 수량의 감소는 발견되지 않았다. 따라서 Nd를 작물에 처리할 경우 유묘기 때에는 사용상 주의해야 할 것으로 판단되었다.

Table 4-9. $NdCl_3$ 의 엽면시비가 상추 수량에 미치는 영향

(단위 : 주당)

측정 항목 \ 처 리	10ppm			30ppm			50ppm			100ppm			CK(대비구)		
	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균
엽수(매)	41.8	55.2	48.5 (115.8)	42.0	55.5	48.8 (118.2)	41.0	47.5	44.3 (107.3)	46.0	51.3	48.7 (117.9)	28.4	54.1	41.3 (100.0)
엽생체중(g)	168.3	181.1	174.7 (116.6)	151.0	171.3	161.2 (109.3)	146.2	142.4	144.3 (97.8)	176.8	159.1	168.0 (113.9)	116.9	178.1	147.5 (100.0)
엽건물중(g)	10.0	12.9	11.5 (109.2)	8.9	12.2	10.6 (102.4)	9.1	10.2	9.7 (93.7)	10.3	11.4	10.9 (105.3)	7.3	13.3	10.3 (100.0)
단엽중(g)	4.0	3.3	3.7	3.6	3.1	3.4	3.6	3.0	3.3	3.8	3.1	3.5	4.1	3.3	3.7

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)



<Fig. 4-11-2> $NdCl_3$ 의 엽면시비가 상추의 엽수와 생체중에 미치는 영향

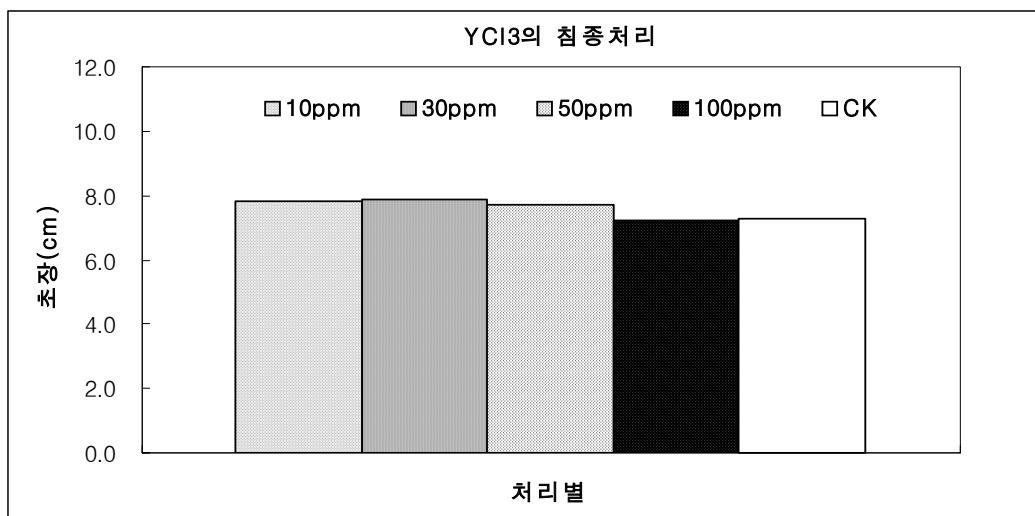
마) YCl_3 의 처리효과

YCl_3 용액을 10ppm, 30ppm, 50ppm의 농도로 침종처리 하였을 경우 Table 4-10 및 Fig. 4-12에 나타난 바와 같이 초장 및 주중에 있어서 무처리구에 비해 각각 6.8%, 8.2%, 5.5%와 25.0%, 35.7%, 25%의 증가를 보였으나 고농도인 100ppm 처리시는 거의 차이가 없는 것으로 관찰되었다.

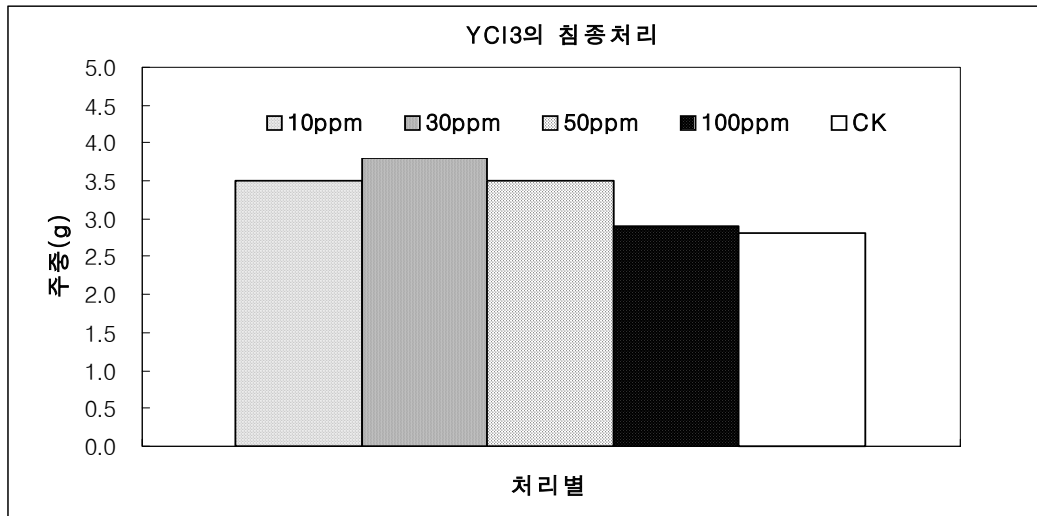
Table 4-10. YCl_3 의 침종처리가 상추의 생장에 미치는 영향

측정 항목 \ 처 리	10ppm	30ppm	50ppm	100ppm	CK(대비구)
초장(cm)	7.8(106.8)	7.9(108.2)	7.7(105.5)	7.2(98.6)	7.3(100.0)
주중(g)	3.5(125.0)	3.8(135.7)	3.5(125.0)	2.9(103.6)	2.8(100.0)

*()는 대비구에 대한 각 처리구의 비(%)



<Fig. 4-12-1> YCl_3 의 침종처리가 상추의 초장에 미치는 영향



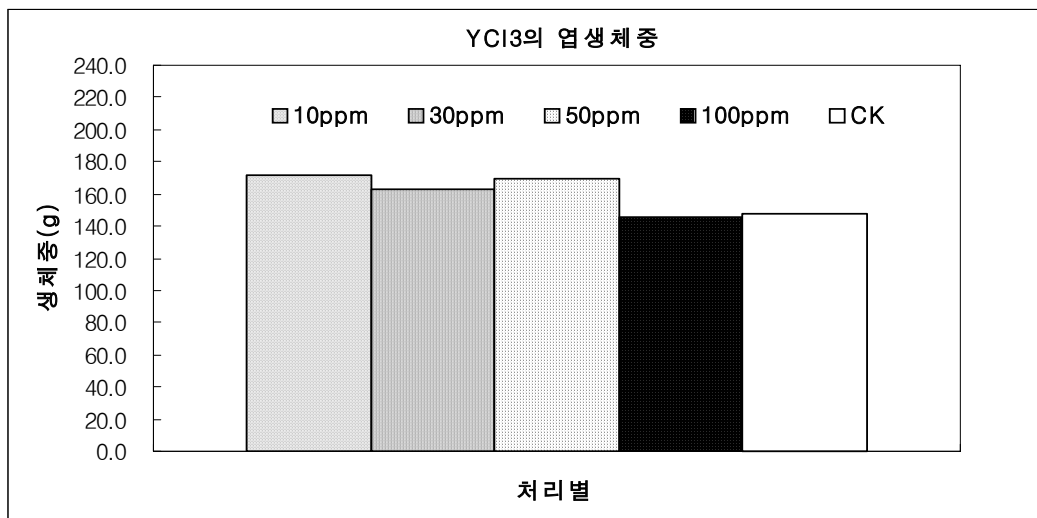
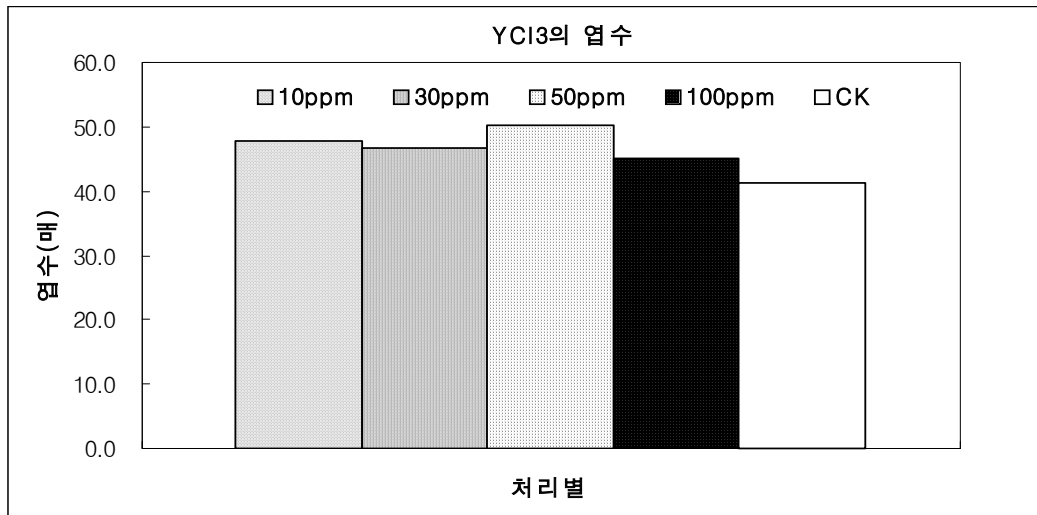
<Fig. 4-12-2> YCl_3 의 침종처리가 상추의 주중에 미치는 영향

한편, 생육과정 중 YCl_3 의 2차에 걸쳐 실시한 엽면처리 효과는 Table 4-11 및 Fig. 4-13에 나타난 바와 같이 대체적으로 10ppm, 30ppm, 50ppm 처리구에서 각각 엽수는 15.7%, 13.3%, 22.0% 사이의 수확량 증가효과가 나타났고, 생체중은 16.6%, 10.4%, 14.6% 정도 많은 것으로 조사되었다. 그러나 농도가 높은 100ppm 처리구에서는 생체중에서 약간의 감소의 경향을 보였다.

Table 4-11. YCl_3 의 엽면시비가 상추 수량에 미치는 영향

측정항목 \ 처 리	10ppm			30ppm			50ppm			100ppm			CK(대비구)		
	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균	1차	2차	평균
엽수(매)	42.2	53.3	47.8 (115.7)	40.8	52.8	46.8 (113.3)	40.7	60.0	50.4 (122.0)	35.7	54.3	45.0 (109.0)	28.4	54.1	41.3 (100.0)
엽생체중(g)	163.4	180.5	172.0 (116.6)	148.2	177.4	162.8 (110.4)	143.1	194.8	169.0 (114.6)	127.4	164.3	145.9 (98.9)	116.9	178.1	147.5 (100.0)
엽건물중(g)	9.5	13.0	11.3 (109.7)	8.8	12.3	10.6 (102.9)	8.5	14.3	11.4 (110.7)	7.7	11.2	9.5 (92.2)	7.3	13.3	10.3 (100.0)
단엽중(g)	3.9	3.4	3.7	3.6	3.4	3.5	3.5	3.3	3.4	3.2	3.0	3.1	4.1	3.3	3.7

*() 는 대비구에 대한 각 처리구의 비(%)



<Fig. 4-13-2> YCl_3 의 엽면시비가 상추의 엽수와 생체중에 미치는 영향

2) 사료용 옥수수

상대적 다량희토원소 처리가 옥수수의 초기생장에 미치는 영향을 조사하기 위해 전북대학교 농과대학 실험포장에 설치한 실험포에서 실시한 침종 및 생장 실험결과를 살펴보면 **Table 4-12** 에서 보는 바와 같다.

표에서 보는 바와 같이 희토 무처리구에 비해 $LaCl_3$ 침종처리의 경우는 50ppm, 100ppm 처리구에서 $CeCl_3$, YCl_3 , $NdCl_3$, $PrCl_3$ 에 있어서는 모두 10ppm, 30ppm 처리구에서 초장 및 엽수가 현저히 증가하는 현상이 나타나고 있는 것으로 조사되었다.

여기서, 침종처리 효과의 측정은 포트육묘에 대하여 정식직전에 측정하였으며 초기생장의 측정은 포트육묘 및 침종 후 직파파종 묘를 대상으로 구분하여 측정한 평균 값이다.

Table 4-12. 단일희토의 침종처리 및 엽면시비가 옥수수의 초기생장에 미치는 영향

구분		침종효과		초기생장	
희토원소	처리구(ppm)	초장(cm)	엽수(매)	초장(cm)	엽수(매)
La	10	12.5	3.3	59.1	6.9
	30	12.8	3.2	60.3	7.3
	50	13.0	3.2	59.5	7.7
	100	13.1	3.5	69.5	7.9
Ce	10	13.9	3.5	53.8	6.8
	30	12.9	3.0	75.9	8.2
	50	12.1	3.0	66.3	7.9
	100	12.8	3.2	71.0	7.5
Pr	10	13.4	3.5	69.7	7.4
	30	12.9	3.5	78.7	8.2
	50	12.9	3.4	80.4	8.4
	100	12.5	3.4	67.7	7.4
Nd	10	13.7	3.6	91.0	8.6
	30	13.4	3.4	82.0	8.5
	50	13.2	3.4	80.4	8.2
	100	12.3	3.1	65.7	7.6
Y	10	13.7	3.3	79.1	8.4
	30	13.5	3.3	75.5	8.3
	50	13.1	3.3	67.2	7.8
	100	12.7	3.3	61.3	7.4
CK(대비구)		12.5	3.3	61.7	7.4

한편, 옥수수에 대한 단일희토원소의 수량성 향상효과를 구명하고, 적정 처리체계 정립을 위해 적용시험을 실시한 결과는 **Table 4-13** 및 **Fig. 4-14**에서 보는 바와 같다.

먼저 이삭의 평균 길이 및 본당 평균 열매수에 있어서는 모든 처리구에서 대비구에 비해 양호한 결과를 보였다. 또한 열매당 평균 이삭무게의 경우는 Nd-100 및 Pr-10, Pr-30의 처리구의 경우를 제외하고는 대부분 많이 분석되었다. 한편 단일희토 처리에 따른 본당 생체중의 경우는 Nd-100의 농도를 제외하고는 모든 처리구에 있어서 많았는데 이를 원소별로 살펴보면, Ce 및 Nd, Y 원소의 처리시 10ppm 처리구가 각각 52%, 66%, 65%의 증수율을 보여 가장 양호한 결과를 보였으며 이후 농도부터는 증산율의 정도가 적어지는 경향이 있음을 알 수 있었다. 한편 La 및 Pr 원소의 경우는 30ppm과 50ppm 농도에서 각각 27%, 44% 및 27%, 19%의 증수율을 보여 가장 양호한 결과를 얻을 수 있었는데 이러한 농도 전후에서는 그 정도가 약간 적었다.

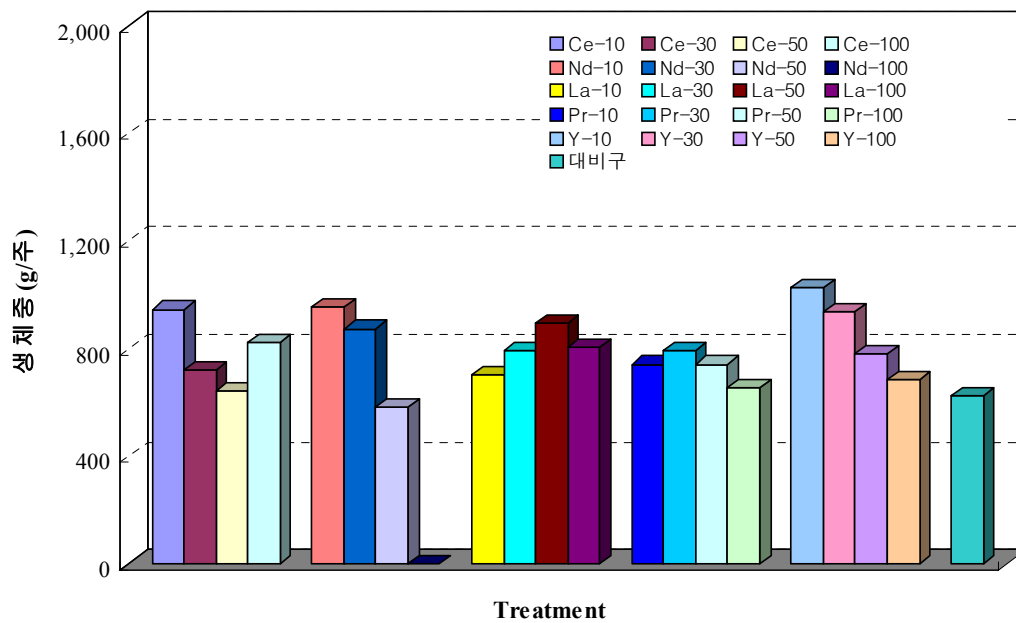
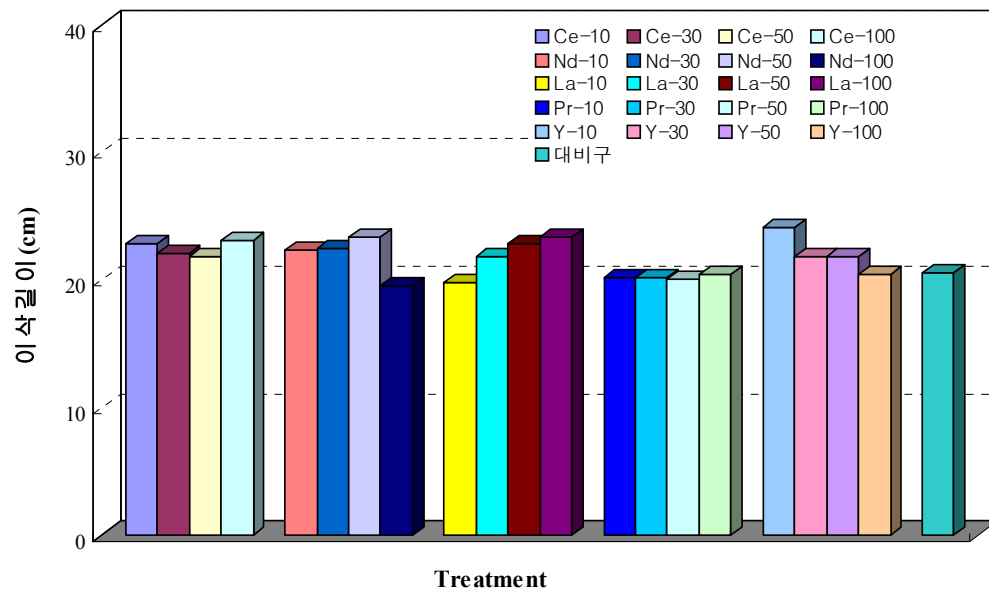
Table 4-13. 단일희토 처리가 옥수수 생육 및 수량에 미치는 영향

측정 항목 \ 처 리	대비구	Cerium				Neodymium			
		Ce-10	Ce-30	Ce-50	Ce-100	Nd-10	Nd-30	Nd-50	Nd-100
이삭길이(cm)	20.6	22.8	22.1	21.8	23.1	22.3	22.5	23.3	19.6
열매수(개/본)	0.7	1.0	1.3	0.8	0.9	1.1	1.0	0.9	0.8
이삭무게(g/개)	187	209	381	194	275	284	279	261	184
생체 중(g/주)	623	946	719	644	825	1034	954	874	584
* 수량지수	(100)	(152)	(115)	(103)	(132)	(166)	(153)	(140)	(94)

측정 항목 \ 처 리	대비구	Lanthanum				Praseodymium			
		La-10	La-30	La-50	La-100	Pr-10	Pe-30	Pr-50	Pr-100
이삭길이(cm)	20.6	19.8	21.9	22.9	23.4	20.2	20.2	20.1	20.4
열매수(개/본)	0.7	1.0	1.0	0.9	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0
이삭무게(g/개)	187	241	256	256	277	179	143	229	255
생체 중(g/주)	623	704	793	897	806	742	793	742	653
* 수량지수	(100)	(113)	(127)	(144)	(129)	(119)	(127)	(119)	(105)

측정 항목 \ 처 리	대비구	Yttrium			
		Y-10	Y-30	Y-50	Y-100
이삭길이(cm)	20.6	24.1	21.9	21.9	20.4
열매수(개/본)	0.7	1.1	1.0	0.9	1.0
이삭무게(g/개)	187	253	255	231	235
생체 중(g/주)	623	1028	935	780	685
* 수량지수	(100)	(165)	(150)	(125)	(110)

* 수량지수 : 대비구 수량 100에 대한 각 처리구의 수량 대비 증감율



<Fig. 4-14> 단일회토($RE Cl_3$) 처리가 옥수수 생육 및 수량에 미치는 영향

나. 복합희토의 적정처리 농도 구명

16개의 단일희토원소의 적정농도 구명을 기초로 하여 원료투입함량을 결정하여 조제한 복합희토를 활용하여 몇 가지 지표작물을 대상으로 적정 처리농도와 시용횟수를 구명하기 위하여 2년에 걸쳐 시험을 수행한 바 그 결과는 다음과 같다.

1) 상 추

상추작물에 대한 단일희토원소의 적정농도 및 처리체계 구명시험결과를 토대로 복합희토 처리가 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석하기 위해 실시한 본 항목의 시험 결과는 **Table 4-14** 및 **Fig. 4-15**와 같다. 표와 그림을 통해 알 수 있듯이 종자 침종 후 100~300ppm의 농도로 엽면 시용을 2~3회에 걸쳐 실시한 처리구(Treat I 과 Treat II)에서 18.2%~25.8% 범위에서 비교적 높은 증산율을 보였다. 그러나 처리횟수가 많고 농도가 높아질수록 수량은 뚜렷하게 감소하는 경향을 보였는데 특히 침종 후 3차 엽면시비 경우로서 1,000ppm 및 1,500ppm의 농도로 사용한 TreatIII-3 및 TreatIII-4의 경우에는 대비구에 비해 수량감소율이 각각 45.8%와 60.0%에 달한 것으로 분석되었다.

Table 4-14. RE_2O_3 의 처리가 상추의 생장 및 수량에 미치는 영향

측정항목 \ 처 리	Treat I -1	Treat I -2	Treat II -1	Treat II -2	Treat II -3	Treat II -4
엽 수(매/주)	27.5	22.5	24.5	26.5	24.5	26.5
지상부중량(g)	250.5 (24.2)	241.1 (19.5)	253.7 (25.8)	238.5 (18.2)	200.9 (△0.4)	190.5 (△0.4)

측정항목 \ 처 리	TreatIII-1	TreatIII-2	TreatIII-3	TreatIII-4	CK
엽 수(매/주)	24.0	22.5	20.5	20.5	24.5
지상부중량(g)	197.5 (△2.1)	194.8 (△3.4)	109.3 (△45.8)	80.9 (△60.0)	201.7

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)

Treat I - 1 : 침종+100ppm

Treat I - 2 : 침종+200ppm

Treat II - 1 : 침종+100+200ppm

Treat II - 2 : 침종+100+300ppm

Treat II - 3 : 침종+100+500ppm

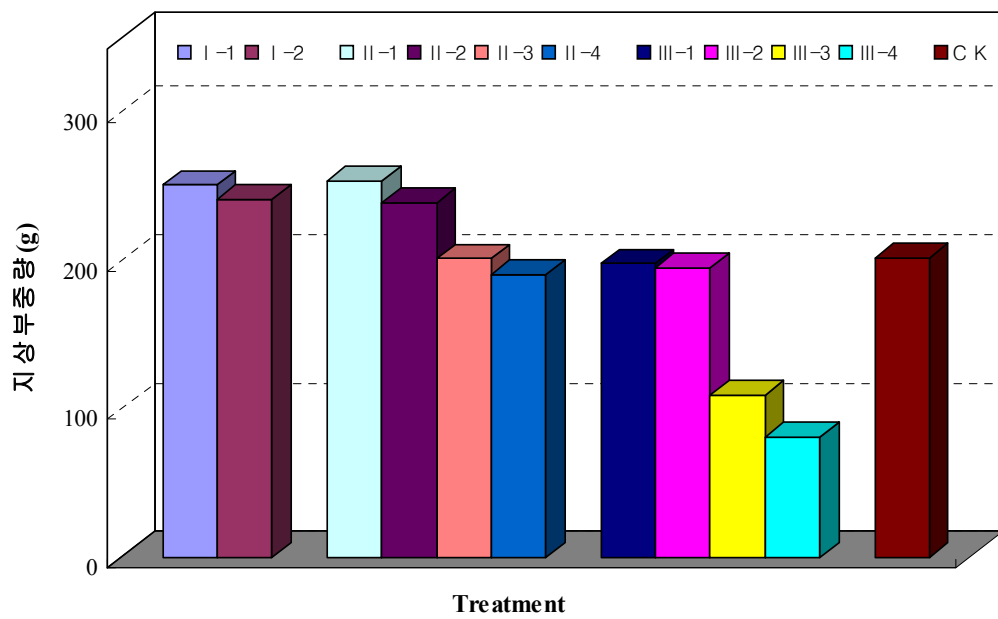
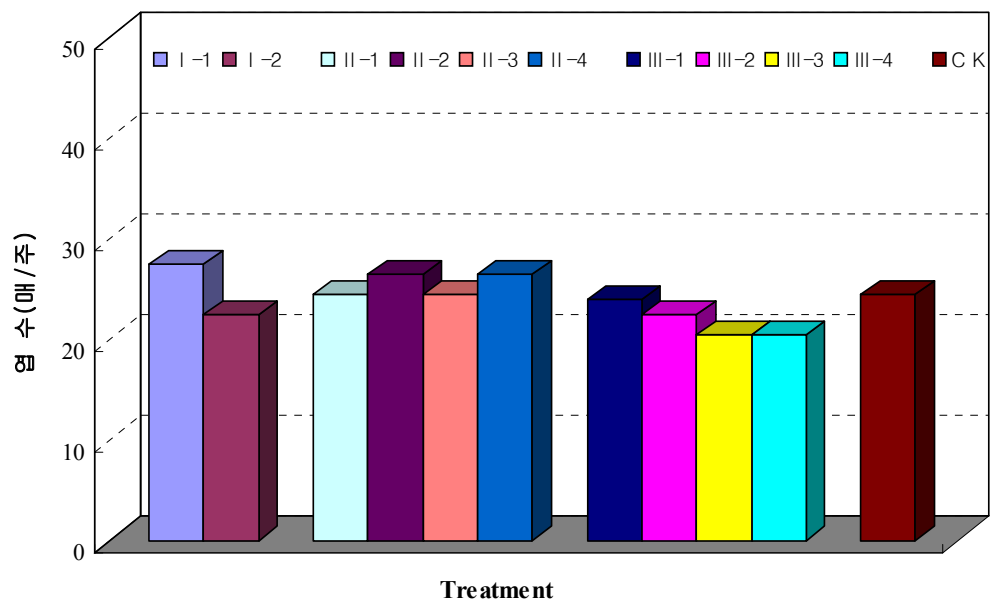
Treat II - 4 : 침종+100+1000ppm

TreatIII-1 : 침종+100+200+300ppm

TreatIII-2 : 침종+100+300+500ppm

TreatIII-3 : 침종+100+500+1000ppm

TreatIII-4 : 침종+100+1000+15000ppm



<Fig. 4-15> $RE_2 O_3$ 의 처리가 상추의 생장 및 수량에 미치는 영향

2) 사료용 옥수수

사료용 옥수수에 대한 단일회토원소의 적정농도 및 처리체계 구명시험결과를 토대로 복합회토 처리시 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석한 결과는 Table 15와 같다.

아래의 표에서 보는 바와 같이 고농도의 복합회토를 사용한 Treat II-5의 처리구를 제외 하고는 전체적으로 모든 처리구에서 열매무게가 증가함을 알 수 있었다.

한편, 축산농가에서 담금 먹이 조사료로 급여하는 사료용 옥수수의 지상부에 해당되는 생체중의 경우에는 과중과는 다소 상이하게 분석되었다. 먼저 종자를 1,000ppm의 복합회토액에 침종하여 포트에 육묘하여 이식한 후 약 200ppm의 복합회토를 밑거름 등과 같이 사용하고 생육증가에 1회만 엽면 시용한 Treat I-1~4 처리구에 있어서 예외적으로 생체중이 증가한 Treat I-1과 약간의 증가 결과를 보인 Treat I-3의 경우를 제외하고는 전체적인 감소 경향을 보였는데 농도가 높아질수록 그 감소 폭이 커짐을 알 수 있었다.

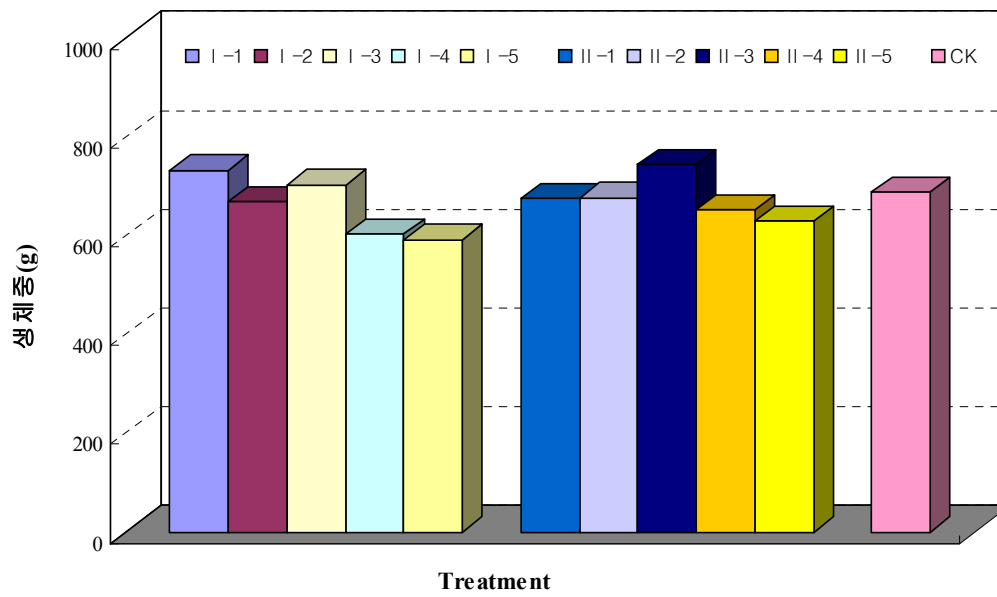
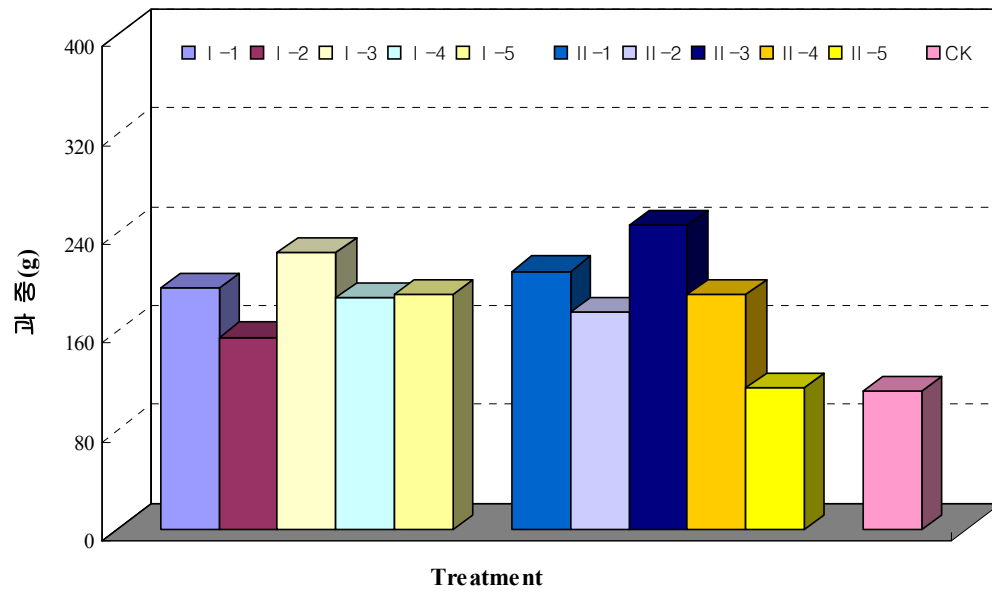
또한, Treat I의 처리방법과 동일하게 복합회토를 사용하고 생육증기 즉, 출수기 직전에 복합회토용액을 1회 더 엽면 시용한 Treat II의 처리방법의 경우에 있어서는 처리농도가 낮은 Treat II-1 및 Treat II-2에서는 약 3% 정도의 감소율을 보이다가 500ppm을 처리한 Treat II-3에서는 14.1%의 증가율을 보여 제일 양호한 결과를 보였다. 이후 처리농도가 높아질수록 감소 폭이 더욱 커지는 경향이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 사료용 옥수수에 대한 복합회토의 처리는 생육증기까지 500ppm 정도의 적정농도로 사용하는 것이 수량성의 제고를 위해서는 좋을 것으로 사료된다.

Table 4-15. RE_2O_3 의 처리가 사료용 옥수수의 수량에 미치는 영향

측정항목 \ 처 리	Treat I-1	Treat I-2	Treat I-3	Treat I-4	Treat I-5	
과 중(g)	195.7	155.7	224.3	188.0	190.3	
생체 중(g)	732.0 (11.1)	668.7 (△5.2)	703.0 (3.6)	602.0 (△22.4)	591.3 (△25.1)	
측정항목 \ 처 리	Treat II-1	Treat II-2	Treat II-3	Treat II-4	Treat II-5	CK
과 중(g)	209.0	176.0	246.0	190.0	114.7	111.7
생체 중(g)	676.0 (△3.3)	676.7 (△3.2)	743.7 (14.1)	651.0 (△9.8)	628.3 (△15.6)	689.0 (-)

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증감율(%)

Treat I-1	토양시용+200ppm	Treat I-2	토양시용+300ppm	Treat I-3	토양시용+500ppm
Treat I-4	토양시용+700ppm	Treat I-5	토양시용+1000ppm		
Treat II-1	200+200ppm	Treat II-2	200+300ppm	Treat II-3	200+500ppm
Treat II-4	200+700ppm	Treat II-5	200+1000ppm		



<Fig. 4-16> RE_2O_3 의 처리가 사료용 옥수수의 수량에 미치는 영향

3). 이탈리아라이그라스(IR)

이탈리아라이그라스에 대한 상추작물에 대한 단일희토원소의 적정농도 및 처리체계 구명시험결과를 토대로 복합희토 처리 시 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석한 결과는 **Table 4-16**과 같다. 아래 표에서 보는 바와 같이 토양처리와 1회의 엽면시용을 실시한 Treat I -1 ~ I -5의 경우 전체적으로 초장에 있어서는 약간 큰 경향이 있었으나 생체중에 있어서 대부분 복합희토를 처리하지 않은 대비구에 비해 0.05~10.0%까지, 건물중의 경우에는 5.5%~13.5%의 범위에서 감소하는 경향을 보였다. 그러나 토양에 기비로서 복합희토를 시용 하지 않고 2회에 걸쳐 유묘기에 200ppm으로 동일하게 시용하고 생육중기에 각각 다른 농도로 처리한 Treat II 처리방법의 경우에는 Treat II -3의 처리농도까지는 그 처리농도가 높아질수록 생체중 및 건물중이 각각 4.1~11.0%, 1.6~9.3%의 범위에서 증산효과가 있는 것으로 분석되었다.

상추작물의 경우에는 낮은 처리농도의 경우 증산폭이 큰 반면 이탈리아라이그라스에 있어서는 처리횟수가 많고 농도 또한 높게 처리한 경우에서 수량이 높은 것은 이탈리아라이그라스는 화분과 작물로서 잎 면적이 협소하고 엽면에서의 흡수구조가 상추처럼 원활하지 못한 구조적 문제점을 가지고 있는 식물형태학적 특징에서 기인하는 것으로 추정된다.

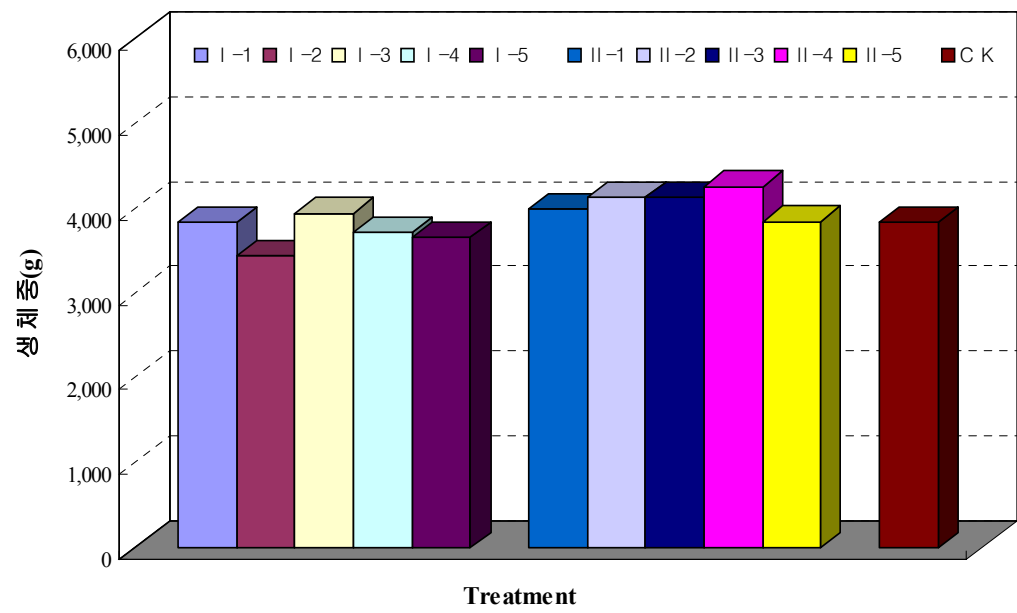
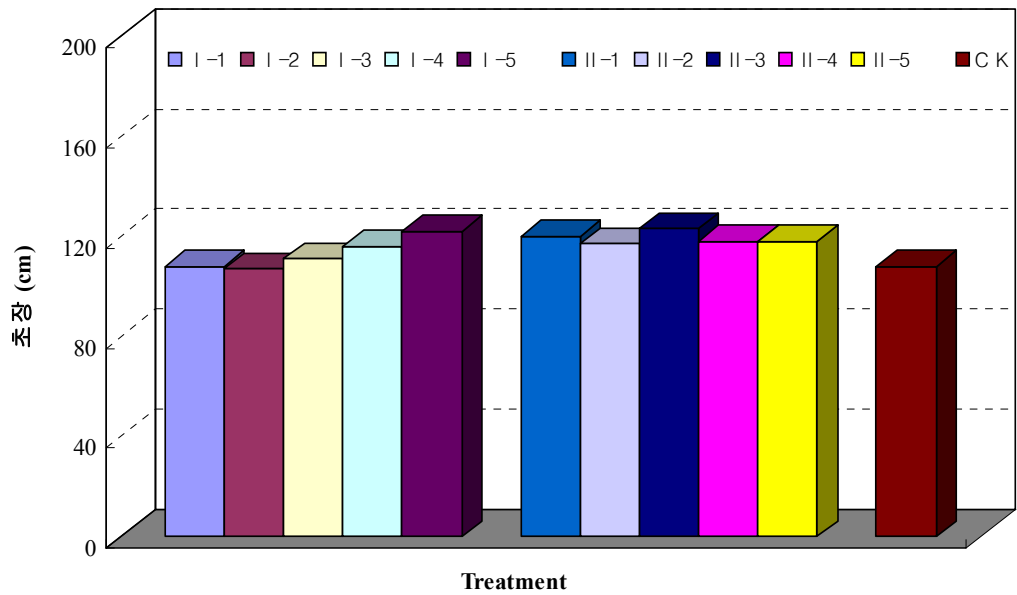
Table 4-16. RE_2O_3 의 처리가 IR의 생육 및 수량에 미치는 영향

측정항목 \ 처 리	Treat I -1	Treat I -2	Treat I -3	Treat I -4	Treat I -5
초장(cm)	108	107	111	116	122
생체중(g)	3,838(△0.05)	3,447(△10.0)	3,946(2.7)	3,712(△3.3)	3,652(△4.9)
건물중(g)	669(△5.5)	664(△6.2)	675(△4.7)	612(△13.5)	671(△5.2)

측정항목 \ 처 리	Treat II -1	Treat II -2	Treat II -3	Treat II -4	Treat II -5	CK
초장(cm)	120	117	123	118	118	108
생체중(g)	3,998(4.1)	4,135(7.7)	4,124(7.4)	4,261(11.0)	3,845(0.13)	3,840(-)
건물중(g)	720(1.6)	726(2.5)	757(6.9)	774(9.3)	720(1.7)	708()

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증산율(%)

Treat I -1	토양시용+200ppm	Treat I -2	토양시용+300ppm	Treat I -3	토양시용+500ppm
Treat I -4	토양시용+700ppm	Treat I -5	토양시용+1000ppm		
Treat II -1	200+200ppm	Treat II -2	200+300ppm	Treat II -3	200+500ppm
Treat II -4	200+700ppm	Treat II -5	200+1000ppm		



<Fig. 4-17> RE_2O_3 의 처리가 이탈리아라이그라스의 생육 및 수량에 미치는 영향

다. 희토처리가 식물체내 농약잔류량에 미치는 영향

상대적 단일희토원소와 복합희토의 적정농도 처리체계의 구명의 실증적 연구를 통하여 정립된 시용농도와 처리체계를 바탕으로 희토처리가 식물체내 농약 잔류량에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시한 시험결과는 아래와 같다.

1) 상 추

Table 4-17 및 Fig. 4-18에서 보는 바와 같이 상추에 대한 복합희토 처리시 Treat I -1~tII-2까지는 0%~3.2%의 강하를 보여 특별한 차이를 발견할 수 없었으나 Treat II-3과 tII-4의 경우 대비구에 비해 16.1%, Treat III-1~III-4까지는 19.4%~22.6%의 범위에서 높은 강하를 보였다. 따라서 본 시험을 토대로 볼 때 복합희토의 시용횟수 및 농도가 높을수록 농약잔류 강하에 대한 효과가 큰 것으로 나타났다. 그러나 Mancozeb 농약에 대한 잔류량 강하가 큰 Treat III-1 및 III-2, III-3, III-4의 경우 복합희토의 처리가 3회이고 처리농도도 300~1,500ppm으로 상당히 높은 수준이었으므로 추후 이에 대한 보완시험이 필요할 것으로 판단된다.

<Table4-17> RE_2O_3 의 처리에 따른 상추체내 Mancozeb 농약성분 잔류량 및 강하를 (단위: ppm)

측정성분 \ 처 리	CK	Treat I -1	Treat I -2
2-benzyl-1-pentafluorobenzyl-2-i midazoline	0.062 (-)	0.060 (3.2)	0.062 (0.0)

측정성분 \ 처 리	Treat II -1	Treat II -2	Treat II -3	Treat II -4
2-benzyl-1-pentafluorobenzyl-2-i midazoline	0.062 (0.0)	0.061 (1.6)	0.052 (16.1)	0.052 (16.1)

측정성분 \ 처 리	Treat III -1	Treat III -2	Treat III -3	Treat III -4
2-benzyl-1-pentafluorobenzyl-2-i midazoline	0.049 (21.0)	0.048 (22.6)	0.050 (19.4)	0.050 (19.4)

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 잔류 강하률(%)

Treat I - 1 : 침종+100ppm

Treat I - 2 : 침종+200ppm

Treat II - 1 : 침종+100+200ppm

Treat II - 2 : 침종+100+300ppm

Treat II -3 : 침종+100+500ppm

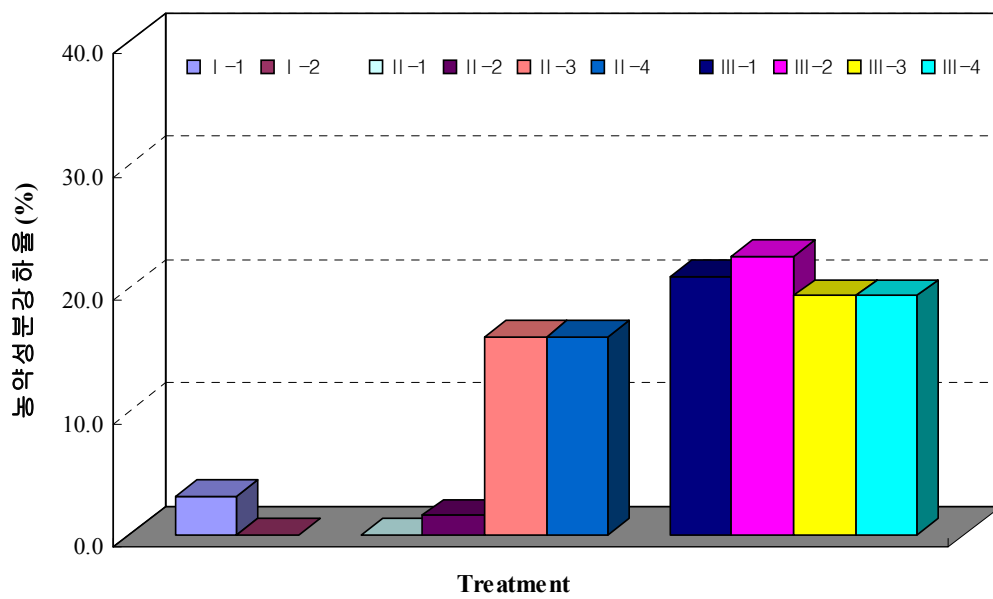
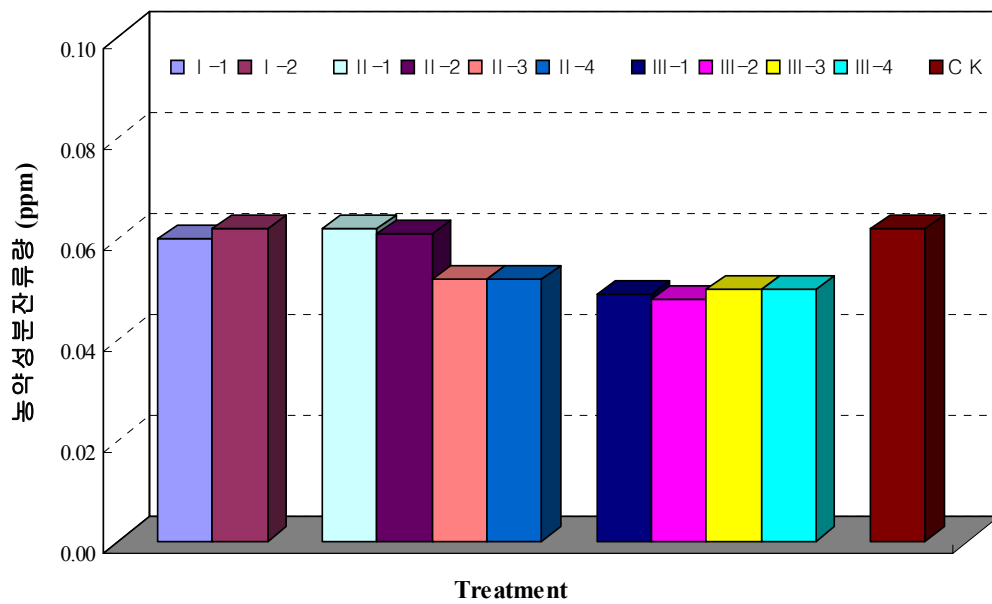
Treat II - 4 : 침종+100+1000ppm

Treat III -1 : 침종+100+200+300ppm

Treat III -2 : 침종+100+300+500ppm

Treat III -3 : 침종+100+500+1000ppm

Treat III -4 : 침종+100+1000+15000ppm



<Fig. 4-18> $RE_2 O_3$ 의 처리에 따른 상추체내 Mancozeb 농약성분 잔류량 및 강하율

2) 사료용 옥수수

Table4-18에서 보는 바와 같이 옥수수에 대한 회토 처리시 Treat I-1~IV-4 까지 모든 처리구에서 Mancozeb 잔류량은 검출한계 미만으로 나타나 농약잔류량의 감소에 미치는 영향을 평가하기 어려웠다. 이는 상추작물에 비해 옥수수의 생육기간이 길고 식물체의 부피가 상대적으로 크므로 생육 기간 중 엽경(葉莖) 내외부분에 부착 및 흡수·이행된 농약성분이 광(光)분해와 식물체내에서의 산화(酸化), 환원(還元) 등의 분해와 화합(化合) 등에 의해 무독화(無毒化)가 이루어졌기 때문인 것으로 추정된다.

<Table4-18> RE Cl_3 의 처리에 따른 옥수수체내 Mancozeb 성분 잔류량 및 강하률
(단위: ppm)

측정성분 \ 처 리	I-1~I-4	II-1~II-4	III-1~III-4	IV-1~IV-4	V-1~V-4	대비구
2-benzyl-1-pentafluorobenzyl-2-imidazoline	0.006 (0.0)	0.006 (0.0)	0.006 (0.0)	0.006 (0.0)	0.006 (0.0)	0.006 (-)

라. 복합회토 처리가 식물체내 질산염 잔류량에 미치는 영향

상대적 단일회토원소와 복합회토의 적정농도 처리체계의 구멍의 실증적 연구를 통하여 정립된 시용농도와 처리체계를 바탕으로 복합회토가 식물체내 질산염 잔류량에 미치는 영향을 분석한 결과는 아래와 같다.

1) 상 추

상추에 대한 복합회토 처리시 **Table4-19** 및 **Fig. 4-19**에서 보는 바와 같이 Treat I-1~II-2까지의 처리방법에 있어서 Treat I-2를 제외하고는 대비구에 비해 0.02%~1.6%의 강하률을 보여 특별한 차이를 발견할 수 없었으나 Treat II-3~III-4까지의 처리구에 있어서는 평균 29.3%의 강하률을 보였다. 이중 비교적 처리횟수가 많고 농도가 높은 처리구인 Treat III-1~III-4의 처리에 있어서 특히 강하률이 23.1~38.3%로서 크게 나타났다. 질산염의 잔류량 강하효과를 위한 복합회토의 적용에 있어서 경제성과 농민의 편의성, 회토원소의 잔류에 따른 안전성 등 여러 측면을 고려할 때 Treat II-3의 처리방법이 적절할 것으로 판단되나, 추후 이에 대한 정밀보완시험이 필요할 것으로 나타났다.

<Table4-19> $RE_2 O_3$ 의 처리에 따른 상추체내 질산염 잔류량 및 강하률
(단위 : mg/kg)

측정성분 \ 처 리	CK	Treat I -1	Treat I -2
2-benzyl-1-pentafluorobenzyl-2-i midazoline	1,678.9 (-)	1,645.6 (0.02)	1,442.6 (14.1)

측정성분 \ 처 리	Treat II -1	Treat II -2	Treat II -3	Treat II -4
2-benzyl-1-pentafluorobenzyl-2-i midazoline	1,511.6 (1.0)	1,490.1 (1.6)	1,211.4 (27.8)	1,303.1 (22.4)

측정성분 \ 처 리	Treat III -1	Treat III -2	Treat III -3	Treat III -4
2-benzyl-1-pentafluorobenzyl-2-i midazoline	1,035.9 (38.3)	1,290.4 (23.1)	1,078.4 (35.8)	1,187.1 (29.3)

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 강하률(%)

Treat I - 1 : 침중+100ppm

Treat II - 1 : 침중+100+200ppm

Treat II -3 : 침중+100+500ppm

Treat III -1 : 침중+100+200+300ppm

Treat III -3 : 침중+100+500+1000ppm

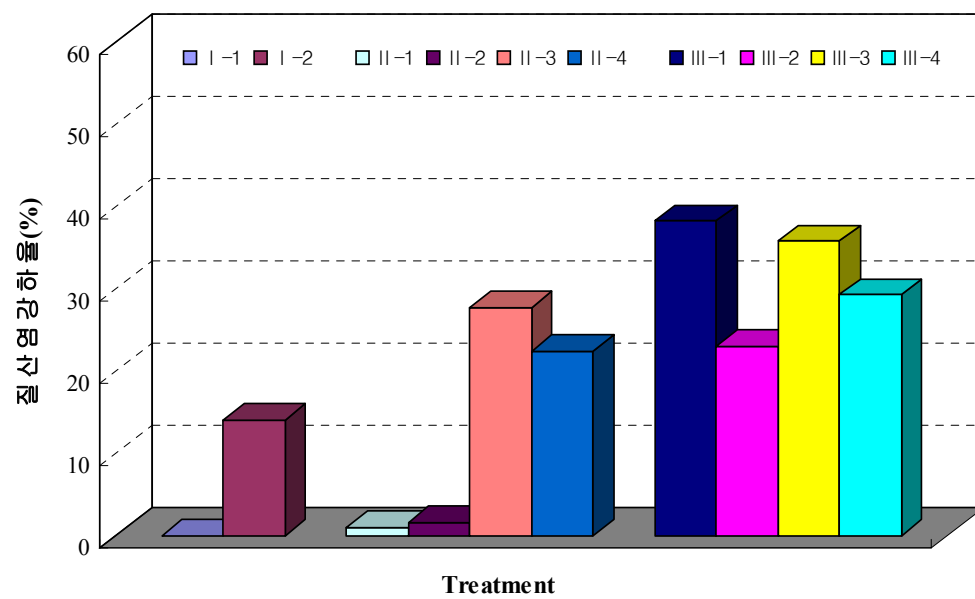
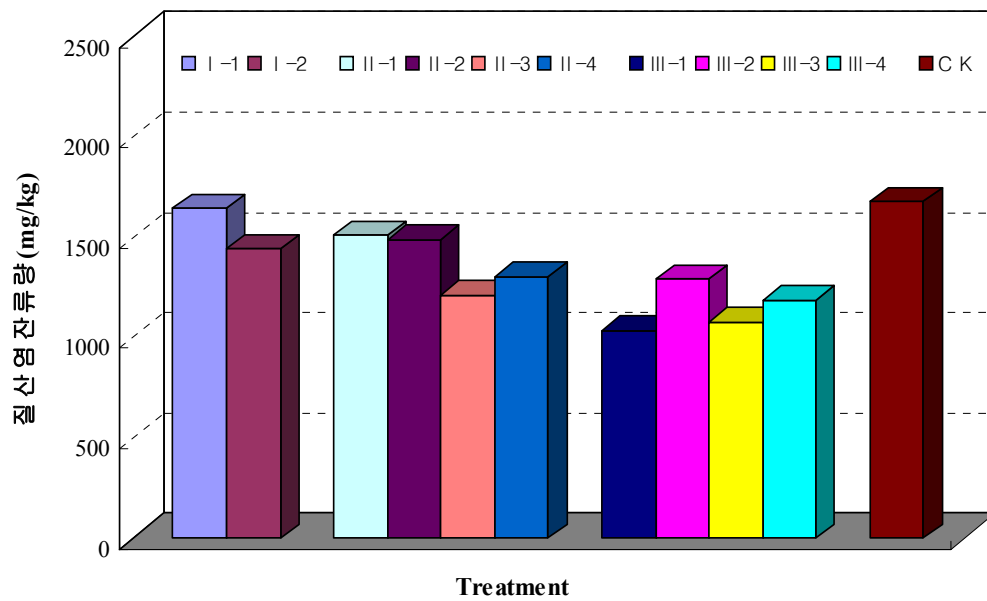
Treat I - 2 : 침중+200ppm

Treat II - 2 : 침중+100+300ppm

Treat II -4 : 침중+100+1000ppm

Treat III -2 : 침중+100+300+500ppm

Treat III -4 : 침중+100+1000+15000ppm



<Fig. 4-19> RE_2O_3 의 처리에 따른 상추체내 질산염 잔류량 및 강하률

2). 이탈리아라이그라스(IR)

이탈리아라이그라스에 대한 복합회토 처리시 Table-20 및 Fig. 20에서 보는 바와 같이 처리방법에 관계없이 모든 처리구에서 급격한 강하결과를 나타내었다. 전체적인 경향에 있어서는 토양에 기비(基肥)로서 복합회토 100ppm을 사용한 후 생육과정 중 엽면시비를 실시한 Treat I -1~ I -5의 경우 전체적으로 엽면시비의 농도가 높아질수록 체내 질산염의 잔류량이 감소하다가 고농도인 Treat I -4의 처리의 경우 감소경향이 둔화되었음을 알 수 있었다. 토양에 기비로서 복합회토를 사용하지 않고 2회에 걸쳐 유묘기에 200ppm으로 동일하게 사용하고 생육중기에 각각 다른 농도로 처리한 Treat II 처리방법의 경우(II-5)에 있어서도 처리농도가 높아질수록 질산염의 강하율이 증가하다가 1000ppm의 고농도 처리에 있어서 급격히 둔화되는 경향을 보였다. 질산염의 잔류량 강하효과를 위한 복합회토의 적용에 있어서 경제성과 농민의 편의성과 더불어 회토원소를 숙전(熟田)상태의 초지(草地) 토양에 장기적으로 연속 처리할 경우 회토원소의 과다잔류 및 집적에 따른 토양 및 인체에 대한 안전성이 문제가 될 수 있으므로 Treat I 의 처리방법보다는 엽면시비 방법인 Traet II -1~ II -5의 방법이 적절할 것으로 판단되나 입모중 파종, 생장, 수확하게 되는 논의 경우에는 작부체계상 후작물(後作物)로서 벼가 식재되므로 담수에 의한 회석 및 유출, 분해 작용과 더불어 벼에 의한 흡수가 이루어질 것이므로 별다른 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나 본 시험이 기초적 경험에 의해 복합회토 사용에 의한 전체적 경향을 파악하기 위해 시도된 것이므로 추후 정밀한 보완시험이 역시 필요할 것으로 사료된다.

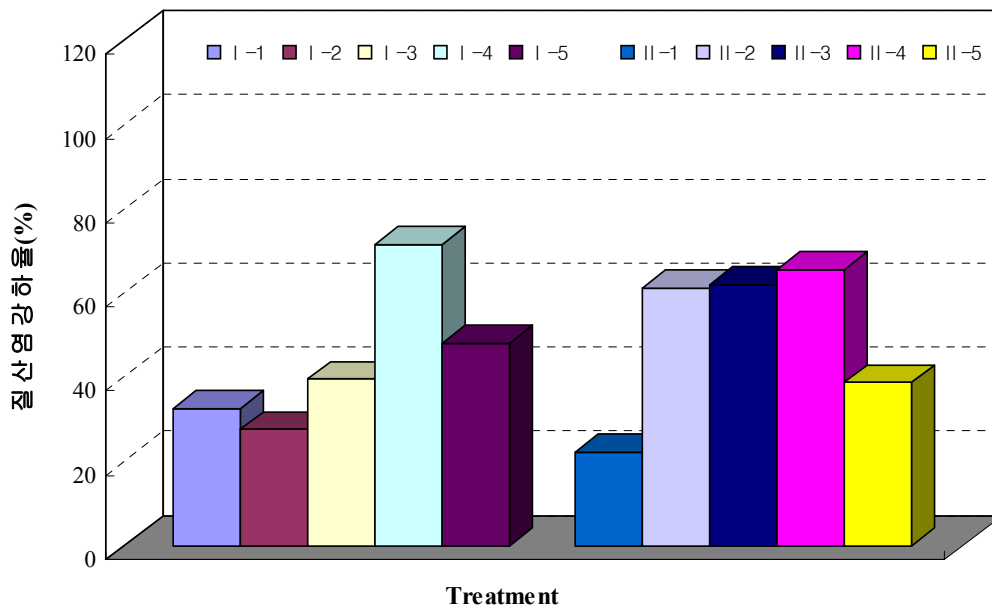
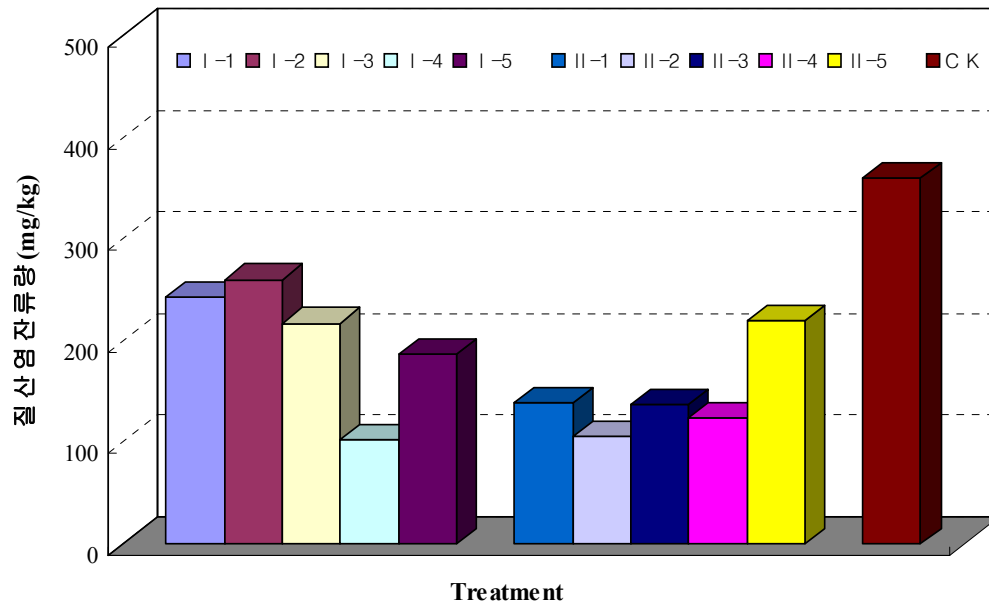
<Table4-20> $RE_2 O_3$ 의 처리에 따른 IR 체내 질산염 잔류량 및 강하률 (단위 : mg/kg)

측정항목 \ 처 리	Treat I -1	Treat I -2	Treat I -3	Treat I -4	Treat I -5
질산염 (fresh weight base)	242.0 (32.7)	260.0 (27.7)	217.0 (39.7)	101.8 (71.7)	186.0 (48.3)

측정항목 \ 처 리	Treat II -1	Treat II -2	Treat II -3	Treat II -4	Treat II -5	CK
질산염 (fresh weight base)	138.8 (22.4)	105.0 (61.4)	136.0 (62.2)	123.5 (65.8)	219.8 (38.9)	359.8 (-)

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증산율(%)

Treat I -1	토양시용+200ppm	Treat I -2	토양시용+300ppm	Treat I -3	토양시용+500ppm
Treat I -4	토양시용+700ppm	Treat I -5	토양시용+1000ppm		
Treat II -1	200+200ppm	Treat II -2	200+300ppm	Treat II -3	200+500ppm
Treat II -4	200+700ppm	Treat II -5	200+1000ppm		



<Fig. 4-20> $RE_2 O_3$ 의 처리에 따른 이탈리아라이그라스 체내 질산염 잔류량 및 강하률

3) 사료용 옥수수

사료용 옥수수에 대한 회토원소의 질산염의 강하효과를 구명하기 위해 처리농도를 다르게 하여 단일회토 원소별로 적용시험을 실시한 시험결과는 **Table4-21** 및 **Fig. 4-21**에서 보는 바와 같다. 전체적인 경향을 살펴보면 모든 처리구에서 대비구인 무처리구에 비해 11.5%~59.1%의 범위에서 질산염 잔류량의 강하를 보였는데, 처리방법별로는 복합회토를 밀거름 등과 함께 투입하고 생육중기에 1회에 한하여 엽면 시용한 Treat I 처리방법의 경우 전체적으로 처리농도가 높을수록 그 강하율이 커지는 경향을 보였는데, 생육중기에 각각 200ppm, 300ppm, 500ppm의 농도로 엽면 시용한 Treat I -1, Treat I -2, Treat I -3 처리구에서는 각각 11.5%, 24.2%, 23.4%의 강하율을 보이다가 고농도 처리방법인 Treat I -4(700ppm) 및 Treat I -5(1,000ppm)의 처리구에서는 각각 40.9%, 59.1%의 현저한 강하효과가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 앞에서 고찰한 복합회토 시용이 수량에 미치는 영향에 있어서는 각각 22.4% 및 25.1%의 감수율을 보였던 바 이들 처리방법이 반드시 경제적 시용방법이라고는 할 수 없을 것이다. 한편 Treat I 처리체계에 사료용 옥수수의 생육중기인 출수기에 엽면시용을 실시하는 Treat II 처리방법의 경우에는 비교적 시용농도가 낮은 처리구인 Treat II -1(200+200ppm) 및 Treat II -2(200+300ppm) 처리구에서 질산염 누적량의 강하율이 각각 45.0%, 28.2%를 보여 결과가 양호하였으며, 고농도의 처리시에는 강하율이 작아지는 경향을 보였다.

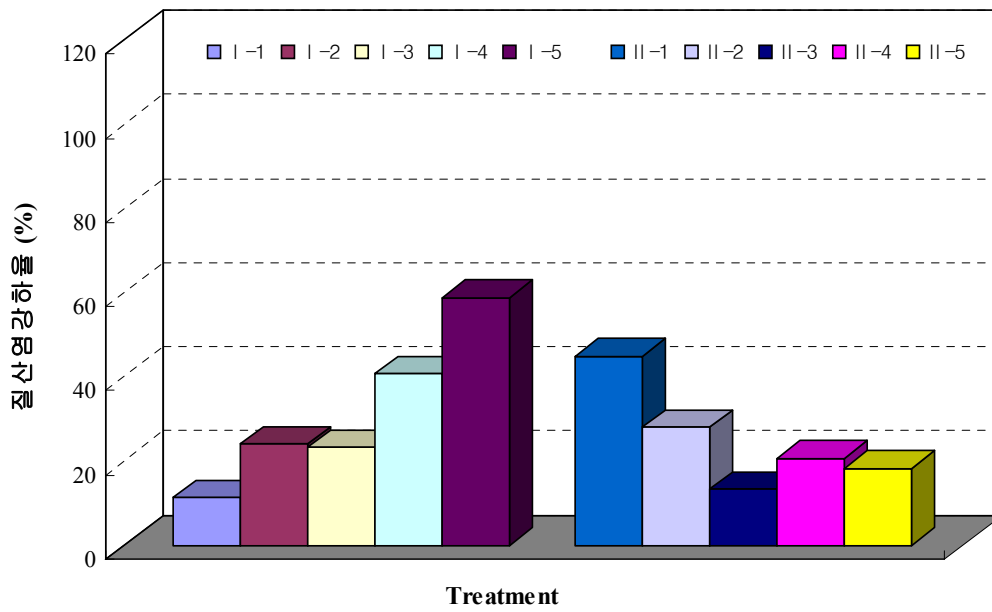
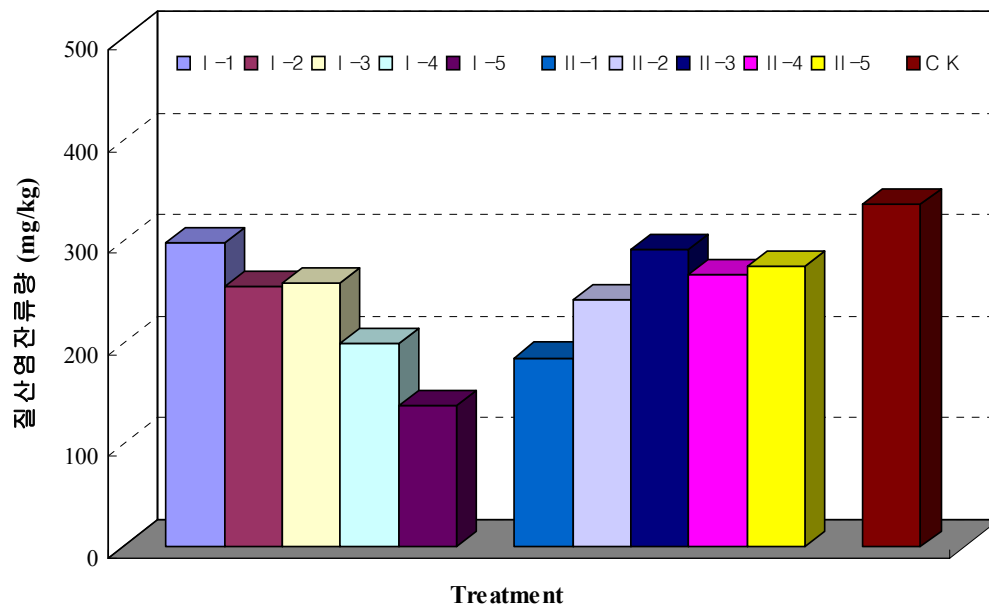
<Table4-21> RE Cl_3 의 처리에 따른 사료용 옥수수 체내 질산염 잔류량 및 강하률(단위: mg/kg)

처리 측정 항목	Treat I -1	Treat I -2	Treat I -3	Treat I -4	Treat I -5
질산염 (fresh weight base)	298.5 (11.5)	255.8 (24.2)	258.4 (23.4)	199.5 (40.9)	138.0 (59.1)

처리 측정 항목	Treat II -1	Treat II -2	Treat II -3	Treat II -4	Treat II -5	CK
질산염 (fresh weight base)	185.5 (45.0)	242.3 (28.2)	292.4 (13.4)	267.3 (20.8)	275.5 (18.4)	337.5 (-)

* ()는 대비구에 대한 각 처리구의 증산율(%)

Treat I -1	토양시용+200ppm	Treat I -2	토양시용+300ppm	Treat I -3	토양시용+500ppm
Treat I -4	토양시용+700ppm	Treat I -5	토양시용+1000ppm		
Treat II -1	200+200ppm	Treat II -2	200+300ppm	Treat II -3	200+500ppm
Treat II -4	200+700ppm	Treat II -5	200+1000ppm		



<Fig. 4-21> $RE Cl_3$ 의 처리에 따른 옥수수 체내 질산염 잔류량 및 강하률

다. 복합희토 처리에 따른 식물체내 희토원소의 누적양상

희토원소는 미량으로서 식물체 및 인체에 작용할 경우 안전성 측면에서 별 문제가 없는 것으로 밝혀졌으나 다량으로 흡수, 잔존 시에는 위생적 안전성에서 문제가 발생할 수도 있다. 대부분의 연구보고를 검토해 보면 희토원소의 분자 구조적 측면에서 식물체내로의 진입이 대단히 어려우며, 식물체내로 진입했다 하더라도 체내에서의 이동과 식물체의 생리적 대사 과정 중 분해 및 흡수가 난이한 것으로 밝혀졌는데, 본 시험결과에서 잔류량이 예상보다 높게 나타난 것은 최근 희토의 식물체내로의 진입을 촉진하는 흡수촉진제의 작용에 의한 것으로 추정된다. 한편 희토원소의 식물체내 누적양상은 복합희토제의 종류, 시용농도, 시용시기, 시용대상 작물 등에 따라 달라지며, 특히 엽면시용의 경우 잎의 형태와 각도 등에 따라 차이가 많이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구는 작물별, 처리농도별 및 처리체계별로 다르게 시용한 복합희토가 식물체내에 잔류하는 양태를 분석하여 활용하기 위해 필요한 기초적 자료를 제공하고자 시험을 실시하였으며 그 결과를 분석한 바는 아래와 같다.

1) 상 추

상추에 대한 복합희토 처리시 단일원소별 누적량을 분석한 결과는 <Table-22> 및 <Fig. 22>에서 보는 바와 같다. 표와 그림에 나타난 바를 토대로 상추작물에 대해 복합희토를 시용할 경우 먼저 처리방법별 단일희토의 전체 잔류량을 살펴보면, 전혀 처리하지 않은 대비구에서는 단일희토원소가 검출되지 않았으며, 종자 침종 후 유묘기에 1차 엽면 시비한 Treat I의 경우에도 잔류량이 0.6~5.5ppm의 범위로 검출량이 아주 적게 나타났다.

종자 침종 후 엽면시비를 2차에 걸쳐 실시한 Treat II의 처리방법에 있어서는 28.6~35.7ppm 범위의 잔류량을 보여 약간 많아지는 경향을 보였으나, 처리농도와 잔류량은 반드시 일치하는 경향을 보이지는 않았다. 반면 종자 침종 후 3차에 걸쳐 엽면시용을 실시한 Treat III의 경우에는 잔류량이 급격히 증가하여 256.8ppm~598.7ppm 사이의 대단히 높은 수준의 희토원소들이 잔존하는 것으로 분석되었는데, 이들 잔존원소의 거의 대부분은 La 원소가 차지하고 있음을 알 수 있었다.

한편, 처리방법별 단일희토별 누적양상을 보면 먼저 Pr과 Ce, Nd, Sm 원소들의 경우 처리 횟수 및 농도가 높을수록 잔류량 역시 높아지는 경향이 나타났는데 고농도 처리구인 Treat III의 처리방법을 제외하고는 그 검출량이 각각 0.1~2.3ppm, 0.0~0.9ppm, 0.1~2.5ppm, 0.1~0.3ppm의 범위로서 비교적 적게 나타났으나, La 원소의 경우는 종자 침종 및 2차 엽면 시용의 경우인 Treat II 처리구에서부터 급격히 높아져 25.8~30.5ppm 범위의 비교적 다량의 희토 잔류량이 검출 되었으며, 특히 3회 엽면시

용을 실시한 TreatⅢ의 처리방법의 경우에는 그 잔류량이 240.4ppm~560.9ppm으로 상당히 높게 분석되었다. 따라서 경제성과 안전성을 고려할 때 상추와 같은 단기수확용 엽채류에 대한 복합희토의 적용에 있어서 3회에 걸친 엽면 시용의 경우 고농도의 처리방법은 고려되어야 할 것으로 사료된다.

<Table4-22> RE_2O_3 의 처리에 따른 상추체내 희토원소별 잔류량

(단위 : mg/kg)

측정성분 \ 처 리	Treat I - 1						Treat I - 2					
	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
희토원소 (dry weight base)	0.6	0.1	0.3	0.1	0.00	0.1	5.5	0.2	4.6	0.5	0.0	0.2

Treat II - 1						Treat II - 2						Treat II - 3					
Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
35.7	2.3	29.7	2.5	0.9	0.3	28.6	1.7	25.8	0.9	0.1	0.1	33.1	1.8	30.5	0.6	0.1	0.1

Treat II - 4						Treat III - 1						Treat III - 2					
Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
29.7	1.8	26.1	1.4	0.3	0.1	309.6	4.4	286.1	11.9	6.4	0.8	256.8	6.0	240.4	5.5	4.2	0.7

Treat III - 3						Treat III - 4						대비구 (CK)					
Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
299.3	5.0	278.5	8.9	5.7	1.2	598.7	9.5	560.9	11.9	15.1	1.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Treat I - 1 : 침종+100ppm

Treat I - 2 : 침종+200ppm

Treat II - 1 : 침종+100+200ppm

Treat II - 2 : 침종+100+300ppm

Treat II - 3 : 침종+100+500ppm

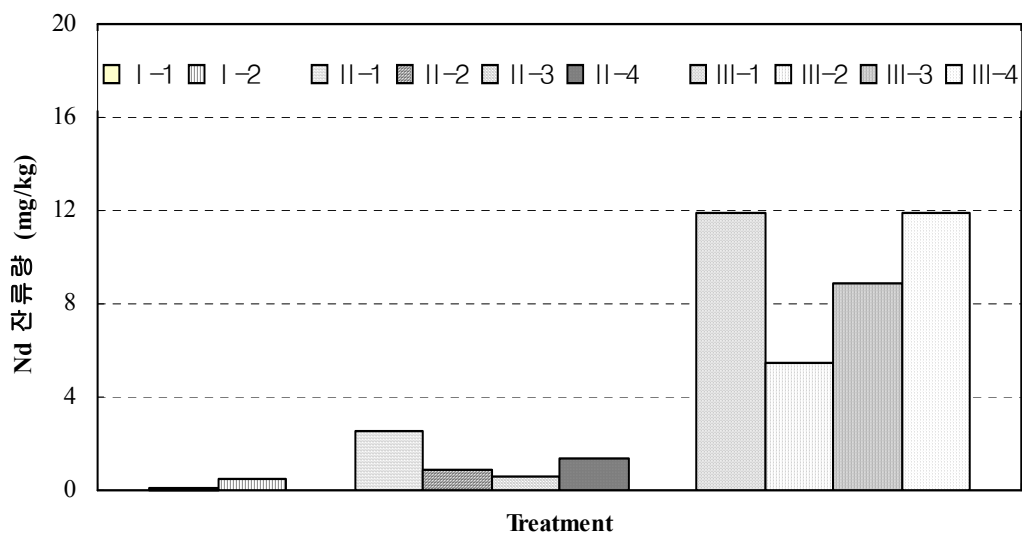
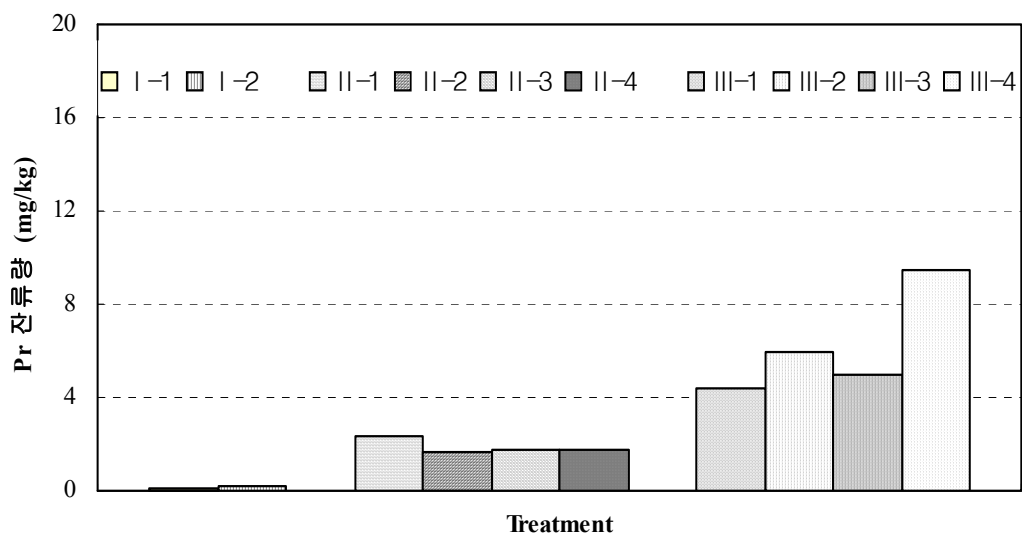
Treat II - 4 : 침종+100+1000ppm

Treat III - 1 : 침종+100+200+300ppm

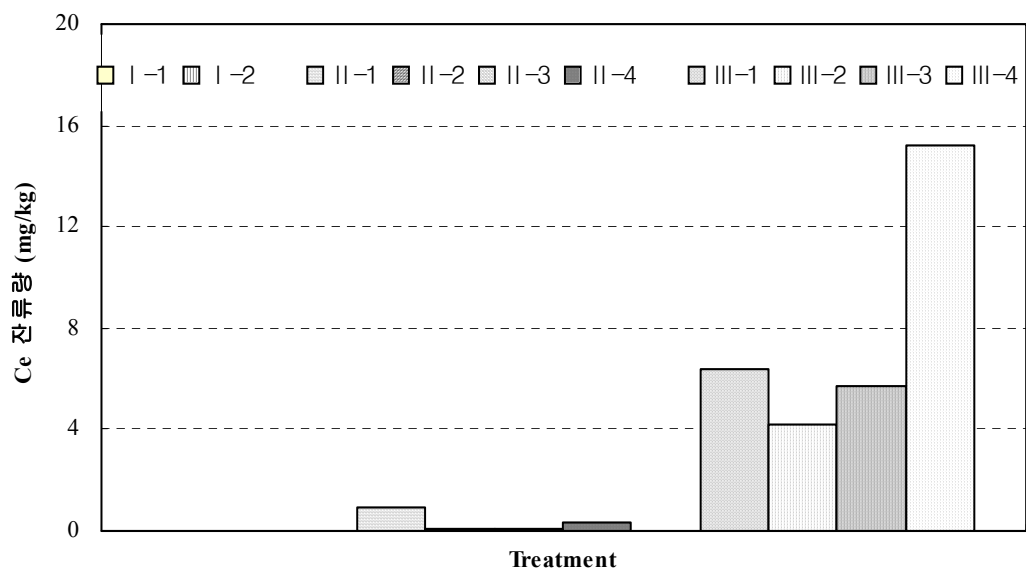
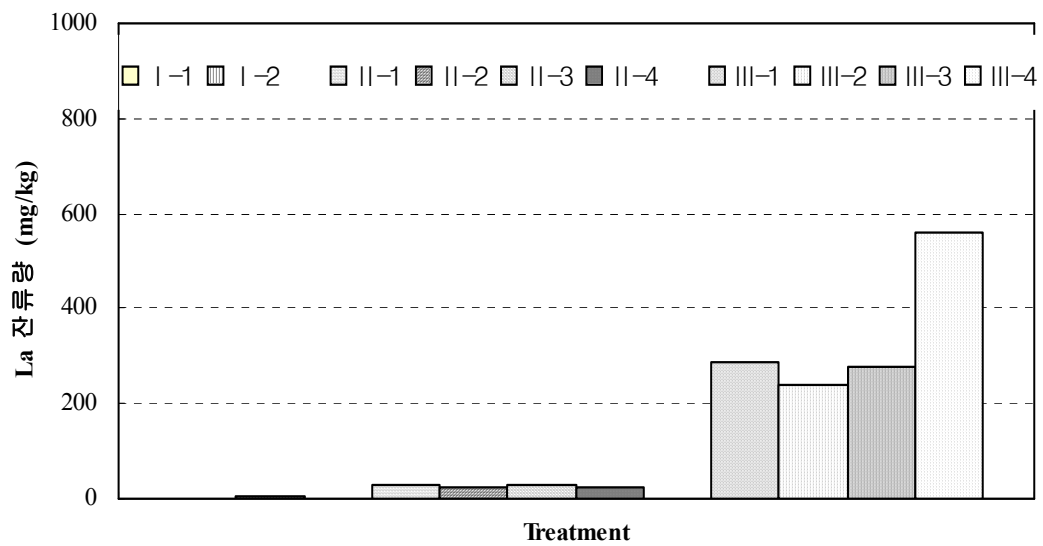
Treat III - 2 : 침종+100+300+500ppm

Treat III - 3 : 침종+100+500+1000ppm

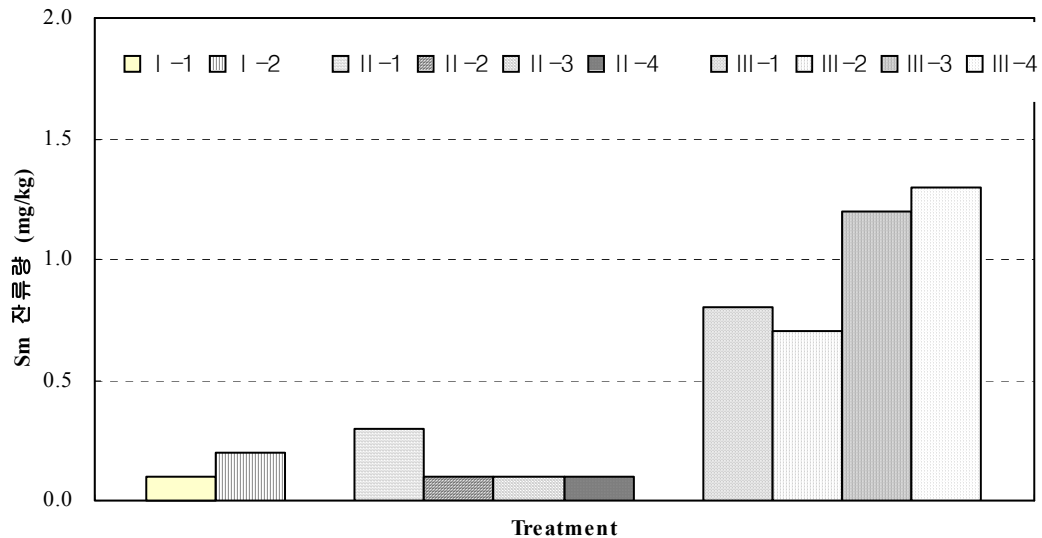
Treat III - 4 : 침종+100+1000+15000ppm



<Fig. 4-22> RE_2O_3 의 처리에 따른 상추체내 희토원소별 잔류량(Pr, Nd)



<Fig. 4-22> RE_2O_3 의 처리에 따른 상추체내 희토원소별 잔류량 (La, Ce)



<Fig. 4-22> RE_2O_3 의 처리에 따른 상추체내 희토원소별 잔류량(Sm)

2) 사료용 옥수수

사료용 옥수수에 대한 복합희토 처리시 단일원소별 잔류량을 분석한 결과는 Table-23 및 Fig. 23과 같다. 본 시험분석결과를 살펴보면 옥수수작물에 대해 복합희토를 사용한 경우 단일희토원소별 잔류량은 모든 처리구에서 적용농도가 높을수록, 처리횟수가 많을수록 역시 그 잔류량도 상대적으로 많은 경향을 보였는데, 먼저 처리방법별 희토원소별 잔류 경향을 살펴보면 처리 농도를 낮게 하고 적은 횟수를 처리한 Treat I-1 및 Treat I-2의 처리구는 5개원소의 총 잔류량이 2.3~4.0 ppm에 불과하였다. 그러나 처리 농도가 증가한 Treat I-3 및 Treat I-4, Treat I-5 등의 처리구에서는 9.1~15.3ppm의 범위까지 약간 높아짐을 알 수 있었다. 한편 Treat I의 처리방법에 생육중기에 1회에 걸쳐 엽면시용을 추가한 Treat II의 처리방법에 있어서는 역시 잔류량도 많아진 것으로 분석되었는데, 비교적 저농도 처리구인 Treat II-1 및 Treat II-2, Treat II-3의 경우는 Treat I의 고농도 처리구와 비슷한 잔류량을 보였으나, 고농도 처리구인 Treat II-4 및 Treat II-5의 경우는 잔류량이 26.0ppm 내외로 나타나 많아짐을 알 수 있었다. 단일희토원소별로는 복합희토 조제에 있어서 원료투입량이 많은 순서인 La, Ce, Nd, Pr의 순으로 식물체내에서의 잔류량도 역시 많이 검

출되는 경향을 보였으나 원료투입비율과 잔류율의 비율은 반드시 일치하지는 않았다. 앞서 고찰한 상추작물과 마찬가지로 단일희토원소별 시험구의 체내 총 누적량은 La 원소가 78.1, Ce 원소가 24.3, Nd 원소가 12.1, Pr 원소가 8.6, Sm 원소가 2.1ppm으로 분석되었는데 이 중 La 원소가 전체 잔류량의 약 68% 달함을 알 수 있었다.

<Table4-23> 복합희토(RE_2O_3) 처리에 따른 옥수수 체내 희토원소별 잔류량

측정성분 \ 처 리	Treat I - 1						Treat I - 2					
	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
희토원소 (dry weight base)	2.3	0.2	0.6	0.8	0.7	0.0	4.0	0.0	3.4	0.6	0.0	0.0

Treat I - 3						Treat I - 4						Treat I - 5					
Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
9.1	0.1	8.4	0.3	0.3	0.0	15.3	0.2	14.2	0.4	0.5	0.0	10.9	0.1	9.8	0.4	0.4	0.0

Treat II - 1						Treat II - 2						Treat II - 3					
Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
6.6	0.9	1.7	1.3	2.6	0.0	11.3	2.2	2.3	2.2	4.5	0.1	14.1	2.0	3.7	2.5	5.7	0.2

Treat II - 4						Treat II - 5						대비구 (CK)					
Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
26.3	0.8	21.6	1.2	2.6	0.1	26.0	2.1	13.6	2.7	7.0	0.6	0.7	0.0	0.4	0.3	0.0	0.0

Treat I - 1 토양시용+200ppm

Treat I - 2 토양시용+300ppm

Treat I - 3 토양시용+500ppm

Treat I - 4 토양시용+700ppm

Treat I - 5 토양시용+1000ppm

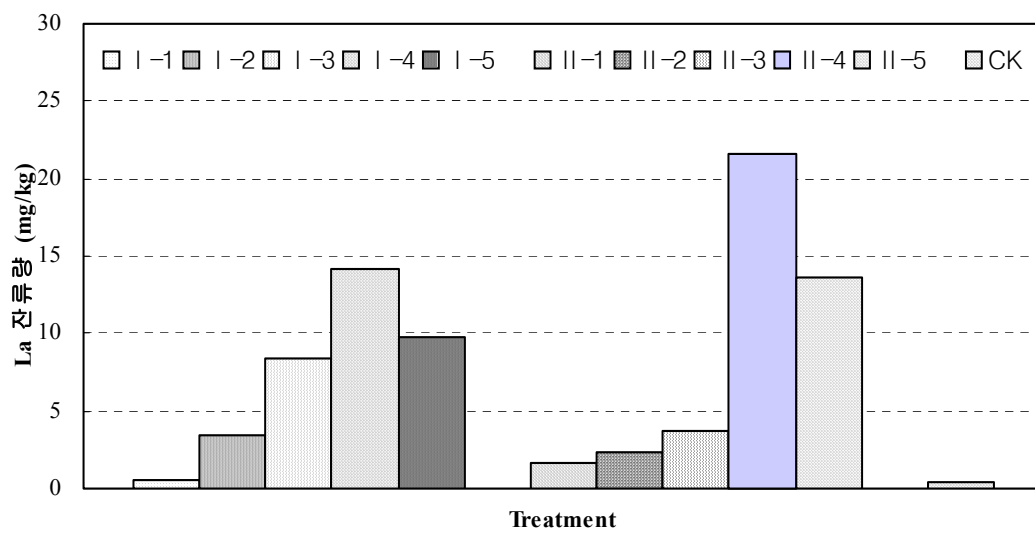
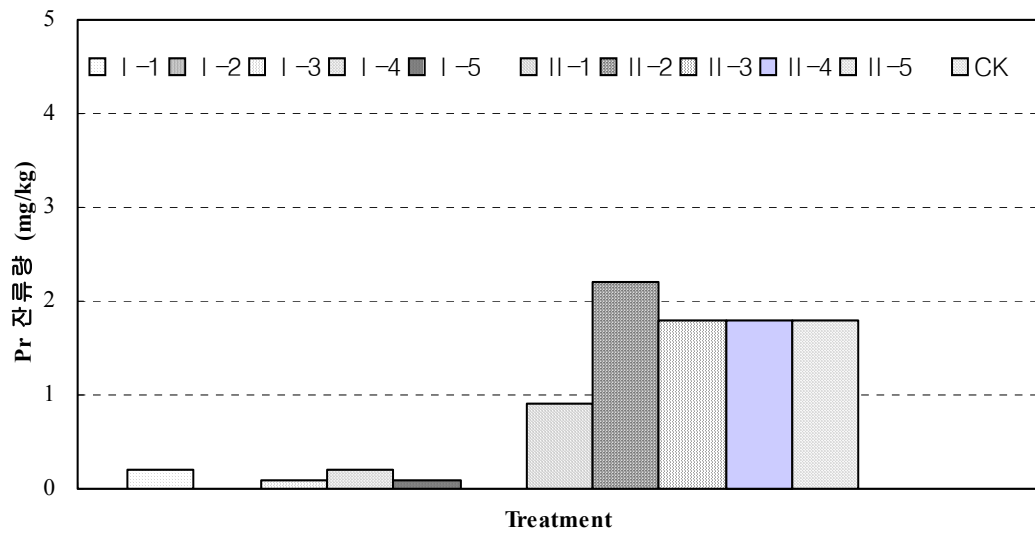
Treat II - 1 200+200ppm

Treat II - 2 200+300ppm

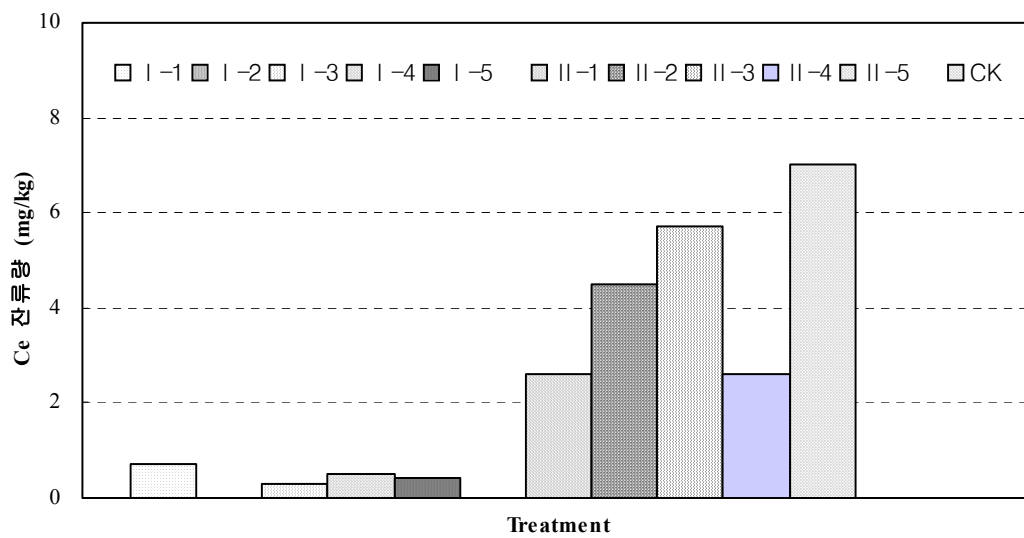
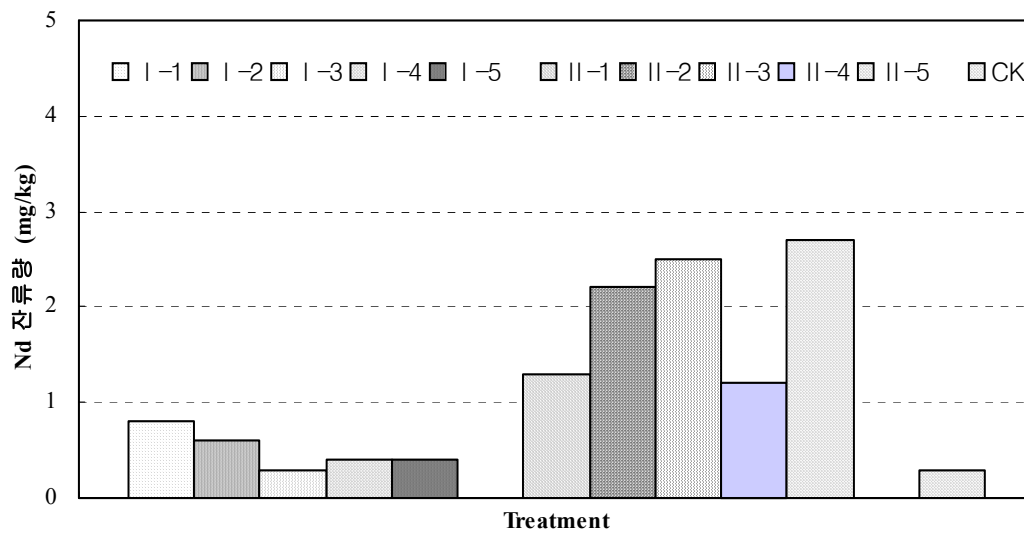
Treat II - 3 200+500ppm

Treat II - 4 200+700ppm

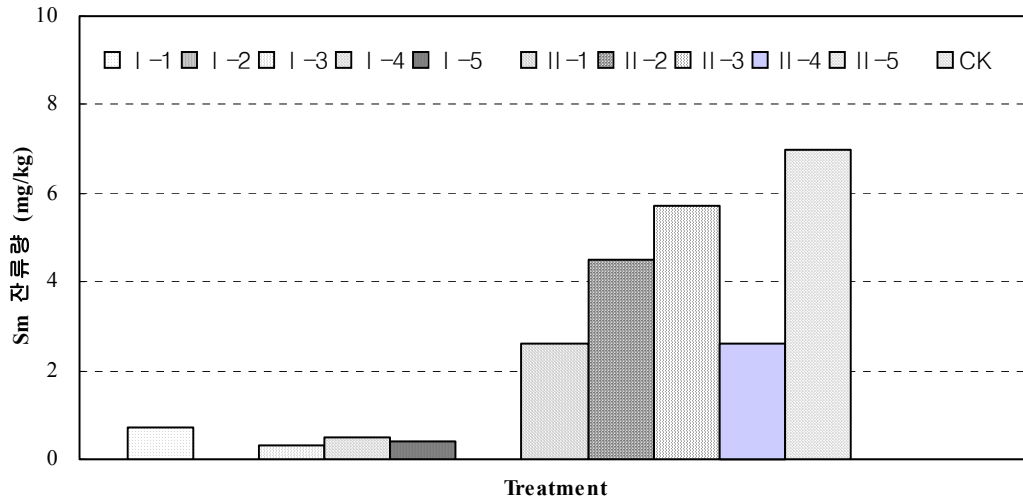
Treat II - 5 200+1000ppm



<Fig. 4-23> RE_2O_3 의 처리에 따른 옥수수체내 희토원소별 잔류량 (Pr, La)



<Fig. 4-23> RE_2O_3 의 처리에 따른 옥수수체내 희토원소별 잔류량(Nd, Ce)



<Fig. 4-23> RE_2O_3 의 처리에 따른 옥수수체내 희토원소별 잔류량(Sm)

3) 이탈리아라이그라스(IR)

이탈리아라이그라스에 대한 복합희토의 처리 시 단일희토원소별 잔류량을 분석한 결과는 <Table4-24> 및 <Fig. 4-24>와 같다.

본 시험분석결과를 살펴보면 전체적인 경향에 있어서 앞서 고찰한 상추와 사료용 옥수수에 비해 상대적으로 잔류량이 적게 나타났는데, 그 이유는 화본과의 직립형 소엽이라는 잎의 형태학적 특성에서 기인하는 것으로 추정된다. 이탈리아라이그라스에 복합희토를 시용한 경우 처리 농도에 따른 해당 원소의 체내 잔류량은 상추 및 옥수수 작물과 비슷하게 시용 농도가 높을수록 처리횟수가 많을수록 모든 처리구에서 무처리구에 비하여 상당히 높은 경향임을 알 수 있었다. 원소별로는 Sm 원소의 경우가 0.1~0.2ppm의 가장 낮은 잔류량을 보였으며, Ce>Pr>La>Nd 원소의 순으로 잔류량이 많은 것으로 분석되었다. 특히 La 및 Pr 원소 등의 경우 2회에 걸쳐 처리한 총 처리농도가 1,000ppm에 달한 Treat IV 처리구의 경우 각각 3.6ppm, 8.7ppm으로서 대단히 높은 잔류량이 분석되었다. 한편 처리방법에 따른 단일희토원소의 잔류량은 처리농도가 낮은 Treat I의 처리방법에 있어서는 4.4ppm, 비교적 중간농도인 Treat II 및 Treat III 처리방법에서는 7.5~8.5ppm, 고농도인 Treat IV(200+800ppm)처리방법의 경우는 17.5ppm 정도가 검출된 것으로 분석되었다. 따라서 이탈리아라이그라스 작물

에 있어서 희토원소의 고농도 염면시비는 지양하여야 할 것으로 사료된다.

<Table4-24> 단일희토($RECl_3$) 처리에 따른 IR 체내 희토원소별 잔류량

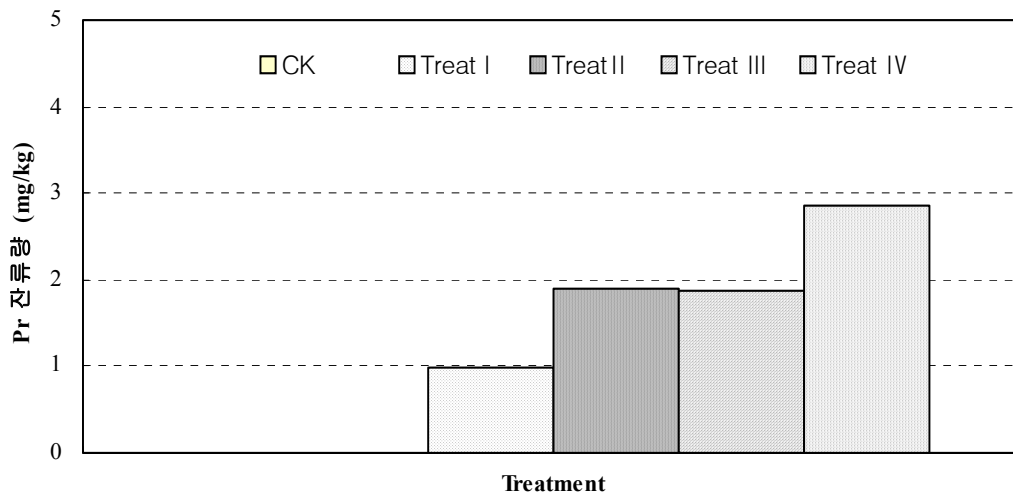
(단위 : mg/kg)

처리 측정성분	Treat I						Treat II					
	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
희토원소 (dry weight base)	4.4	1.0	1.2	1.9	0.2	0.1	7.5	1.9	1.8	2.4	1.3	0.1

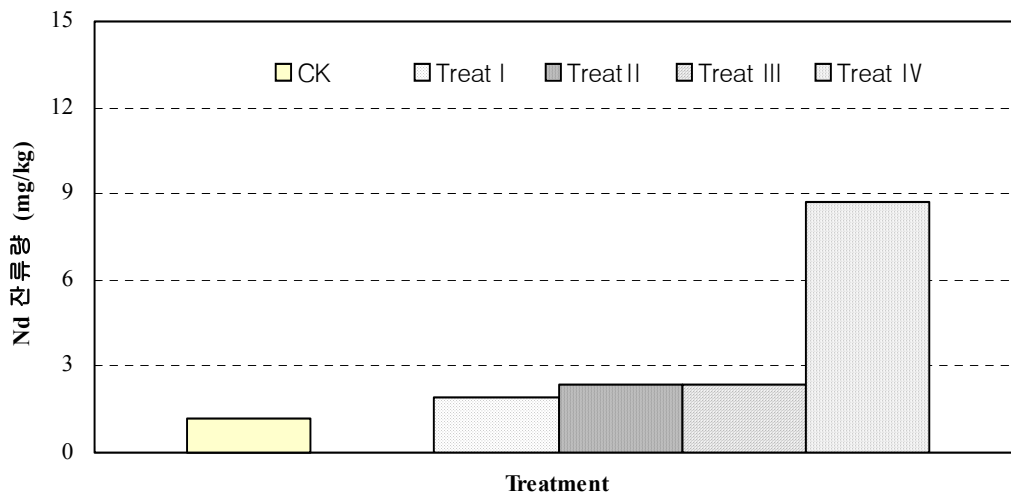
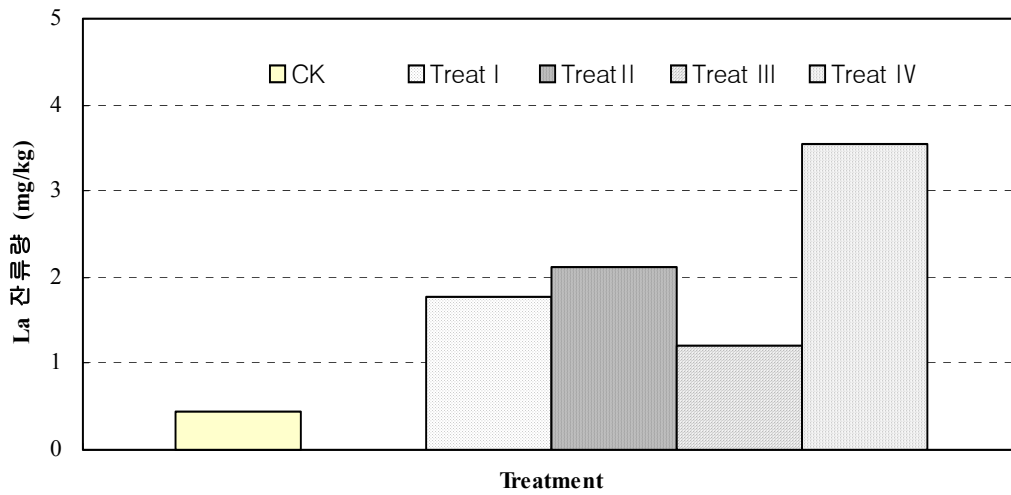
Treat III						Treat IV						C K					
Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm	Total	Pr	La	Nd	Ce	Sm
8.5	1.9	2.1	2.4	1.8	0.3	17.5	2.9	3.6	8.7	2.1	0.2	1.7	0.0	0.4	1.2	0.0	0.1

* Treat I : 초기 200 + 중기 200ppm, * Treat II : 초기 200 + 중기 400ppm,

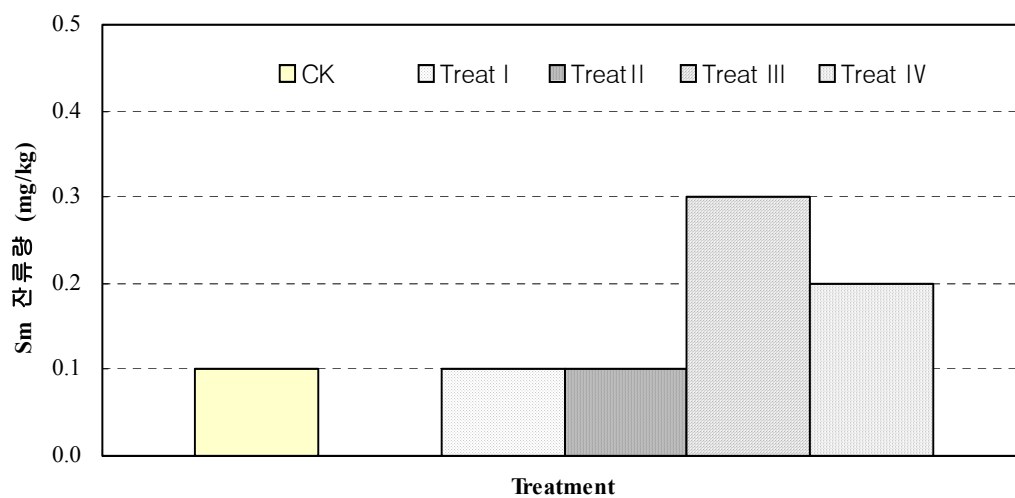
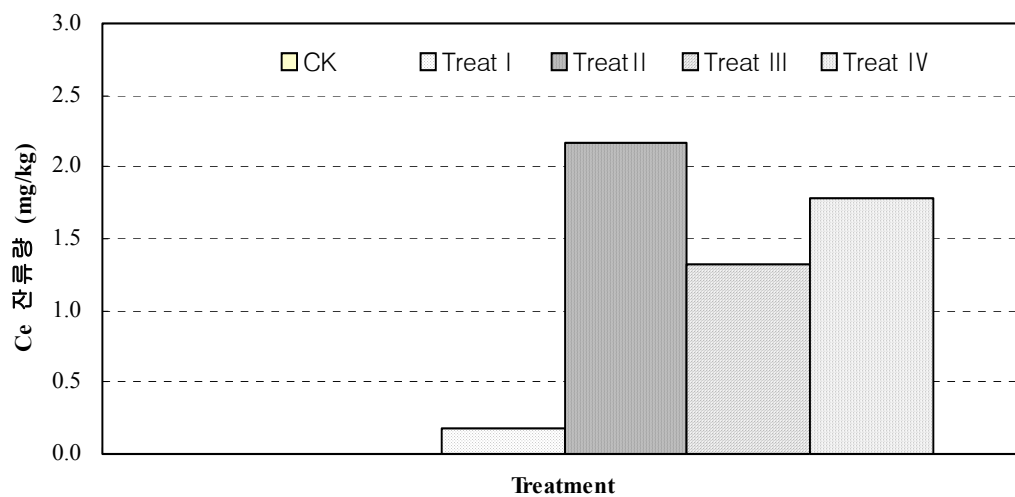
* Treat III : 초기 200 + 중기 600ppm, * Treat IV: 초기 200 + 중기 800ppm,



<Fig. 4-24> 단일희토($RECl_3$) 처리에 따른 IR 체내 희토원소별 잔류량 (Pr)



<Fig. 4-24> 단일희토($RECl_3$) 처리에 따른 IR 체내 희토원소별 잔류량 (La, Nd)



<Fig. 4-24> 단일희토($RECl_3$) 처리에 따른 IR 체내 희토원소별 잔류량(Ce, Sm)

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 : 혼합 회토(RE) 사료 첨가제 개발

란단계 원소를 중심으로 하는 17개 회토류 원소를 이용하는 새로운 사료첨가제를 개발하기 위하여 쥐, 미생물, 가금, 그리고 돼지를 가지고 일련의 시험을 실시하였다. 이 원소들은 가축 사양에 있어 전혀 새로운 물질이었기 때문에 사료첨가 안정성, 각 원소들의 개별 첨가 효과, 이들을 혼합한 복합회토로서의 효과, 그리고 가금과 양돈에 대한 성장 또는 생산 단계별 효과를 검토할 수 있는 일련의 사양시험을 실시하였고 많은 유의할 만한 결과를 얻어냈다. 문헌에 나타난 대로 회토의 스트레스 억제작용, 혈청내 항체 수준을 높여주는 면역력 강화작용, 혈청내 성장 호르몬과 인슐린 수준을 높여주는 성장촉진작용, 그리고 회토 자체의 그람 negative 세균과 살모넬라의 살균작용에 의한 여러 질병에 대한 저항력 강화와 가축 폐사율 효과 등은 가금 사양과 양돈의 성장과 생산성 증가로 이어져 본 연구에서 계획했던 목표를 십분 달성하였다. 연구 계획서에서 예측했던 대로 가축의 면역력 증강이나 살균작용에 초점을 두어 항생제를 대체하여 새로운 성장촉진제로서 축산업과 학계에 많은 관심을 불러 일으켰다. 현재 우리나라 사료법에 회토가 사료로서 또는 사료첨가제로 예시되어 있지 않아 곧바로 사용할 수 없는 현실적 문제를 난고 있지만, 앞으로 항생제의 사료이용이 제한 내지 금지되는 상황으로 가축사양이 전개되고 있어 회토의 실제 이용은 가능해 질 것이고 많은 양축가에게 커다란 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 축산분야 연구나 학자들에게 많은 관심을 불러넣어 회토를 이용하는 개선된 사료첨가제 개발연구가 활발해 질 것으로 생각한다.

제 2 절 : Organic acid-RE chelate 제제 개발

회토를 가축사양에 사용하려함에 있어 가장 기본적인 문제점의 하나는 회토 원소들의 가축 장내 흡수율이 매우 낮다는 점이다. 매우 어린 가축이나 병아리의 경우 그리고 산성조건에서 회토 흡수율은 높아지는데, 그래 보았자 0.5 내지 1.0% 정도의 흡수율을 나타낼 뿐이다. 이렇게 회토 원소들의 가축 장내 흡수율이 낮은 것은, 분자량이 큰 다른 원소와 마찬가지로 분자량이 가축이 일반적으로 이용하는 원소에 비해 크기 때문이다. 이러한 경우 가축들의 흡수율을 높여주는 방안 중의 하나가 이런 원들을 유기산이나 유기물, 또는 미생물과 착화합물화 (chelation)하는 것이다. 그러나 회토 원소는 그 물리화학적 성질이 특이하고 연구하기 까다롭기 때문에 다른 무기 원소

에 비해 쉬운 작업이 아니다. 따라서 본 세부과제의 주요 연구 목표는 다양한 유기산을 이용하여 회토원소를 착화합물로 만드는 것이었다. 공업적으로 또는 생물학적으로 회토를 연구함에 있어 또 하나의 어려운 점은 각 회토 원소들이 다른 원소에 비해 특이한 물리화학적 성질을 지니고, 아울러 회토류 원소들은 서로 매우 유사한 화학적 특성을 나타내기 때문에 회토류 원소들을 분리하고 정량 분석하는 일이 하나의 연구 대상이 되고 있으며, 이제까지 여러 가지 분석방법이 고안되고 제시되어 왔다. 그러나 식물이나 동물의 체내 또는 토양내 회토의 분석은 또 하나의 어려움을 갖게 한다. 본 연구 전체의 진전을 위해서도 정확한 회토 분석방법의 확립은 꼭 필요한 것이어서 본 세부과제의 일차적 연구 대상이 되었다.

회토원소 자체의 정량적 분석을 위하여 우선 문헌 조사를 통해 회토 원소를 분리하고 분석할 수 있는 분석기기와 분석 조건을 확립하였고, 식물체와 동물체 그리고 토양 시료로부터 회토원소를 추출하는 분석기기 이전의 이상적인 전처리 방안을 찾아내어 차후 사용을 분석방법을 표준화하였다. 회토원소의 chelation을 위해서는 다양한 유기산을 대상으로 가장 수득율이 높고 경제적인 수 있는 착화방법을 검토 연구하였다. 착화물 생산을 위해 검토한 chelating agent로는 $\text{Na}_2\text{-EDTA}$, DCTA, DTPA, sodium citric acid, sodium tartaric acid, cysteine, methionine, glutamic acid, calcium ascorbic acid 등을 사용하였다. 이들의 착화 상태를 검토하고 착화 수득율 향상을 위한 방안도 검토 연구하였다. 결과적으로 몇 가지 착화물 생산에 성공하였고, 보다 나은 산업적 생산 방안도 모색되었다.

이상 본 세부과제의 목표는 계획했던 대로 달성하였고, 앞으로 보다 개선되고 보다 경제적인 수 있도록 산업적 차원에서의 방법개선이 이루어져야 할 것으로 본다.

제 3 절 : 사료작물용 회토 복합비료 개발

본 세부과제의 연구목표는 회토를 사료작물 생산에 활용하는 방안을 모색하여 사료 작물 생산에 활용할 수 있는 회토복합 비료를 생산하고 그 효과를 검증하여 식물 농업에 회토를 이용할 수 있게 하는데 연구 목표가 있었다. 연구 과정 중 사료작물뿐만 아니라 채소나 과일 벼 등에도 회토의 효과를 검토하여 식용작물에도 함께 사용할 수 있는 회토복합비료 개발을 하였다. 회토 개별 원소에 대하여 씨앗에 대한 발아와 생육에 대한 검토를 하였고, 복합회토를 이용하여 사료 또는 식용작물의 뿌리 발육, 엽록소 합성, 질소이용, 농약 잔류량 검토 등과 더불어 과일이나 토마토 같은 과채류 작물의 당도나 생산성을 검증하여 확실한 회토의 효과를 확인하였다. 본 연구 본연의 계획에 준하여 연구 결과 얻어진 결과를 기술해 보면, 1) 종자의 총 출현율에 미치는

희토 처리효과는 크지 않았으나 출현속도, 발아소요일수 등은 옥수수와 Italian ryegrass에서 크게 향상되었고, 2) 두과인 alfalfa는 수량증가에 희토 처리효과를 기대하기 어려웠으나, 화본과인 옥수수, Italian ryegrass, 수수에서는 희토 처리효과가 크게 나타났으며 3) 옥수수는 $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 50-100ppm, Italian ryegrass는 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, $\text{E}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 는 100~300ppm, 수수는 $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ 고농도에서 지상부와 지하부 수량이 모두 크게 증가되었고, 4) 희토처리는 뿌리활력을 높여 지상부보다 지하부(뿌리) 생육을 더 촉진시켰다. 5) 모든 초종에서 희토비료 시비는 잎을 두껍게 하고 엽록소 함량을 높이며, 분얼경 수와 와 수량을 증대시켰다. 6) 희토비료 첨가제 중 미량원소 첨가구가 생육과 수량면에서 가장 양호하였다. 7) 희토비료 시비로 식물체내 질산염 함량과 농약잔류량을 크게 낮출 수 있었다. 이렇게 얻어진 희토의 긍정적 효과와 분말 또는 액상형태로 개발된 비료는 우리나라의 청정 농업과 유기 농법에 활용할 수 있도록 유도해 나갈 방침이다.

제 4 절 : 친환경용 희토 복합제 개발

제 3 절의 사료작물용 희토 복합비료의 개발과 일맥상통하는 범위의 본 연구 세부과제는 연구 내용과 방법은 유사하였으나, 개발 목표의 초점을 환경 친화용 희토 비료 개발에 연구의 초점을 맞추었다. 연구결과를 요약하면 아래와 같으며, 앞으로 이런 결과를 활용하여 친환경 농업 그리고 유기농법에 활용되도록 유도해나갈 방침이다.

1. 복합희토 조제에 활용되는 5종류의 상대적 다량희토원소를 상추 및 사료용 옥수수, 이탈리아라이그라스 등에 사용하여 적정 처리농도를 구명하였으며 이들 원소들의 처리효과를 분석한 결과 생장 및 수량에 있어서 상추작물의 경우 La, Ce, Pr, Nd, Y원소 등 모든 단일희토원소의 처리농도가 10~30ppm의 범위에서 양호한 결과를 나타냈다. 사료용 옥수수에 있어서는 La원소의 경우 50ppm, 나머지 Ce, Pr, Nd, Y등의 단일희토원소는 상추작물과 같이 10~30ppm 처리농도의 범위에서 양호한 결과를 얻을 수 있었다.
2. 단일희토원소의 적정 처리농도의 구명을 토대로 복합희토를 조제하여 복합희토의 적정처리농도 및 시용체계를 구명하기 위해 온실 및 노지포장시험을 실시한 결과, 종자침중 및 100~300ppm의 엽면시비를 1~2회 정도 실시한 처리구의 경우 상추는 18.2~25.8%, 사료용 옥수수의 경우에는 3.6% 범위에서 수량이 증가되었으나, 이탈리아라이그라스에 있어서는 500~700ppm의 비교적 높은 처리농도에서 6.9~

9.3%의 증수율이 있는 것으로 분석되었다.

3. 복합희토의 적정 처리농도 및 시용체계의 구명을 통하여 정립된 기술을 응용하여 시용한 결과 적정처리방법의 경우 식물체내 Mancozeb 농약의 잔류량이 상추에 있어서는 생육초기 100ppm, 중기 500ppm 농도로 2회 엽면 시용시(TreatⅡ-3) 16.1%, 생육초기, 중기, 후기에 각각 100ppm, 300ppm, 500ppm 농도로 3회 엽면시비시(TreatⅢ-2) 22.6%의 강하를 보였으며, 사료용 옥수수는 최소검출량 이하로 나타났음을 알 수 있었다.

4. 복합희토처리에 따른 상추 및 옥수수의 체내 질산염 잔류량을 분석한 결과 전체적으로는 처리농도가 높을수록, 횟수가 많을수록 강하율이 컸으며, 작물별로는 상추의 경우 생육초기, 중기, 후기에 각각 100ppm, 200ppm, 300ppm의 엽면처리시(TreatⅢ-1)38.3%가 강하되는 것으로 나타났다.

이탈리안라이그라스에 있어서는 생육중기에 200ppm을 시용하고 후기에 각각 500ppm, 700ppm의 농도를 처리한 경우(TreatⅡ-3, TreatⅡ-4)가 대비구에 비해 각각 62.2%, 65.8%의 강하를 보였다. 사료용 옥수수는 토양처리 200ppm, 생육중기 1,000ppm 처리방법(TreatⅠ-5)이 59.1%의 강하를 보여 효과가 가장 현저하게 나타났다.

그러나, 수확량 및 희토원소의 체내누적량 등을 감안할 경우에는 생육중기 200ppm, 후기에 200ppm을 처리한 TreatⅡ-1 방법이 45.0% 정도의 강하를 나타냈지만, 가장 경제적인 처리방법이라고 판단된다.

5. 복합희토처리에 따른 식물체내 단일희토원소별 집적양상은 복합희토원소의 처리농도가 높을수록, 처리횟수가 많을수록 잔류량은 이에 비례하여 많았다.

작물별로는 광엽성인 상추작물에서 잔류량이 가장 많았고, 옥수수의 경우는 2.3~26.3ppm의 범위를 보였으며, 화본과 작물인 이탈리안라이그라스 작물에 있어서는 그 잔류량이 1.7~17.5ppm의 범위로 비교적 적은 것으로 나타났다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구결과의 활용

본 연구는 희토라고 하는 천연물질을 동물과 식물 농업에 접목시키고자 실시한 우리나라 최초의 개발연구이다. 희토라 하면 어떤 흙의 일종으로 인식하기 쉬운 명칭이지만, 희토는 흙이 아니며, 이제까지 우리에게 익숙하지 않은 lanthanides를 주축으로 하는 17 가지 화학 원소를 한 그룹으로 묶어 이를 지칭하는 학술 용어이다. 근래 1970년대 이후에는 희토라 하지 않고 주로 lanthanides라는 이름을 사용하기도 한다. 희토류 원소들은 그 원자구조가 다른 일반적 원소들과는 근본적으로 다르기 때문에 분자 화학적 성질이 판이하게 차이가 나는, 그러한 원소들이다. 따라서 이들은 식물과 동물의 살아있는 세포내에서 많은 기능적 역할을 하는 것으로 알려지고 있다. 이러한 희토의 기능성을 식물과 동물 농업에 활용하고자 그 동안 많은 연구를 하여왔고 좋은 연구 결과들을 얻어 냈다.

식물 분야 연구에서는 희토가 사료와 식용작물의 종자발아를 촉진하고 뿌리 발달을 촉진하며, 잎에서는 엽록소 합성을 많게 하고 잎의 두께를 두껍게 하며, 채소의 질산염 함량을 감소시키고 농작물의 농약 잔류량을 감소시키는 효과를 확인하였다. 식물로 하여금 병충해에 강하게 하고 질소이용 효율을 증진시켜 농약 사용과 화학비료 사용을 절약할 수 있는 가능성을 확인 하였다. 이어서 희토의 이러한 기능성을 보다 확실하게 그리고 보다 효과적일 수 있는 희토 복합비료 제조에 필요한 기술을 개발하였다. 이렇게 만들어지는 비료는 희토 자체가 천연 물질이며, 희토는 중금속을 중화하여 불활성화하는 기능이 있고,

화학 비료나 농약 사용을 감소시킬 수 있기 때문에 스스로 친환경 신소재 비료이다. 이러한 개발연구 결과는 앞으로 산업화하는 과정에서 활용될 것이며, 산업체에 필요한 기술이 이전될 것이다. 개발 연구 중 밝혀진 새로운 사실과 결과는 학술논문으로 발표될 것이다.

동물분야 연구에 있어서도 가축생산에 있어 여러 경제적 형질을 개선할 수 있는 사시들이 확인되었다. 초고농도의 희토 급여를 통해 과다투여에 대한 안전성을 확인하였고, 희토의 병원성 세균에 대한 증식억제 및 살균 기능을 확인하였다. 희토는 육

계의 성장을 촉진하고 폐사를 줄이며, 종계의 폐사도 줄이며 종란 생산을 획기적으로 증가시켰다. 자돈, 육성돈, 비육돈 등 모든 단계의 양돈에 있어 설사와 폐사 감소 그리고 성장촉진 효과등을 관찰 하였다. 식물에서와 마찬가지로 이러한 회토의 기능성을 활용하는 복합회토 사료 첨가제를 개발하기 위하여 가축이나 가금의 회토 급여 적정 수준을 파악함과 더불어 회토의 기능성을 보다 많이 출현하게 하는 기술적인 면에서의 노하우도 개발하였다. 이제까지의 총체적 경험을 바탕으로 복합회토 사료첨가제를 제조할 수 있게 되었다. 이러한 회토의 사료이용을 위한 기술들은 개선을 지속해 나가되 우선 산업화로 연결시키도록 할 것이다. 새로이 밝혀진 사실이나 결과는 학술 논문으로 발표될 것이다.

제 2 절 추가 연구의 필요성

본 연구를 진행한 지난 3년간 되도록 많은 진전을 이룩하고자 많은 노력을 하여왔다.

그리고 이에 대한 성과도 있었다고 본다. 현재까지 개발연구된 결과를 활용하는 기술을 그대로 적용하는 것도 한 방편이나, 기술적인 면에서도 효율성을 높이기 위한 추가적 노력이 더 있어야할 것으로 생각되며, 경제적인 면에서도 보다 저렴하게 회토의 기능성을 활용할 수 있는 노력이 더 있어야 한다고 본다. 이런 면에서 특히 회토의 chelation 기술이 더욱 개발되어야 하며 chelating agent가 다양하게 검토되어야 하겠다. 사료 첨가제로서는 회토가 현 사료법에 사료원료나 배합사료 첨가물로 포함되어 있지 않기 때문에 이에 대한 대책을 화급히 강구하여야 하며, 이를 위해서도 회토의 chelating 기술의 개발은 그 필요성이 더한데, 가축을 위해서는 효모나 미생물에 착화시키는 기술개발이 효과적일 것이다.

제 6 장 참고문헌

제 1 절 : 혼합 희토(RE) 사료 첨가제 개발

- Anghileri, L. J.(1987) Anticancer Res. 7, 1205-1208.
- Bruce, D. W., B. E. Hierbtike., K. P. Dubois. 1963. Toxicol. Apple. Pharmacol. 5, 750-759.
- Ceng, H. and H. Yu. 1988. Effects of NL-1 on the growth of chickens and physiological and biochemical indices. Rare Metals (Special issue on rare earth in agriculture) pp. 6.
- Chen, H. F., H. M. Yu., H. X. Zeng., W. L. Shi., Y. J. Ji. 1995. Influence of rare earth-Vitamin C compounds on the growth of livestock and poultry. J. Alloy and compounds. 225, 626-628.
- Chen, Y. T. 1991. Effect of feeding rare earths on the performance of market pigeons. Poultry Husbandry and Disease Control 5: 8-9, 40.
- Cheng, Q., J. Gao, B. Jing, D. Yuan, and X. Pong. 1994. The apparant digestibility of rare earth elements and their effect on crude protein and fat digestibility in pigs. *Jiangsu Agriculture Science (Chinese)* 1: 59-61.
- Cochran, K. W., J. Doull., M. Mazur., K. P. Dubois. 1950. Arch. Ind. Hyg. Occup. Med. 1, 637-650
- DOC, D. C.(1992) Ducks gain more dody weight through the intake of rare earths. Nei Monggol Animal Husbandry 2: 31
- Dong, X., S. Zhu, X. Yan, Z. Wang and Y, Wang. 1985. Subchronic toxicity experiment of rare earth nitrate on rats. Journal of the Chinese Rare Earth Society (Special issue). 71-73.

- Durbin, P. W. 1962. Distribution of the transuranic elements in mammals. *Hlth. Phys.* 8:665-671.
- EDPST, 1987; Editorial Department of Poultry Science and Technology, Yangzhou, China
- EDPST, 1993; Editorial Department of Poultry Science and Technology, Yangzhou, China
- Evans, C. H. 1990. *Biochemistry of the Lanthanides*. Plenum Press, New York and London.
- Fiachowsky, G. and J. Kamphues. 1999. Use of antimicrobial feed additives in animal nutrition. *Vitamins and Additives in the Nutrition of Man and Animal (7th Symposium)*, Jena, Germany 62-73.
- Freitag, M., H. U. Hensche, H. Schulte-Sienbeck and B. Reichelt. 1999. *Feed Magazine* 2, 49-57.
- Gschneidner, K. A. 1979 *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths* 4: 535
- Guo, W. H., J. H. Zhou, C. L. Yang, and L. Zhou. 1991. Effect of feeding rare earths on the body weight gain of broilers. *Nei Monggol Animal Husbandry Science* 2: 9-11
- Guo, Y. M., N. Yang., J. Xu., Y. Sun., G. L. Wu. 1993. Effect of feeding rare earths organic concentrate to layers. *China Feed* 4: 27-28
- Ha, Y. K. and Y. K. Ha. 1999. Chemical of Lanthanide elements, pp. 7-9, 29-31(FURUNKIL publishing co. Ltd.)
- Haley, T. 1965. Pharmacology and Toxicology of the Rare Earth elements. *J. Pharm. sci.*, 54(5), pp. 663-670.

- Hamilton, J. G. 1948. The metabolic properties of the fission products and actinide elements. *Rev. Mod.* 20:718-728.
- Hanioka, N., H. Jinno, H. Sekita, T. Toyooka, M. Ando, S. Kojima, and M. Takeda. 1994. Metabolism of calcium and phosphorus in rats after continuous oral administration of lanthanum. *Jap. J. Toxicol. Environm. Health* 40: 26-33.
- He, M. L., J. Chang, R. Arnold, R. Henkelmann, A. Süss and W. A. Rambeck. 1999. Studies on the effect of rare earth elements in piglets. In: (eds), *Proc. 19. Arbeitstagung, Jena, Germany. Verlag Harald Schubert, Leipzig.* 436-443.
- He, M. L. and W. A. Rambeck. 2000. Rare earth elements – A New generation of growth promoters for pig?. *Arch. Anim. Nutr.* 53: 323-334.
- He, M. L., D. Ranz, and W. A. Rambeck. 2001. Study on the Performance Enhancing Effect of Rare Earth Elements in Growing and Fattening Pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* August, 85 (7-8) 263.
- He, M. L., Y. Z. Wang, Z. R. Xu, M. L. Chen and W. A. Rambeck. 2003. Effect of dietary rare earth elements on growth performance and blood parameters of rats. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 87: 229-235
- He, R. and Z. Xia, 1998. Effects of rare earth elements on growing and fattening of pigs. *Guangxi Agric. Sci.* (Chinese) 5: 243-245.
- Hirano, S., K. T. Suzuki. 1996. *Environ. Health Perspect.* 104(suppl 1), 85-95.
- Hur, S. N. and C. Y. Li. 2003. Effects of Rare Earth and Nitrogen Application on the Growth and Nitrate Content of Chicory. *J. Korean Grass J. Sci.* 23(1) : 43~48.
- Hur, S. N. and C. Y. Li., H. S. Park., K. H. Cho., W. Y. Park., J. K. Chung. 2003. Effects of Rare Earth on the Growth, Nitrate Accumulation and Insecticide Remained in Spinach and Lettuce. *Bulletin of the Agricultural College, Chonbuk National University.* Volume 34 : 143~149.

- Hur, S. N., C. Y. Li, H. S. Park, S. O. Kim, C. S. Park and J. W. Ryou. 2003. Effects of Rare Earth and Nitrogen Application on the Growth and Nitrate Content of Chinese Cabbage. Bulletin of the Agricultural College, Chonbuk National University 34 : 136~142.
- Ji. Y. J. 1990. proc. 2nd Nat. Conf. Chinese Rare Earth Society, Beijing. 5: 233.
- Ji. Y. J., J. L. Li, L. U. Li and Z. P. Huang. 1988. 1st Int. Conf. on the Metallurgy and Materials Science of W, Ti, RE and Sb, Changsha. 1296.
- Kamphues, J. 1999. Feed Magazine 7-8: 268-270.
- Kamphues, J. 1999. Feed Magazine 9: 312-321.
- Kehe, X., X. Tingxian., Z. Jiangwi., D. Shilin 1992. Effects of rare earth nitrate on internal organs and Mineral elements in the serum of broiler chickens. A-A J. Anim. Sci. Vol 5(No.1) 63-67.
- Ketelle, B. H. and G. E. Boyd.(1947) J. Am. Chem. Soc., 69, 2800.
- Kramsch D. M., A. I. Aspen., C. S. Apstein.(1980) Suppression of experimental atherosclerosis by the Ca^{++} -antagonist lanthanum. Possible role of calcium in atherogenesis. J. Clin. Invest. 65(5), 967-981.
- Li, D., W. She, L. Gong, W. Yang and S. Yang. 1992. Effects of rare earth elements on the growth and nitrogen balance of growing pigs. Feed BoLan (Chinese), 4: 3-4.
- Liu Q. D., J. Zhang, and H. Y. Cheng. 1997. Effect of Lanthanum on Growth and Extracellular Enzyme Activity of *Erwinia Chrysanthemi* in vitro. The Chinese Rare Earth Society 16:262-266
- Liu S. M., S. Z. Liang. 1998. Effects of La^{3+} on Culture and Contents of Amino Acids of *Nostoc Commune Flagelliforme* Cells. The Chinese Rare Earth Society 17: 60-64

- Liu, S. Q. 1993. Effect of feeding rare earths on the performance of layers. *Chinese Poultry* 3: 20.
- Liu, Y., Z. Y. Chen, and Y. X. Wang. 2001. Distribution and Accumulation of Neodymium in Body of Mice and Effect on Progesterone Secretion. *Journal of The Chinese Rare Earth Society*, Oct. 19 (5)
- Lu, K. W. and W. Z. Yang. 1996. Effects of rare earth elements on availability of energy and amino acids in broiler. *Acta. Agric. Shanghai (Chinese)*, 12, 78-82.
- Moor, P. P., A. Evenson, T. D. Luchery, E. McCoy, C. A. Elvehjem, and E. B. Harz. 1946. Use of sulfasuxidine, Streptomycin in nutritional studies with the chick *J. Biol. Chem.* 166 : 437.
- Muroma, A. 1958. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.* 36(Suppl. 6):1-54.
- Nakamura, Y., Y. Tsumura Hasegawa, Y. Tonogai, M. Kanamoto, N. Tsuboi, K. Murakami, and Y. Ito. 1991a. Studies on the biological effects of rare earth elements. II. Distribution and the histological effects of Dy, Eu, Yb and Y in the rat after intravenous administration. *Eisei Kagaku (Japanese)* 37: 489-496.
- Nayler, W. G. 1975. Some factors Which influence the amount of calcium stored at the superficially located sites in cardiac muscle cells. *Recent Adv. Stud. Cardiac Struct. Metab.* 5: 73-79.
- Ni, J. Z. 1995. *Bio-inorganic Chemistry of Rare Earth Elements*, Science Press, Beijing, p. 13 (in Chinese).
- Nie, Y. X. 1994. Studies on the biological effects of rare earths elements and compounds. *National Rare Earths Symposium Papers*, Beijing, China.
- Ning, J. 1988. Rare earth applicated in agriculture. *Hunan Science and Technology press* 1-3.
- Rambeck, W. A., M. L. He, J. Chang, R. Arnold, R. Henkelmann and A. Süss.

1999. Possible role of rare earth elements as growth promoters. In: SCHUBERT, R.; FLACHOWSKY, G.; BITSCH, R.; JAHREIS, G. (eds), Vitamins and Additives in the Nutrition of Man and Animal (7th Symposium), Jena, Germany. Friedrich-Schiller Universität, Jena. 311-317.
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT User's Guide. Release 6.12. Edition. SAS, Institute Inc., Cary, NC USA.
- Schuller, S., C. Borger, M. L. He, R. Henkelmann, A. Jadamus, O. Simon, and W. A. Rambeck. 2002. The effectiveness of rare earth elements as a possible alternative growth promoter for pigs and poultry. Berl Munch Tierarztl Wochenschr, January 1, 2002; 115(1-2) : 16~23.
- Shang, L. and X. Lui. 1997. Rare earths as a feed additive for poultry. World's Poultry Science Journal 53: 369-379.
- Shang, L. and X. Y. Liu. 1991. A new kind of feed additive - rare earths. Feedstuffs and Animal Husbandry 3: 28-29
- Shen, Q. Y., J. W. ZHANG, and C. Q. Wang. 1991. Effects of rare earths additives in diets of domestic animals including poultry. Feed Industry 12: 20-22
- Smith, H. W. 1962. The effects of the use of antibiotics on the emergence of antibiotic resistant disease producing organisms in animals. Antibiotics in Agriculture. Proceedings of the University of Nottingham Ninth Easter School in Agriculture Science. Butterworth, London. 374.
- Smith, H. W. and J. F. Tucker. 1975. The effect of feeding diets containing permitted antibiotics on the faecal excretion of Salmonella typhimurium by experimentally infected chickens. J. Hyg. (Lond) 75: 293 - 301.
- Smith, J. B., and L. Smith. 1984. Biosci. Rep. 4, 777-782.
- Spedding, F. H. 1947. 69, 2812

SPSS, 2002: SPSS 11.5 for Windows. SPSS® Inc.

Takada, J., T. Sumino, K. Nishimura, Y. Tanaka, K. Kuwamoto and M. Akaboshi. 1999. Unusual interrelationship between rare earth element and calcium contents in fern leaves. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 239: 609–612.

Tang, R. H. 1985. *Biological Trace Element Research* 7: 95

The research group of exploiting and utilizing. 1988. A research on exploiting and utilizing the resources of feed for livestock and poultry in Taoyuan County. *Research of Agricultural Modernization.* 4:45–46.

Vincke, E. and H. A. Oelkers. 1937. *Arch. Exptl. Pathol Pharmacol.* 187, 594

Vincke, E., *Z. Naturforsch.* 1946, *Arch. Exptl. Pathol pharmacol*, 1, 458

Wan, Q., J. Tian., H. Peng., X. Zhang., D. Lee., C. Woo., J. Ryu. and C. Park. 1998. The effect of rare earth on increasing yield, improving quality and reducing agricultural chemical remained in crop production. Second International Symposium on Trace Elements and Food Chain, Wuhan, china, P. 25.

Wan, Q., W. Q. Jiang, L. G. Luo, S. Liu, J. B. Ning, and F. Z. Yuan. 1997. Studies of Rare Earth Additive for Pig Feed. *Rare Earths* 18 (4) : 38~42.

Wang, D. Q. and M. D. Li. 1993. Effects of using rare earths in production of meat type ducks. *Modern Domestic Animal and Poultry Raising* 9:16.

Wang, Q. 1989. Study of effects of rare earth added in the diet on broiler chickens. *Hunan Agricultural Science* 1: 28.

Wang, Q. Y. and S. Y. Niu. 1990. Report of adding rare earths to broiler diets. *Feed Industry* 11: 9–10

Wang, Q. Y. 1989. Effects of adding rare earths to broiler diets. *nan Agricultural*

Science 1: 28

- Wang, Q. Y., W. J. Chen, S. Y. Niu, Y. Z. Zhao, and J. L. Zhang. 1991. Effects of adding rare earths to layer diets. *Feed Industry* 12 : 23~25.
- Xie, H. G., G. E. ZHANG, and T. JING. 1991. A study of effects of adding rare earths compounds to layer diets. *Feed Industry* 12: 23-25
- Xie, K., Y. Xing, J. Zhang, H. Zhong, N. He, and S. Deng. 1991a. Effects of rare earth elements on growth of broilers. *Res. Agricult. Mod. (Chinese)* 12: 50-54.
- Yang, S., H. Yao, X. Wang, X. Dong and S. Zhu. 1985. Study on the pathological tissue for the subchronic toxicity of rare earth nitrate.
- Yang, Z. Q. and M. X. Dong. 1991. Using rare earths in medicine and animal husbandry. *Journal of Chinese Veterinary Medicine* 2 : 44~46.
- Yang, Z. Q., K. R. Zhang, P.C. Zhang, S. Y. Mao and W. H. Sun. 1990. Effects of feeding rare earths mixtures on the performance of broilers. *Feed Industry* 11:7-8.
- Yang, Z. Q., M. X. DONG, S. Y. MAO, K. R. ZHANG, and P. C. Zhang. 1992. A study of effects of rare earths on activity of glutathione peroxidase (GSH0px) in broilers. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary Medicine* 5: 8-9
- Yu, D. J. 1992 Applied studies on the feeding of rare earths to layers. *National Rare Earths Symposium Papers*. Beijing, China
- Yuan, Q. L. and Li, J. X. 1993. Effects of rare earths on sensory quality of broilers. *Theses collection for the 6th china poultry symposium*, Beihai, Guangxi, China 295-299.
- Zhang, F. S., D. H. Chen and Z. J. Liu. 1993. Preliminary experiment report on feeding rare earths to layers. *Hei Longjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine* 1: 11-12.

- Zhang, G. L., Y. Q. Tang, S. A. Xie, H. G. Xie, and T. J. Zhen. 1989. Effects of feeding rare earths additives on the performance of layers. Theses Collection for the 4th China Poultry Symposium, Jinan, Shandong, China 59-61.
- Zhang, J. W., Q. Y. Shen, and C. Q. Wang. 1992. Effects of adding rare earths to layer diets. Gansu Animal Husbandry and Veterinary Medicine 1 : 6~8.
- Zhang, Y. H. 1988. Recent advances in studies of rare earths and titanium (Ti) as feed additives. Feed Research 6: 29-31
- Zheng, Y. G., M. D. SE. and Q. L. Yuan. 1990. Effects of rare earths elements on t main nutrient components and residual radioactivity of broiler meat. Journal of Nei Monggol Agricultural and Animal Husbandry College 11: 142-145
- Zhu, X., D. Li, W. Yand, C. Xiao and H. Chen. 1994. Effects of rare earth elements on the growth and nitrogen balance of piglets. Feed Ind. (Chinese) 15: 23-25.
- 程驊, 沈黃聰, 張強, 魏樹祿, 李榮昌, 王夔. 1999. 稀土離子促進胰島素經 大鼠肺部吸收及降血糖的效應, 北京醫科大學藥學院. 科學通報. 44 : 1~22.
- 陳立新. 1995. 稀土元素在家禽飼料中的應用. [J]. 中國飼料, 11: 26~27.
- 陳樵, 金邦荃. 1993. 三種營養水平日糧中添加稀土對生長肥育豬生長性能的影響. 江蘇農業科學. 3 : 56~58.
- 陳惠芳, 熊炳昆. 新型稀土有機化合物RCT-3在豬雞養殖業中應用. 1994. [J].飼料研究, 8 : 4~5.
- 儲鐘稀, 牟夢華, 張和民, 高德祿, 吳兆明., 1994; 氯化銻對螺旋藻光合放氧, 色素和蛋白質形成的影響. 中國稀土學報 12(4): 344-347
- 賈秀馥., 1995; 中華物理醫學雜誌. Vol 2
- 竇學宏, 關樹黔. 2003. 稀土抗旱保水材料. 中國稀土在線.

- 董倍, 吳兆明, 湯錫珂. 1993. 氯化鏷對缺鈣黃瓜根系生理的影響. 中國稀土 學報. 11 (1) : 65~68.
- 郭戰勇, 張宏江, 張宇生. 1997. 外源稀土進入動物體內的途徑, 分布, 代謝及毒性. 稀土 (中國) 18(1):61-72
- 桂容, 玉蘭. 1995. 稀土對阿爾卑斯白絨山羊瘤胃發酵, 消化代謝及其生產性能的影響. [J]. 畜牧獸醫學報, 26 (6) : 515~521.
- 何世龍, 吳博, 畢江濤. 1991. 怎樣施用稀土微肥. 寧夏農林科技.
- 胡忠澤. 1999. 稀土對生長豬日糧養分消化性的影響. 飼料博覽. 11 (1)
- 姜學鋒, 陳國昌, 郭玉蘭, 崔風書. 1993. 稀土在肥育豬和繁殖母豬生產上的應用與研究. 飼料博覽, 10-11 (6) : 10~11.
- 紀云晶. 1983. 硝酸稀土的急性毒性研究. Journal of The Chinese Rare Earth Society. 8302 : 60~64.
- 紀云晶, 王宗惠, 栗建林. 1994. 稀土與腫瘤的探討. 衛生毒理雜誌, 3(3): 164.
- 紀云晶. 2003. 稀土與人體健康, 稀土的基礎知識與應用, 中國稀土在線. 3~5.
- 紀云晶, 栗建林. 2000. 我國稀土某些生物學的效應的研究概況. 衛生毒理學雜誌 14 (1) : 23~28.
- 劉祥銀, 李躍. 1995. CA-稀土在畜禽飼養中的研究. [J]. 中國飼料, 11: 19~20.
- 劉慶都, 章健, 承河元, 張自立, 高崇仙, 泰勝惠 2000. 鏷對三种植物病原性真菌生長的影響 稀土(中國) 21(3):46-49
- 劉秀清. 1999. 稀土淺說 著書
- 寧加賁, 任勝云, 郭志強, 穆傳杰, 曹建功, 戚志仁, 陳學斌, 李光明, 肖蘇林, 劉穗, 劉翠娥, 張秀菊. 1988. 稀土在農牧養殖業上的應用. 湖南科學技術 出版社, 中國. 9~33.

- 宋振東, 江振瑩. 1992. 稀土元素對鯉魚種生長及代謝的影響 [J]. 稀土, 13 (4) : 60~70.
- 沈啓云, 張建文. 1991. 畜禽日糧中添加稀土的效果. [J]. 飼料工業, 15 (11) : 23~25.
- 万强, 田際榕, 彭海華, 張秀菊. 1998. 稀土提高產品產量, 改善品質和降低農藥殘留量
和降低農藥殘留量效果的研究. 稀土(中國)19(5):49-55
- 万强, 彭先球, 羅連光. 1992. 稀土元素對鯉魚生長代謝的影響. 稀土(中國). 60- 62
- 王永剛, 張宇生, 張宏江. 2000. 稀土保水劑在新疆楊育苗上的應用研究. 稀土 (中國)
21(5):38-40
- 吳德. 2003. 稀土元素飼料添加劑的研究進展. 四川農業大學動物營養研究所. 四川雅安,
中國. 1~4.
- 汪水平, 田淵, 王文娟. 2003. 稀土元素在畜產業上的研究與應用. 中國牧業 網,
2003-05-06.
- 韋頌堯, 吳林舅, 梁亮, 謝輝. 1996. 氨基酸稀土螯合物飼喂豬試驗. 廣西農業科學, 5 :
254~255.
- 楊志强. 1992. 稀土對肉雞血中微量元素含量影響的研究. [J]. 稀土, 13 (4) : 20~23
- 熊炳昆, 陳蓬, 郭伯生, 鄭佛, 王鋒. 2000. 稀土農林研究與應用. 冶金工業出版社. 北京.
256-258
- 元英進, 葛志强, 王體東, 馬振毅, 胡宗定. 2001. 鉀誘導懸浮培養的東北紅豆杉細胞發生
凋亡. 中國稀土學報 19(4):357-361
- 張宏江, 張宇生, 特力更. 1998. 稀土多元复合肥對甜菜增產增糖效果研究. 稀土. 19 (2) :
41~43.
- 張宏江, 包玉民, 張宇生., 2000; 稀土在農牧養殖業中的利用. 包頭市金稀土生物應用有限
公司, pp. 35-80

- 張宏江, 張宇生, 郝星, 黃洁, 高天云., 1995; 施用稀土多元複合肥對減少蔬菜中硝酸鹽積累的研究. 稀土(中國) 16(3):42-44
- 張國恩, 唐永慶. 1991. 鷄飼料中添加稀土化合物效果研究. [J]. 稀土, 12 (2) : 52~55.
- 張愛民, 王春芬, 閔玉華, 田俊華. 1997. 複合稀土促長劑飼喂肉猪效果. 飼料工業, 18 (3) : 38~39.
- 章盤訓. 1991. 稀土作為飼料添加劑效益高. [J]. 食品飼料添加劑信息. (3)
- 竺偉民. 1998. 鐳(La)積累對黃褐土中主要微生物類群數量的影響. 中國稀土學報, 9801-61.
- 章健, 劉慶都, 承河元. 1999. 鐳對青枯假單細胞菌生長及若干生化性狀的影響. 稀土(中國) 20(1):75-78
- 包玉敏. 2001. 동물사육을 위한 희토의 연구 및 응용. 稀土鑛物の 농업적 이용”에 관한 국제 심포지엄. 전북대학교 농업과학기술연구소, pp : 9~13.
- 包玉敏, 劉化民. 1991. 稀土元素對魚類磷元素吸收的影響. [J], 稀土, 4: 55~56.
- 張宇生. 2001. 농작물 생산을 위한 희토의 연구 및 응용. “稀土鑛物の 농업적 이용”에 관한 국제 심포지엄. 전북대학교 농업과학기술연구소, 5~8.
- 張宏江. 2001. 현대산업의 신소재 “寶物倉庫”희토. 稀土鑛物の 농업적 이용”에 관한 국제 심포지엄. 전북대학교 농업과학기술연구소, 1~4.
- 包玉民. 2001. 動物飼育을 위한 稀土의 研究 및 應用. “稀土鑛物の 農業的 利用”에 관한 국제심포지엄. 전북대학교 농업과학기술연구소. 10.
- 김정. 2004. 仔豚에 대한 稀土급여 효과와 肥育豚의 屠體性狀에 미치는 影響. 전북대학교 석사 학위 논문
- 김준수, 윤호성, 이진영, 오종기. 2001. 희토류 소재산업의 연구동향 및 전망. 희토류 소재개발 및 응용 심포지움. 1-17.

박귀룡. 2004. 稀土의 給與가 肉鷄의 生産性 및 혈액 性狀에 미치는 影響. 전북대학교 석사학위논문.

송태화. 2004. 稀土의 畵에 대한 給與效果와 微生物 生長에 미치는 影響. 전북대학교 석사학위논문

하영구, 하윤경. 1999. 란탄족 원소들의 화학 (푸른길 출판).

한국돼지사양표준. 2002. 농림부-농촌진흥청, 축산기술연구소.

함숙경. 2003. 희토(稀土)가 양계의 생산성에 미치는 영향. 전북대학교 석사 학위논문.

제 2 절 : Organic acid-RE chelate 제제 개발

X. Cao, Y. Chen, X. Wang, X. Deng. 2001. Effects of redox potential and pH value on the release of rare earth elements from soil. Chemosphere 44:655-661

G. Zhimang, W. Xiaorong, G. Xueyuan, C. Jing, W. Liansheng, D. Lemei, C. Yijun. 2001. Effects of fulvic acid on the bioavailability of rare earth elements and GOT enzyme activity in wheat. Chemosphere. 44: 545-551

Z. Wang, X.Q. Shan, S. Zhang. 2001. Comparison of speciation and bioavailability of rare earth elements between wet rhizosphere soil and air-dried bulk soil. Analytica Chimica Acta. 441:147-156

W. Zhenggui, Y. Ming, Z. Xun, H. Fashui, L. Bing, T. Ye, Z. Guiwen, Y. Chunhua. 2001. Rare earth elements in naturally grown fern *Dicranopteris linearis* in relation to their variation in soils in South-Jiangxi region. Environmental Pollution 114:345-355.

M. Astrom. 2001. Abundance and fractionation patterns of rare earth elements in streams affected by acid sulfate soils. Chemical Geology 175:249-258

- C.X. Wang, W. Zhu, An, Peng, R. Guichreit. 2001. Comparative studies on the concentration of rare earth elements and heavy metals in the atmospheric particulate matter in Beijing, China, and in Delft, the Netherlands. *Environmental International* 26:309-313
- S. Zhang, X.Q. Shan. 2000. Speciation of rare earth elements in soil and accumulation by wheat with rare earth fertilizer application. *Environmental Pollution*. 112:395-405
- I.E. De Vito, A.N. Masi, R.A. Olsina. 1999. Determination of trace rare earth elements by X-ray fluorescence spectrometry after preconcentration on a new chelating resin loaded with thorin. *Talanta* 49:929-935
- F. Li, X. Shan, T. Zhang. S. Zhang. 1998. Evaluation of plant availability of rare earth elements in soils by chemical fractionation and multiple regression analysis. *Environmental Pollution*. 102:269-277
- Y. Lihong, W.Xiaorong, S. Hao. Z. Haishi. 1999. The effect of EDTA on rare earth elements bioavailability in soil ecosystem. *Chemosphere* 38(12):2825-2833
- C. Chen, P. Zhang, Z. Chai. 2001. Distribution of some rare earth elements and their binding species with protein in human liver studied by instrumental neutron activation analysis combined with biochemical techniques. *Analytica Chimica Acta* 439:19-27
- Z. Gu, X. Wang, X. Gu, J. Cheng, L. Wang, L. Dai, M. Cao. 2001. Determination of stability constants for rare earth elements and fulvic acids extracted from different soils. *Talanta* 53:1163-1170
- L. Haichen, L. Ying, Z. Zhanxia. 1997. Determination of ultra-trace rare earth elements in chondritic meteorites by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B* 53:1399-1404
- Y. Iida, T. Ohnuki, H. Isobe, N. Yanase, K. Sekine, H. Yoshida, Y. Yusa. 1998. *Hydrothermal of Contaminant Hydrology* 35:191-199

- S.P. Verma, R. Garcia, E. Santoyo, A. Aparicio. 2000. Improved capillary electrophoresis method for measuring rare earth elements in synthetic geochemical standards. *Journal of Chromatography A*. 884:317-328
- W. Zhu, M. Kennedy, E.W.B. de Leer, H. Zhou, G.J.F.R. Alaerts. 1997. Distribution and modelling of rare earth elements in Chinese river sediments. *The Science of the Total Environment*. 204:233-243
- S. Yoshida, Y. Muramatsu, K. Tagami, and S. Uchida. 1998. Concentrations of lanthanide elements, Th, and U in 77 Japanese surface soils. *Environmental International*. 24(3):275-286
- J.S. Preston. 1996. The recovery of rare earth oxides from a phosphoric acid byproduct. Part 4. The preparation of magnet-grade neodymium oxide from the light rare earth fraction. *Hydrometallurgy*. 42:151-167
- G.V. Ramanaiah. 1998. Determination of Y, Sc, and other rare earth elements in uranium rich geological materials by ICP-AES. *Talanta* 46:533-540
- H. Chua. 1998. Bio-accumulation of environmental residues of rare earth elements in aquatic flora *Eichhornia crassipes* (Mart) solms in Gtuangdong Province of China. *The Science of the Total Environment*. 214:798-85
- L. Minarik, A. Zigova, J. Bendl, P. Skrivan, M. Stastny. 1998. The behavior of rare earth elements and Y during the rock weathering and soil formation in the Ricany granite massif, Central Bohemia. *The Science of the Total Environment*. 215:101-111
- J.L.M. de Boer, W. Verweij, T. van der Velde-Koertsw and W. Mennes. 1996. Levels of rare elements in Dutch drinking water and its source. Determination by inductively coupled plasma mass spectrometry and toxicological implications. A pilot study. *Water Research* 30(1):190-198
- M. Land, B. Ohlander, J. Ingri, J. Thunberg. 1999. Solid speciation and

- fractionation of rare earth elements in a spodosol profile from northern Sweden as revealed by sequential extraction. *Chemical Geology* 160:121–138
- H. Vital, K. Stattegger. 2000. Major and trace elements of stream sediments from the lowermost Amazon River. *Chemical Geology* 168:151–168
- L.M. Dai, D.V. Minh, P.V. Hai. 2000. Solvent extraction of lanthanides with triisooamylphosphate and di-(2-ethylhexyl) phosphoric acid from trichloroacetic acid and nitric acid solutions. *Journal of Alloys and Compounds*. 311:46–52
- G. Jin, J. Kan, Y. Zhu, N. Lei, B. Chen. 2000. Spectrophotometric determination of the total amount of rare earth after solid-liquid extractive preconcentration with polyvinyl alcohol condensed p-formylchlorophosphoazo. *Microchemical Journal* 64:111–118
- K. Egashira, K. Fujii, S. Yamasaki, P. Virakornphanich. 1997. Rare earth element and clay minerals of paddy soils from the central region of the Mekong river, Laos. *Geoderma* 78:237–249
- N. M. P. Moraes, H.M. Shihomatsu, L.B. Zinner, P. Miranda Jr. 1997. High-performance liquid chromatography determination of rare earth elements in solutions from solvent extraction process. *Journal of Alloys and Compounds* 249:133–135
- S. Hao, W. Xiaorong, H. Zhaozhe, W. Chongua, W. Liansheng. 1996. Bioconcentration and elimination of five light rare earth elements in Carp (*Cyprinus carpio* L.). *Chemosphere* 33(8):1475–1483
- M. C. Bruzzoniti, E. Mentasti, C. Sarzanini, M. Braglia, G. Cocito, J. Kraus. 1996. Determination of rare earth elements by ion chromatography separation procedure optimization. *Analytica Chimica Acta* 322:49–54
- R. D. Bautista, A.I. Jimenez, F. Jimenez, J.J. Arias. 1997. Simultaneous spectrofluorimetric determination of europium, dysprosium, gadolinium and terbium using chemometric methods. *Talanta* 43:421–429

- Y. W. He, C.S. Loh. 2000. Cerium and lanthanum promote floral initiation and reproductive growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Science* 159:117-124
- M. J. Barry, B. J. Meehan. 2000. The acute and chronic toxicity of lanthanum to *Daphnia carinata*. *Chemosphere* 41:1669-1674
- S. X. Zhang, S. Murachi, T. Imasaka, M. Watanabe. Determination of rare earth impurities in ultrapure europium oxide by inductively-coupled plasma mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*. 314:193-201
- K. S. Song, H.K. Cha, J.M. Lee, H.K. Park, S.C. Lee. 2001. Analysis of rare earth elements in soil sample by using laser-ablation ion trap mass spectrometry. *Microchemical Journal* 68:265-271
- O. Vicente, A. Padro, L. Martinez, R. Olsina, E. Marchevsky. 1998. Determination of some rare earth elements in seawater by inductively coupled plasma spectrometry using flow injection preconcentration. *Spectrochimica Acta Part B* 53:1281-1287
- W. R. Pdereira, J.E.S. Sarkis, C. Rodrigues, I.A. Tomiyoshi, C.A. da Silva Queiroz, A. Abrao. 2001. Determination of trace amounts of rare earth elements in highly pure praseodymium oxide by double focusing inductively coupled plasma mass spectrometry and high performance liquid chromatography. *Journal of Alloys and Compounds*. 323-324:49-52

제 3 절 : 사료작물용 희토 복합비료 개발

- A.O.A.C. 1991. Official method of analysis. Washington D. C.
- Aron, D. I. 1949. Cooper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol*. 24:1-15.

- Bruinsma, J. 1961. A comment on the spectrophotometric determination of chlorophyll. *Biochim. Biophys. Acta* 52:576-578.
- Jakrlova, J. 1967. Plant production, chlorophyll content and its vertical distribution in inundated meadows. *Photosynthetica* 1:199-205.
- Okubo, T., S. Kawanabe, and M. Hoshino. 1975. Chlorophyll amount for analysis of matter production forage crops. *J. Japanese Grassland Soc.* 21:136-145.
- Paul, J. L. and R. M. Carlson. 1968. Nitrate determination in plant extracts by the nitrate electrode. *J. Agr. Food Chem.* 16(5):766-769.
- Pilat, A. 1967. Chlorophyll content and dry matter production in five meadow communities. *Photosynthetica* 1:253-257.
- 儲鐘稀, 牟夢華, 張和民, 高德祿, 吳兆明. 1994. 氯化鉀對螺旋藻光合放氧, 色素和蛋白質形成的影響. *中國稀土學報* 12(4):344~347.
- 寧加賁, 任勝云, 郭志強, 穆傳杰, 曹建功, 戚志仁, 陳學斌, 李光明, 肖蘇林, 劉穗, 劉翠娥, 張秀菊. 1988. 稀土在農業上應用. 湖南科學技術出版社, 中國.
- 熊炳昆, 陳蓬, 郭伯生, 鄭佛, 王鋒. 2000. 稀土農林研究與應用. 冶金工業出版社, 北京. pp256~258.
- 張宏江, 張宇生, 郝星, 黃洁, 高天云. 1995. 施用稀土多元複合肥對減少蔬菜中硝酸鹽積累的研究. *稀土(中國)* 16(3):42~44.
- 張宇生, 張宏江, 特力更. 1998. 稀土多元複合肥對甜菜增產增糖效應研究. *稀土(中國)* 19(2):41~43.
- 張宏江, 包玉敏, 張宇生. 2000. 稀土在農牧養殖業中的應用. 包斗市金稀土生物應用有限公司 pp35~80.
- 강태중, 허삼남. 1991. 우분과 질산태비료 추비수준에 따른 Italian ryegrass의 질산태 질소 축적. 축산개발보고. 전북대 4:1-9.

- 만강, 이동욱. 2000. 희토시용이 농산물의 생산량 제고와 품질개선 및 농약잔류량의 강하에 미치는 영향. “신소재 稀土鑛物(RE)의 농업적 이용”에 관한 국제 심포지엄. 전북대 농과연, pp 11~21.
- 박장현. 1998. 질소비료 시용에 따른 두물차의 수량 및 품질. 1988년도 춘계총회 및 학술대회 초록집. 전남농촌진흥원 보성차시험장.
- 손상목. 2000. 채소의 질산염 감량 기술 개발. 농림부 농림기술관리센터 연구성과 보고서.
- 이준석, 이종형, 조광래. 1999. 전작물 재배기술 개발연구:생두용 강낭콩. 경기도 농업기술원 시험연구보고서 99-100.
- 장우생. 2001. 농작물 생산을 위한 희토의 연구 및 응용. “稀土鑛物の 농업적 이용”에 관한 국제 심포지엄. 전북대 농과연, pp 5~8.
- 허삼남. 1992. 사료작물의 질산태질소 축적에 관한 연구. 한초지 12(4):239-245.
- 허삼남, D. Scott. 1997. Effect of growth environment on the root development of pasture species. I. Development of hydroponic technique for studies on the root characteristics. J. Korean Grassl. Sci. 17(4):345-350.
- 허삼남, C. J. Nelson, P. R. Beuselinck, and J. H. Coutts. 1994. Seedling vigor of birdsfoot trefoil entries differing in seed size. J. Korean Grassl. Sci. 14(3): 186-194.
- 허삼남, C. J. Nelson, P. R. Beuselinck, and J. H. Coutts. 1994. Seedling vigor of two Lotus entries and their reciprocal F1 hybrids. J. Korean Grassl. Sci. 14(4): 288-294.
- 허삼남, P. R. Beuselinck, and C. J. Nelson. 1995. Cotyledon development and seedling growth of *Lotus corniculatus*, *Lotus tenuis* and their reciprocal hybrids. J. Korean Grassl. Sci. 15(1):13-18.
- 홍순달, 김기인, 박효택, 강성수. 2001. 시설재배 토마토 잎의 엽록소 측정치와

토양 질소공급 능력의 상호관계. 한국토양비료학회지 34(2):85-91.

♣ Internet information and personal com.,

- 산업원료 광물소개(희토류); 18쪽
- 희토류란? Source : 이동욱 (2000년 6월); 번역물 55쪽
- RE의 사료첨가가 비육돈 생산성능에 미치는 영향(학술논문). 원문(漢子) 5쪽.
- RCT-3 Draganec Fodder Additive. 2000. Rare earths fodder additive's application in the livestock husbandry water agriculture. LIAO NING PU FENG GARMING & STOCKBREEDING CO. LTD.
- 稀土在畜牧養殖生產中的應用. Source: 이동욱(2000년 6월); 原書拔萃. pp 25-59.
- 稀土在醫療領域中的應用研究現狀(희토의 의료영역중의 응용현황). 2000. 정상목, 덩성 창, 맹경강.
- 稀土在農牧養殖中顯示出奇妙的作用 (희토의 농목목양식중 기묘한 작용).
- Ning Jin tan. 1999. 동식물에서 희토 연구 논술. 호남성농업과학원 연구원

제 4 절 : 친환경용 희토 복합제 개발

Shang Lei and Lui Xueying. 1997. Rare earths as a feed additive for poultry. World's Poultry Sci. J. Vol. 53 : 369-379.

丁維新 外. 1990. 土壤中稀土元素總重量及分布. 稀土. Vol 1, No 4. 1-4

方波 外. 1992. 稀土元素對玉米抗旱效應的研究. 稀土. Vol 13, No 1. 1-3

黃云 外. 1994. 稀土對作用的生理效應研究. 稀土. Vol 15, No 5. 26-29

郭佰生. 1983. 稀土農用現狀與前景. 稀土. Vol 3, No 1. 1-6

紀云晶, 栗建林. 2000. 我國稀土某些生物學的效應的研究概況(중국 稀土의 생물학적 효응에 관한 연구개황). J. Health Toxicology(工生毒理學雜誌). Vol. 14 (1):23~28.

李鐵生 外. 1991. 稀土在畜牧業中的應用. 內蒙古人民出版社. 25-140

- 劉大永 外. 1993. 稀土對小麥營養效應的研究. 稀土. Vol4 , No 1. 60-62
- 羅蓮光, 梁耀松, 田野. 2000. 養殖業에서의 희토 應用 効果와 作用 機轉. In: 전북대학교 농업과학기술연구소 주최 국제김포지움(2000년11월)교재 "신소재 稀土 鑛物(RE)의 농업적 이용"
- 寧加賁. 1983. 稀土對作用增效因子的研究. 稀土. Vol 15, No 1. 63-65
- 寧加賁 外. 1988. 稀土在農業上的應用. 湖南科學技術出版社, 10-89
- 寧加賁. 1994. 稀土元素對農業品中六六六殘留量的降解效應研究初步. 稀土. Vol 15, No 1. 65-68
- 寧加賁. 1999. 희토의 農用概述과 展望. In: 湖南省 稀土科技論文集. pp.35-37.
- 曲湘勇, 陳孝棚, 二元沅, 陳可毅. 1999. 相異 이온형과 세륜희토의 육계생장 영향 탐구. In: 湖南省 稀土科技論文集. pp.286-289.
- 万强, 蔣文清, 買達光, 劉穗, 寧加賁, 袁伏中. 1999. 豬用 配方稀土 添加濟的 研究和開發 (양돈용 배합희토 첨가제에 관한 연구개발). In: 湖南省 稀土科技 論文集. pp.297-300.
- 萬强. 1990. 南方土壤中稀土元素的狀況與稀土農用的關係. 稀土.Vol 11, No 3. 1-2
- 王癩澤. 1994. 稀土農用增效果影響因素及其作用的生理基礎. 稀土. Vol 15, No 1. 47-49
- 文殷凱 外. 1990. 稀土元素與辛肥配合施用對玉米產量及品質的影響. 稀土. Vol 11, No 4. 1-6
- 吳桃明 外. 1983. 稀土元素對農業增產作用的研究. 稀土. Vol 1, No 1. 70-75
- 徐新宇 外. 1993. 含稀土複合肥料肥效及其增效作用的研究. 稀土.Vol 14, No5. 45-52
- 楊秋劍. 1988. 花崗巖和酸性玄武巖中告石的稀土元素特徵. 稀土.Vol 6, No 3. 1-2
- 楊遇春. 1993. 世界稀土的生產, 消費現狀及需要豫測. 稀土.Vol 14, No 2. 46-52

- 尹文雅 外. 1993. 果木專用配方稀土對葡萄抗性,品質及產量的研究. 稀土.Vol 14, No 1.7-61
- 張宏江 外. 1995. 施用稀土多元複合肥料對減少蔬菜中硝酸鹽累積的影響. 稀土. Vol 16, No 3. 42-45
- 鄭素琴 外. 1993. 稀土對幾種蔬菜種子萌芽和生長的研究. 稀土.Vol 14, No3. 60-61
- 강태중, 허삼남. 1991. 우분과 질산태비료 추비수준에 따른 Italian ryegrass의 질산태 질소 축적. 축산개발보고. 전북대 4:1-9.
- 어용복합희토소염제(魚用配合稀土)의 연구제조와 응용. 1999. 課題綜合報告. 湖南省 稀土 農用研究中心.
- 허삼남, C. J. Nelson, P. R. Beuselinck, and J. H. Coutts. 1994. Seedling vigor of birdsfoot trefoil entries differing in seed size. J. Korean Grassl. Sci. 14(3):186-194.
- 허삼남, C. J. Nelson, P. R. Beuselinck, and J. H. Coutts. 1994. Seedling vigor of two Lotus entries and their reciprocal F1 hybrids. J. Korean Grassl. Sci. 14(4):288-294.
- 허삼남, D. Scott. 1997. Effect of growth environment on the root development of pasture species. I. Development of hydroponic technique for studies on the root characteristics. J. Korean Grassl. Sci. 17(4):345-350.
- 허삼남, P. R. Beuselinck, and C. J. Nelson. 1995. Cotyledon development and seedling growth of *Lotus corniculatus*, *Lotus tenuis* and their reciprocal hybrids. J. Korean Grassl. Sci. 15(1):13-18.
- 허삼남. 1992. 사료작물의 질산태질소 축적에 관한 연구. 한초지 12(4):239-245.
- ♣ Internet information and personal com., - 산업원료 광물소개(희토류); 18쪽;
- RE의 사료첨가가 비육돈 생산성능에 미치는 영향(학술논문). 원문(漢子) 5쪽.

- RCT-3 Draganec Fodder Additive. 2000. Rare earths fodder additive's application in the livestock husbandry water agriculture. LIAO NING PU FENG GARMING & STOCKBREEDING CO. LTD.
- 稀土在畜牧養殖生產中的應用. Source: 이동욱(2000년 6월); 原書拔萃. pp 25-59.
- 稀土在醫療領域中的應用研究現狀(희토의 의료영역중의 응용현황). 2000. 정상목, 덩성창, 맹경강.
- 稀土在農牧養殖中顯示出奇妙的作用 (희토의 농목목양식중 기묘한 작용).
- Ning Jin tan. 1999. 동식물에서 희토 연구 논술. 호남성농업과학원 연구원

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.