



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

제주화산회토양에서 감자재배시
녹비작물을 이용한 양분관리

Nutrition Management using Green Manure Crops for Potatoes
Grown in Volcanic Ash Soil in Jeju

濟州大學校 大學院

農學科

鄭大天

2017年 2月

제주화산회토양에서 감자재배시 녹비작물을 이용한 양분관리

指導教授 宋 昌 吉

鄭 大 天

이 論文을 農學 博士學位 論文으로 提出함

2016年 12月

鄭大天의 農學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長 (印)

委 員 (印)

委 員 (印)

委 員 (印)

委 員 (印)

濟州大學校 大學院

2016年 12月

Thesis for the Degree of Doctor of Agriculture

Nutrition Management using Green
Manure Crops for Potatoes Grown in
Volcanic Ash Soil in Jeju

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

DEPARTMENT OF AGRICULTURE

Dae-Cheun Jung

FEBRUARY 2017

목 차

List of Tables	v
List of Figures	vii
ABSTRACT	ix
I. 서 언	1
II. 연구 사	3
III. 재료 및 방법	6
1. 월동작물 재배지 녹비작물 선발 및 무기화특성	6
1) 제주지역 화산회토양에서 월동작물 재배지에 알맞은 녹비작물 선발.....	6
2) 녹비작물의 파종시기 구명	6
2. 녹비작물 토양환원 후 토양화학성 변화 및 토양환원시기 구명.....	7
1) 녹비작물 토양환원 후 토양화학성 변화.....	7
2) 녹비작물 토양환원 시기 구명.....	8
3. 월동작물 재배지에서 녹비작물에 의한 생산성 향상 연구	8
1) 시험토양 및 돈분액비 화학적 특성	8
2) 시험처리 및 녹비재배	9
3) 토양 및 식물체 분석	9
4) 침출수 특성조사	10
5) 통계분석 방법	10

4. 녹비작물 재배 후 가을감자 재배에 따른 시비방법 연구	10
1) 토양 및 식물체 분석	10
2) 녹비환원 후 질소 시비방법 구명	11
(1) 시험토양의 화학성	11
(2) 감자 재배를 위한 녹비작물의 재배	11
(3) 시험구 처리 및 감자 재배	12
3) 녹비환원 후 인산 시비방법 구명	12
(1) 시험토양의 화학성	12
(2) 감자 재배를 위한 녹비작물의 재배	12
(3) 시험구 처리 및 감자 재배	12
4) 녹비환원 후 칼리 시비방법 구명	13
(1) 시험토양의 화학성	13
(2) 감자 재배를 위한 녹비작물의 재배	13
(3) 시험구 처리 및 감자 재배	13
IV. 결과 및 고찰	14
1. 월동작물 재배지 녹비작물 선발 및 무기화특성	14
1) 제주 화산회토양에서 월동작물 재배에 알맞은 녹비작물 선발	14
(1) 녹비작물의 생육특성	14
(2) 녹비작물의 수량성	16
(3) 녹비작물의 양분공급량	17
2) 녹비작물의 파종시기 구명	21
(1) 파종시기별 헤어리베치와 호밀의 생육특성	21
(2) 파종시기별 헤어리베치와 호밀의 수량성	24
(3) 파종시기별 헤어리베치와 호밀의 양분공급량	25
(4) 헤어리베치와 호밀 재배에 의한 토양비옥도 변화	28
(5) 헤어리베치와 호밀 재배 시 양분공급 효과	29
2. 녹비작물 토양환원 후 토양화학성 변화 및 토양환원시기 구명	30
1) 녹비작물 토양환원 후 토양화학성 변화	30

(1) 실내 포트시험	30
(2) 노지 포장시험	35
2) 녹비작물 토양환원 시기 구명	39
(1) 시험기간 강우량	39
(2) 토양 질산태질소 및 암모니아태 변화	39
3. 월동작물 재배지에서 녹비작물에 의한 생산성 향상 연구	43
1) 시험토양 및 돈분액비 화학적 특성	43
2) 침투수중의 질산태질소 함량 변화	46
4. 녹비작물 재배 후 가을감자 재배에 따른 시비방법 연구	47
1) 녹비환원 후 질소 시비방법 구명	47
(1) 녹비작물 수량 및 질소 환원량	47
(2) 토양 질산태질소 함량 변화	47
(3) 감자 지상부 생육과 상품 수량	49
(4) 질소비료 시비량에 따른 건물량, 질소흡수량 및 이용율	52
(5) 질소 양분 수지	54
2) 녹비환원 후 인산 시비방법 구명	54
(1) 녹비작물 수량 및 인산 환원량	54
(2) 토양 유효인산 함량 변화	56
(3) 감자 지상부 생육 및 감자 상품 수량	57
(4) 감자 지상부 생체 수량과 괴경 수량	59
(5) 인산 흡수량 및 이용률	60
(6) 인산 양분 수지	61
3) 녹비환원 후 칼리 시비방법 구명	62
(1) 녹비작물 수량 및 칼리 환원량	62
(2) 토양 치환성 칼리함량 변화	62
(3) 감자 지상부 생육 및 수량	63
(4) 감자 줄기 및 감자 건물 생산량	65

(5) 칼리 흡수량 및 이용률	66
(6) 칼리 양분 수지	66
4) 감자 더텅이병 이병을 및 발병율	67
V. 적요	69
VI. 인용문헌	74
감사의 글	81

List of Tables

Table 1.	Chemical properties of soils before the experiment	9
Table 2.	Chemical properties of liquid pig manure used for the experiment(%)	9
Table 3.	Chemical properties of soils before the experiment	11
Table 4.	Chemical properties of soils before the experiment	12
Table 5.	Chemical properties of soils before the experiment	13
Table 6.	Average temperature and rainfalls in Seong-san(2011)	15
Table 7.	Average temperature and rainfalls in Seong-san(2012)	15
Table 8.	Fresh weight and dry weight of green manure crops	17
Table 9.	N, P, K, Ca, and Mg contents of green manure crops weight	19
Table 10.	Nutrient supply amount of green manure crops	20
Table 11.	N, P, K, Ca and Mg contents of <i>Vicia villosa</i> and <i>Secale cereale</i> according to seeding date(Yield survey, 6/20)	26
Tabel 12.	Nutrient supply amount of <i>Vicia villosa</i> and <i>Secale cereale</i> according to seeding date(Yield survey, 6/20)	27
Table 13.	Chemical properties of soils according to <i>Vicia villosa</i> and <i>Secale cereale</i> cultivation	29
Table 14.	Nutrient supply effect of <i>Vicia villosa</i> and <i>Secale cereale</i>	30
Table 15.	Effect of green manure crops and fertilization on dry matter production	44
Table 16.	Nitrogen supply amounts of green manure crops	44
Table 17.	Phosphorus supply amounts of green manure crops	45
Table 18.	Potassium supply amounts of green manure crops	46

Table 19.	Nitrogen nutrient reduction value according to green manure yield and green manure	48
Table 20.	Potato total yield according to nitrogen fertilization after soil reduction of green manure crops.	51
Table 21.	Potato commercial yield according to nitrogen fertilization after soil reduction of green manure crops	52
Table 22.	Potato Nitrogen utilization ratio according to Nitrogen fertilization after soil reduction of green manure crops	53
Table 23.	Nutrient balance of nitrogen on the harvest period	55
Table 24.	Green manure crops yield and phosphate reduction value	56
Table 25.	Marketable yields according to fertilization method	58
Table 26.	Fresh weight and total tuber yield of potato according to phosphatic fertilization method	59
Table 27.	Phosphate absorbed amount and utilization ratio	60
Table 28.	Nutrient balance of Phosphate on the harvest date	61
Table 29.	Potassium nutrient reduction value according to green manure yield and green manure	62
Table 30.	Potato yield according to potassium fertilization method	64
Table 31.	Shoot fresh weight and tuber yield of potato according to potassium fertilization method	65
Table 32.	Potassium absorbed amount and utilization ratio	66
Table 33.	Nutrient balance of potassium on the harvest date	67
Table 34.	Potato common scab of infection ratio and disease ratio	68

List of Figures

Fig. 1. Growth status of green manure crops	16
Fig. 2. Growth status of <i>Vicia villosa</i> and <i>Secale cereale</i>	22
Fig. 3. Growth status of <i>Vicia villosa</i> and <i>Secale cereale</i> according to seeding date(Yield survey, 6/20)	23
Fig. 4. Yield potential of <i>Vicia villosa</i> and <i>Secale cereale</i> according to seeding date	25
Fig. 5. pH, EC, NO ₃ ⁻ concentration variation of soils according to green manure crops mineralization on the indoor test result	32
Fig. 6. pH, EC, NO ₃ ⁻ concentration variation of soils according to green manure crops mineralization on the experimental field	36
Fig. 7. Average rainfalls in year 2013	39
Fig. 8. Average rainfalls in year 2014	39
Fig. 9. NO ₃ ⁻ -N and NH ₄ ⁺ -N concentration variation of soils according to crush green manure crops	41
Fig. 10. Concentration variation of nitrate-N on the infiltrating water	47
Fig. 11. Nitrogen fertilization level and growth period nitrate-N content change	49
Fig. 12. Stem widths and plant height of potato plant according to nitrogen fertilization after soil reduction of green manure crops	50

Fig. 13. Available phosphate content variation in soil	56
Fig. 14. Potato stem width and plant height in phosphatic fertilizer according to soil reduction of green manure crops	58
Fig. 15. Chemical properties nitrogen content variation of soils according to potassium fertilization method	63
Fig. 16. Potato stem width and plant height according to potassium fertilization method	64

ABSTRACT

1. This study seeks to identify and select appropriate green manure crops for the volcanic ash soil in Jeju Island, South Korea. To this end, in this study experiment, green manure crops were cultivated for 4 years from 2011 to 2014 during the fallow period after the harvest of winter vegetables such as carrots and potatoes in Sehwa-ri, Gujoa-eup. The study performed a green manure crop examination to choose crops with excellent growth, yield ability and nourishment supply amount. With respect to the green manure crop growth, *Vicia villosa* Roth, *Secale cereale* L. and *Glycine max* MERR. were found to have a strong germination and growth; whereas *Panicum miliaceum* L. and *Sorghum bicolor*(L.) Moench showed a slow germination and their post-germination growth was also slower. The biomasses of green manure crops per 10a were found the largest in *Secale cereale* 4,274, followed by *Vicia villosa* 3,415 > *Panicum miliaceum* 2,234 > *Glycine max* 1,842 > *Sorghum bicolor* 1,225 kg, in order. The dry matter per 10a was the largest in *Vicia villosa* 638 > *Secale cereale* 626 > *Glycine max* 337 > *Panicum miliaceum* 318 > *Sorghum bicolor* 181kg, in order. The N, P and K contents of green manure crops were found 39.3, 2.85, and 26.6 g/kg in *Vicia villosa*; 26.8, 3.30 and 25.9 g/kg in *Secale cereale*; 24.2, 2.05 and 32.0 g/kg in *Panicum miliaceum*; 31.0, 2.65 and 20.1 g/kg in *Glycine max*; and 17.9, 2.40 and 30.2 g/kg in *Sorghum bicolor*. The nutrient content of the three green-manure-crop elements was the highest in *Vicia villosa* 68.8 > *Panicum miliaceum* 58.3 > *Secale cereale* 56.0 > *Glycine max* 53.8 > *Sorghum bicolor* 50.5 g/kg in order. Green manure crops' N, P₂O₅, and K₂O feed rates per 10a were 25.1, 4.17 and 20.4 kg in *Vicia villosa*; and 16.8, 4.73 and 19.5 kg in *Secale cereale*, indicating that *Vicia villosa* and *Secale cereale* had over 2 times higher

numbers than those of *Glycine max*, *Panicum miliaceum*, and *Sorghum bicolor*.

This study intended to establish a usage system technique at the point of the green manure crop selection by identifying the sowing period of *Vicia villosa* and *Secale cereale* having excellent yield ability and nourishment supply amount. To this end, the study experiment was performed for about 6 months from March to August, 2013, in Goseong-ri, Seongsan-eup. *Vicia villosa* and *Secale cereale* have the peak growth period between the last part of June to first part of July regardless of their sowing period. They began to wither from the first part of July and almost withered away in the last part of July ~ first part of August. *Vicia villosa* and *Secale cereale* with 3/10 sowing date showed better results in terms of plant height, fresh weight, shoot weight and root weight than those with 3/20, 3/30, 4/10, and 4/20 sowing dates. With respect to the tractor rotary tillage after *Vicia villosa* and *Secale cereale* cultivation according to green manure addition; *Vicia villosa* stems were found to be better mixed into soil without being rolled along the rotary on August 3, the period of plant withering, rather than in the last part of June, the growth peak period. Both *Vicia villosa* and *Secale cereale*'s biomass per 10a and dry matter were higher in the case of 3/10 sowing date than in the cases of 3/20, 3/30, 4/10 and 4/20 sowing date. On 3/10, 3/20, 3/30, 4/10 and 4/20 sowing dates; the N content of *Vicia villosa* was 36.97, 36.85, 41.88, 40.04, and 38.71 g/kg, respectively; and *Secale cereale*, 11.61, 12.65, 9.92, 13.88, and 13.75 g/kg, each. N, P₂O₅, and K₂O feed rate per 10a in the case of 3/10 sowing date was the largest due to the higher dry weight. It was found that the earlier the sowing date, the heavier the dry weight was. Both *Vicia villosa* and *Secale cereale* showed general increase in all of the soil salts (EC), nitrate ion (NO₃⁻), available phosphate (P₂O₅) and replaceable potassium contents in 3 weeks after tillage, compared to the pre-experiment status. But their soil acidity (pH), replaceable calcium and

magnesium contents decreased slightly. Effect of nutriment supply was stronger in *Vicia villosa* than *Secale cereale*.

2. After green manure crop soil reduction, change in soil chemical property was investigated. In the case of green manure crop cultivation, regarding the soil fertility in Week 5 of tillage, the soil salts (EC) concentration decreased slightly in 2011 from the pre-experimental status; but soil acidity (pH) increased a little. In 2012, soil salts concentration rose but, soil acidity fall slightly, representing the huge effect of precipitation. Regarding outdoor packing, the pH, EC and NO_3^- contents in soil according to green manure crop mineralization were higher in *Vicia villosa* and *Secale cereale* than others but they were largely affected by precipitation. It is deemed useful to save chemical fertilizer in the Jeju volcanic ash soil if crops are sowed during the fallow period prior to March 10 after the cultivation of winter vegetables such as carrots and potatoes; then tillage is performed between the last part of June ~ first part of July (the period of carrot cultivation) and last part of July ~ first part of August (the period of potato cultivation); they are decayed for about 1 month and soil test is performed to distribute fertilizer amounting to any shortage.

After green manure crop soil reduction, in-soil nitrogen content change was investigated in order to determine the appropriate period of green manure crop soil reduction for fall potato cultivation. For the purpose of the study investigation, tractor was used to plow the field every 10 days from the last part of June for soil reduction. During the experiment period, precipitation was small at 83.5 mm from June 28 to August 23, 2013; especially as small as 24 mm from June 28 to August 18 within the period. In 2014, precipitation from June 28 to August 22 was 590.4 mm including 293 mm by July 15, which accounted for as high as 49.6% of the total precipitation. The nitrate-nitrogen content of soil according to green manure crop mineralization for each crop

chopping period was found higher in the case of July 31 chopping than in the June 28 chopping case; and ammonium-nitrogen was higher in the July 31 chopping case. Concerning the ammonium-nitrogen of each mixed sowing combination, the mixture of *Vicia villosa* and Gramineae was generally higher than the single sowing of *Vicia villosa*. Green manure soil reduction in the last part of July is deemed efficient in using the green manure nutriment.

3. To research for productivity enhancement of green manure crop in volcanic ash soil for vegetable cultivation, the study experiment was performed using the silt loam (Sineom Series) in Shinsan-ri, Seongsan-eup, Seoguipo-si, Jeju, South Korea. The single sowing of *Vicia villosa* and mixed sowing of *Vicia villosa*+*Secale cereale* were investigated to find out the effect of using slurry liquid fertilizer and chemical fertilizer on green manure crop quantity and nutriment feed rate. This study examined 3 groups with different treatment - non-fertilizer group, slurry liquid fertilizer group and chemical fertilizer group. The green manure crop quantity was found higher in the mixed sowing of *Vicia villosa* and *Secale cereale* recording $510 \text{ kg}/10^{-1}$ on average than in the single sowing of *Vicia villosa* with $400 \text{ kg}/10^{-1}$ on average. No significant difference was found between the *Vicia villosa* single sowing and slurry liquid fertilizer-chemical fertilizer mixture. However, the quantity of *Vicia villosa* and *Secale cereale* mixture increased thanks to slurry liquid fertilizer and chemical fertilizer. No difference was found between slurry liquid fertilizer group and chemical fertilizer group. No significant gap was observed in soil nitrogen feed rate because of green manure crops. The phosphate and potassium feed rates, however, moved up in *Vicia villosa*+*Secale cereale* mixture, compared with the *Vicia villosa* single sowing. The slurry liquid fertilizer group and chemical fertilizer group showed larger nitrogen, phosphate and potassium feed rates than those of the non-fertilizer group. No difference was observed between the slurry liquid

fertilizer group and chemical fertilizer group. Consequentially, in order to elevate the green manure crop quantity as well as phosphate and potassium feed rate, mixed sowing of *Vicia villosa*+*Secale cereale* would be effective. Also, slurry liquid fertilizer is deemed to replace chemical fertilizer.

4. After green manure reduction, the study experiment was conducted using the silt loam (Sineom Series) in Shinsan-ri, Seongsan-eup, Seoguiipo-si, Jeju, South Korea, to find out a method of using phosphate fertilizer. In the soil chemical properties, nitrate-nitrogen content was found higher in nitrogen fertilizer group of both *Vicia villosa* group and *Vicia villosa*+*Secale cereale* group. But no difference was found between the two types of treatment. *Vicia villosa*+*Secale cereale* group showed slightly more than *Vicia villosa* group. Replaceable potassium content was higher in nitrogen+phosphate+potassium group in both *Vicia villosa* group and *Vicia villosa*+*Secale cereale* group. Potato shoot growth showed no difference between *Vicia villosa* single sowing and *Vicia villosa*+*Secale cereale* mixed sowing. It was stronger in livestock manure and chemical fertilizer group than non-fertilizer group. After green manure crop soil reduction, the commercial yield of potatoes according to phosphoric manure use was 1,266 kg/10a in *Vicia villosa* on average; and 1,337 kg/10a in *Vicia villosa*+*Secale cereale* group but without difference. Fertilizer-using groups showed higher numbers than non-fertilizer group. Nitrogen, phosphate and potassium groups showed the largest numbers among the fertilized groups. Phosphate absorbed amount and usage rate were the highest in the nitrogen+phosphate+potassium group. *Vicia villosa*+*Secale cereale* group showed phosphate use rate of 4.40%, higher than 3.61% of *Vicia villosa* group.

In all of the green manure crop groups, soil nitrate-nitrogen content on Day 25 of potato sowing was the highest in nitrogen basal fertilization group and nitrogen basal fertilization+additional fertilization group. No difference was

found between non-nitrogen fertilization group and additional nitrogen fertilization group. In the flowering season on Day 65 of potato sowing, nitrogen basal fertilization group and basal fertilization+additional fertilization group were found to be similar while non-nitrogen fertilization group was the lowest. All of the sample groups showed no difference in available phosphate contents. Replaceable potassium contents were found similar in all of the groups and decreased with time. Potato shoot growth was good in nitrogen fertilizer group than non-fertilizer group. Additional fertilization group showed the lowest among the fertilized groups. The potato quantity after green manure crop soil reduction according to nitrogen fertilizer amount was 1,504 kg/10a on average in non-fertilizer group, the lowest; whereas nitrogen basal fertilization group and nitrogen basal fertilization+additional fertilization group showed the highest numbers of 2,607 and 2,797 kg/10a, respectively. But the two groups showed no difference. The average quantity of *Vicia villosa* group was 2,044 kg/10a, indicating the mixed sowing of *Vicia villosa*+Gramineae was higher. The yield of marketable potato after green manure crop soil reduction according to nitrogen fertilizer amount was found the lowest at 961 kg/10a on average in non-fertilizer group; whereas nitrogen basal fertilization group and nitrogen basal fertilization+additional fertilization group showed 2,235 and 2,199 kg/10a, the highest but without difference between them. The average quantity of *Vicia villosa* group was 1,689 kg/10a, indicating that *Vicia villosa*+Gramineae mixed sowing had a higher number. Nitrogen use rate of potato after green manure crop soil reduction according to nitrogen fertilizer amount was found 65% in nitrogen basal fertilization, higher than that of basal fertilization 65%+additional fertilization 35% group. The basal fertilization 65% group in *Vicia villosa*+*Secale cereale* group showed 39.4%, the largest.

Potato shoot growth was found the slowest in non-fertilizer group and potassium fertilizer use showed no significant difference. With respect to

change in soil reduction potassium content depending upon potassium fertilizer application method, all of the green manure crop groups showed increase in potassium basal fertilization group, potassium basal fertilization+additional fertilization group and potassium additional fertilization by October 16. Potassium additional fertilization group was increased on October 5 by additional fertilization. Total potato quantity and commercial quantity according to potassium fertilizer amount after green manure crop soil reduction were higher in *Vicia villosa*+Gramineae mixed sowing group than *Vicia villosa* single sowing group but without significant difference. In all of the green manure crop cultivation groups, non-fertilizer group was found the lowest while basal fertilization and basal fertilization+additional fertilization showed the highest. Consequentially, yield of marketable potato was found the largest when sowing both *Vicia villosa* and *Secale cereale* in mixture and using 65% of the standard amount of potassium fertilizer.

I. 서 언

최근 들어 친환경적 농법 및 농산물 안전성에 대한 관심이 고조됨에 따라 전 세계적으로 농업환경의 건전성 유지와 평가를 위한 농지이용 및 보전, 토양의 양분관리 등에 대한 지표개발에 주력하고 있으며, 증산위주의 농업에서 환경보전 및 지속농업으로 여건이 변하고 있다. 과거 증산위주의 농업은 화학비료의 과다 사용으로 인하여 토양양분 불균형 등 지력저하 및 농업환경 오염이 유발됨에 따라 양분종합관리 기술개발이 요구되고 있다.

제주지역 화산회 토양의 일반적인 화학적 성질은 유기물 함량이 약 2~20% 이상을 차지하며 평균 8.3%로 육지토양의 2.5%에 비하여 대단히 높고 유기태 질소 함량도 높다. 이들 질소의 대부분은 작물에 흡수·이용되기 어려운 형태의 질소가 많아 작물재배에서 유기물의 시용효과가 큰 것이 특징이다(Um et al., 1977). 따라서 토양에 양분공급이 용이한 녹비작물 등의 유기물을 공급하여 지력을 향상시킴으로서 비료투입을 절감시키는 녹비작물 재배기술이 필요하다.

녹비작물의 양분을 효율적으로 사용하기 위해서는 녹비작물이 무기화되어 토양으로 방출되는 시기와 후작물이 질소를 필요로 하는 시기를 일치시켜 녹비의 양분을 효율적으로 이용할 수 있다(Wagger, 1989).

제주지역의 화산회토양에 대한 양분수지 및 친환경적인 녹비작물의 작부체계 도입에 의한 지력 유지와 증진, 시용양분의 이용효율 증진 등에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

2016년 1월 1일로 저농약 인증이 완전 폐지됨에 따라 저농약 인증 재배농가의 유기, 무농약 농산물로의 전환과 정부의 ‘제4차 친환경농업 육성 5개년 계획(2016~2020년)’ 정책으로 인한 인증제도의 개선, 유통체계 확충 및 소비확대, 생산기반 확충으로 친환경 시장이 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 2015년 제주지역의 친환경 농산물 재배현황은 1,104농가가 2,594 ha를 재배하고 있으며, 14,878톤을 출하하였지만, 제주지역의 화산회토양에 알맞은 친환경적인 토양 양분관리가 미흡하여 환경보존과 자원절약 측면에서 토양양분 공급에 따른 화학비료 절

감을 위하여 주요 월동 밭작물의 재배 후 휴경기간 동안의 녹비작물 재배에 의한 환경 친화적인 토양 양분관리체계 확립이 필요하다. 제주지역의 지속농업 및 토양환경보전 등 친환경농업을 위한 화산회토양의 최적 양분관리기술 확립이 중요하다.

따라서 본 연구는 제주 동부지역의 화산회토양에 알맞는 친환경적인 토양양분 관리 기술 개발과 작부체계를 확립하기 위하여 수행하였다.

II. 연구사

화분과 녹비작물의 유기물이 농경지에 환원되면 양분 및 미량요소 공급 등 직접적인 효과 뿐만 아니라 유기물 자체의 물리적 특성에 의한 토양구조 개선, 양분 및 수분의 보존력 증대, 경운성 향상 및 미생물활동 촉진 등의 간접적인 효과도 크기 때문에 토양지력 증진과 작물의 수량을 증대시킨다(Matsuda, 1981; Sarantonio and Scott, 1988).

두과녹비 작물은 근류균에 의하여 고정된 질소가 다른 작물에 이용되고 인산과 칼륨의 흡수력이 강하여 난용성 염류를 흡수·이용하며 뿌리를 깊게 뻗어 비료성분을 지표면에 이동시키는 동시에 심토의 성질을 개선하여 경토를 깊게 한다. 또한 녹비작물이 비료로서 토양에 가해지면 토양중의 유기물함량 및 무기성분의 유효도를 증가시키고 녹비가 분해되어 생성된 부식은 토양의 물리적, 화학적 및 미생물적 성질을 개선시켜 준다(Yasue, 1991). 우리나라에서도 녹비작물을 재배하여 토양에 환원시켜 질소비료를 절감하는 연구(이 등, 2006; 서 등, 1998)가 이루어진 바 있다. 녹비작물은 토양질소 순환을 목적으로 재배시 호밀이 헤어리베치나 클로버보다 뿌리의 수나 양이 많고 질산태질소의 방출량도 높았으며, 토양의 질산태질소의 방출은 가을에 높고 겨울과 봄에는 낮으며 헤어리베치나 클로버류가 무 녹비작물보다 높다(Sainju et al., 1998).

헤어리베치의 지상부 전질소 함유량은 파종일과 상관없이 월동 후 4월 23일을 전후로 하여 약 30 g/kg 정도로 최대가 되었다가 이후 서서히 감소하였으나 건물중의 증가에 비례하여 질소의 흡수량은 파종시기가 빠르고 파종량이 많을수록 높은 경향을 나타내었다. 헤어리베치의 지상부 인산함유량은 파종일과 상관없이 월동 후 초기에는 최소 3.8 g/kg, 최대 5.0 g/kg이었으나 생육이 진전됨에 따라 다소 감소되었고 파종량과는 큰 차이가 없었다. 헤어리베치의 지상부 칼리함유량은 최소 37.6 g/kg, 최대 46.2 g/kg 였으나 수확시기가 가까워 옴에도 함유량은 거의 변하지 않았고 파종량과는 큰 차이가 없었다(윤 등, 2006). 헤어리베치를 9월 상순에 파종하면 이듬해 5월에 5.03~6.31 ton/ha의 녹비생산이 가능하며 질소

생산량으로 환산하면 201~251 kg/ha의 질소가 생산되며, 10월 중순에 파종하면 1.11~1.87 ton/ha의 녹비생산이 가능하고 질소량으로 환산하면 54~82 kg/ha의 질소가 생산된다(서 등, 2000; 송 등, 2003). 두과 녹비작물인 헤어리베치와 크립슨 크로버는 토양환원 8주만에 75~80%가 분해된 반면 화본과인 호밀은 50%가 분해되어 화본과 보다는 두과에서 분해가 빨리 이루어진다(Waggar, 1989). 헤어리베치의 부숙화 진전에 따른 질소 잔존량으로 비교해 보면, 처리전에는 32 g/kg였지만 50일 뒤에는 6 g/kg였으며 처리후 5일에 토양수분 100%인 온도처리 조건에서 급격하게 변화하였다. 다량원소의 가용화율은 처리후 일수가 늘어남에 따라 가용화율이 증가하는데, 처리후 50일에 모든 처리조건에서 N은 80%이상, K는 90%이상의 가용화율을 보였다(윤 등, 2006). 녹비분해 및 질소방출과 관련 있는 식물체 화학성분은 질소함량과 C/N율, cellulose 및 lignin 함량 등인데 식물체의 생육단계가 진전될수록 C/N율, cellulose 및 lignin 함량이 높아져 녹비분해 및 질소 방출속도가 늦어진다(Yadvinder et al., 1992).

농경지에 돈분액비의 이용은 유기자원의 재활용이라는 경제적인 면과 양분순환에 의한 자연순환농업이라는 면에서 큰 의미가 있다. 돈분액비를 비료자원으로 사용할 때 시용량과 시기, 시용방법에 따라 비료효과를 증대시키기도 하지만 효율적으로 이용되지 못할 경우에는 직접 또는 간접적으로 토양 또는 수질오염 등의 문제가 발생되므로 과도한 돈분액비의 사용은 지하수의 NO_3^- -N 함량을 높일 수 있어 수질오염의 원인이 된다(Frost et al., 1990; Kilmer, 1974). 돈분액비와 질소질 비료의 다량 사용은 토양중의 NO_3^- -N의 용탈을 촉진하기 때문에(Beckwith et al., 1998; Jensen et al., 2000; Nielsen and Jesen, 1990) 돈분액비와 환경과의 관계에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 그 동안 우리나라에서 돈분뇨의 농경지 이용연구는 주로 논토양에서 이루어졌으며(Jeon et al., 2003; Kim et al., 2004; Lee et al., 2004; Park et al., 2001) 밭토양에서의 토양비옥도와 수질환경에 대한 연구는 미흡하다.

논토양에서 호밀, 청보리, 자운영 및 헤어리베치를 파종하여 돈분액비 사용에 따른 녹비작물의 biomass 및 양분공급량은 돈분액비 무시용구보다 돈분액비 사용구에서 많다(Lee et al., 2014). 녹비작물은 단작보다는 혼작재배가 수량이 많으나(Kim et al., 2011b), 실제로 화학비료의 직접적인 사용 없이 녹비작물 생산량을 높이는 데에는 많은 어려움이 있다(Lee et al., 2011). 따라서 최근에 녹비작물 생

산량을 극대화하기 위해서 돈분액비를 시용하거나(Lee et al., 2011), 헤어리베치와 호밀 혼과재배 효과에 대한 연구가 이루어졌다(Kim et al., 2011b).

녹비작물의 후작물 생육과 수량에 관한 연구로는 겨울철에 두과작물을 재배한 후 후작물로 밀을 재배하였을 경우 휴한지에 질소 140 kg/ha 시비한 것과 수량이 McGuire 등(1998)의 연구보고와 비슷하였다. 헤어리베치는 질소고정능력이 높아 질소함량이 3.6~4.1%로 다른 두과 녹비작물에 비해 적어도 1%이상 많은 편이라고 Smith 등(1987)의 보고가 있으며, 또한 Utomo 등(1990)에 의하면 녹비로 토양에 환원하면 쉽게 분해되고 분해시 토양에 무기태질소를 공급하여 질소비료를 절감할 수 있으며, 토양의 유기태질소로 고정되는 양이 많기 때문에 지력을 증가시킬 뿐만 아니라 질산태질소의 용탈을 억제하는 효과가 있다고 보고하였다. 우수한 녹비작물이라고 보고하였다. 장 등(2007)은 호밀을 동계기간 피복작물로 재배함으로써 토양의 물리·화학성이 증진되었고 호밀의 후작으로 재배한 감자와 배추의 수량이 나지에 비해 6~8% 증가하였다. 성 등(2007)은 헤어리베치로부터 공급되는 무기태질소 처리 후 20일경에 최대치를 보이며, 녹비작물로부터 공급되는 질소는 토양 환원 후 약 60일경에 고갈되어 고추 정식 후 50일경에 추비를 시용하는 것이 작물 생육 및 수량을 증대시킬 수 있을 것이라고 보고하였다. Wagger(1989)은 녹비작물의 양분을 효율적으로 사용하기 위해서는 녹비작물이 무기화되어 토양으로 방출되는 시기와 후작물이 질소를 필요로 하는 시기를 일치시켜 녹비의 양분을 효율적으로 이용할 수 있다고 하였다.

녹비작물의 잠재적인 양분공급 가능량은 질소, 인산, 칼리 각각 호밀은 7.7, 7.8, 21.9 kg/10a, 헤어리베치는 17.0, 8.6, 22.9 kg/10a이었다. 따라서 양분공급을 위해서는 헤어리베치를 윤작하고, 토양의 물리성을 개선하기 위해서는 호밀을 윤작하는 것이 바람직하다.

이 등(2008)은 고추 과실 수량 및 질소 수지량 등을 고려할 때 헤어리베치를 녹비로 활용시 질소시비량은 50~75% 정도 감소시킬 수 있으며, 시설재배지에서 녹비작물을 12월말에 파종하여 2월 중순까지 재배 후 수확하고 절단하여 토양에 환원하면 녹비의 질소 고정량은 화분과에 비해 두과 녹비작물에서 현저히 높았고, 두과 녹비작물의 경우는 토마토 재배를 위한 질소량의 62%를 고정하기 때문에 부족한 양분 수지량만 조정한다면 균형된 작부체계를 이용할 수 있다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 월동작물 재배지 녹비작물 선발 및 토양 내 무기화특성

1) 제주지역 화산회토양에서 월동작물 재배지에 알맞은 녹비작물 선발

제주 동부지역 월동작물 재배지에 적합한 녹비작물을 선발하기 위하여 당근과 감자 수확 후 휴경기에 녹비작물을 재배하여 생육 및 양분공급량이 우수한 녹비작물을 선발하고자 제주특별자치도 제주시 구좌읍 세화리에서 시험하였다. 1차 시험은 2011년 3월부터 6월까지 2차 시험은 2012년 3월부터 6월까지 2회에 시험하였다. 토양은 화산재의 영향을 받은 흑색 화산회토양인 미사질양토에서 실시하였으며, 공시한 녹비작물은 헤어리베치, 호밀, 콩, 기장, 수단그라스 5종을 대상으로 하였다.

녹비작물 재배는 당근과 감자 수확이 완료된 후 종자를 3월 중순('11년 3/15, '12년 3/21)에 헤어리베치(*Vicia villosa* Roth), 호밀(*Secale cereale* L.), 콩(*Glycine max* MERR.), 기장(*Panicum miliaceum* L.), 수단그라스(*Sorghum bicolor*(L.) Moench)를 10a 당 각각 9.90 kg, 15.4 kg, 8.79 kg, 3.13 kg, 6.60 kg을 산파하고 트랙터로 경운한 후 흙을 덮고 6월 중하순('11년 6/11, '12년 6/26)까지 재배하였다. 생육 및 수량 특성조사는 6월 중하순에 생육한 녹비작물을 수확하여 생육특성, 지상부 및 지하부의 생산량(Biomass량)과 건물량을 조사하여 통계분석에 이용하였다.

2) 녹비작물의 파종시기 구명

선발된 헤어리베치와 호밀의 파종시기를 구명하기 위하여 2013년 3월부터 8월까지 약 6개월 동안 성산읍 고성리에서 수행하였다. 토양은 화산재의 영향을 받은 흑색 화산회토양인 미사질양토에서 실시하였다. 녹비작물 재배는 월동 감자 수확이 완료된 후 파종일을 3월 10일, 3월 20일, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일 5처리로 하여 헤어리베치와 호밀을 10a 당 각각 9.90 kg, 15.4 kg을 산파하고 트랙터로 갈아 8월 3일까지 재배하였다. 6월 20일에 생육한 녹비작물을 수확하여 생

육특성, 지상부 및 지하부의 생산량(Biomass량)과 건물량을 조사하여 비교하였다. 또한 건조한 식물체를 분쇄하여 토양 및 식물체 분석법(국립농업과학원, 2000)에 따라 녹비작물의 N, P, K 등의 양분함량을 분석하여 파종시기별로 양분 공급량을 비교하였다.

2. 녹비작물 토양환원 후 토양화학성 변화 및 토양환원시기 구명

1) 녹비작물 토양환원 후 토양화학성 변화

녹비작물의 무기화에 따른 양분함량의 변화를 조사하기 위하여 녹비작물을 6월 중하순('11년 6/12, '12년 6/27)에 트랙터로 경운하여 토양에 투입하였다. 녹비작물을 토양에 투입한 후 8월 초순('11년 7/17, '12년 8/1)까지 1주일 간격으로 토양을 채취하고 녹비작물의 무기화에 따른 무기화특성과 토양의 비옥도 변화를 조사하였다.

토양 및 식물체분석을 위하여 토양시료는 토심 20 cm 이내의 표토를 채취하여 화학성을 토양 및 식물체 분석법(국립농업과학원, 2000)에 준하여 분석하였다. pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 pH-EC meter로 측정하였고, 유효인산은 Lancaster법, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 치환성양이온은 1 N Ammonium acetate로 침출하여 유도결합플라즈마 발광광도계(ICP, OPTIMA 5300)로 분석하였다.

식물체 시료는 녹비작물 재배 후 토양에 투입 시 공급되는 양을 조사하기 위해 생육최성기에 채취하여 양분함량을 토양 및 식물체 분석법(국립농업과학원, 2000)에 준하여 분석하였다. 생육최성기에 시료를 채취하여 지상부와 지하부로 구분하고 생육특성, 생산량(Biomass량) 및 건물량을 조사하고 난 후 채취하여 분석시료로 하였다. 식물체 분석은 60℃ 오븐에서 건조된 시료를 믹서로 분쇄하여 1.0 g에 conc. H₂SO₄ 10 ml과 HClO₄ 소량 가하고 가열판에서 분해한 후 여과하여 유도결합플라즈마 발광광도계(ICP)로 분석하여 양분 공급량을 결정하는데 사용하였다.

녹비작물 무기화 특성 조사를 위하여 실내 시험을 하였다. 녹비작물 종류와

토양은 녹비작물 선발 시험과 동일한 방법으로 하였다. 시험방법은 토양 500 g을 지상부를 1 cm 간격으로 절단한 5종의 녹비작물을 각각 10a당 생산량에 해당하는 양과 잘 혼합하여 PVC 플라스틱병(1000 ml)에 넣었다. 여기에 물을 100 ml씩 첨가하여 포장용수량에 해당하는 수분조건으로 맞추고 25 °C 항온 조건에서 9주간 수행하면서 1주일 간격으로 물을 100 ml씩 첨가하였다. 녹비작물 종류별로 토양시료를 1주일 간격으로 채취하여 토양 및 식물체 분석법(국립농업과학원, 2000)에 따라 pH, EC, NO₃⁻ 등을 분석하여 녹비작물의 무기화에 따른 무기화 특성을 조사하였다.

2) 녹비작물 토양환원 시기 구명

가을감자 재배에 적합한 녹비작물 토양환원시기를 결정하기 위하여 6월 하순부터 10일 간격으로 트랙터로 갈아 토양에 녹비작물을 환원하여 토양중의 질소 함량 변화를 조사하였다. 녹비작물 토양환원 시기는 2013년에는 6월 28일, 7월 9일, 7월 19일, 7월 29일에 실시하였고, 2014년에는 6월 28일, 7월 11일, 7월 21일, 7월 31일에 이루어졌다.

토양 화학성 변화조사는 녹비작물 토양 환원시기마다 토양을 채취하고 토양 및 식물체 분석법(국립농업과학원, 2000)에 따라 질산태질소와 암모니아태질소 및 토양 유효인산 함량, 치환성 칼리 함량을 분석하여 녹비작물의 무기화에 따른 토양변화를 조사하였다. 토양시료는 토심 20cm 이내의 표토를 8월 22일에 채취하여 화학성을 토양 및 식물체 분석법(국립농업과학원, 2000)에 준하여 분석하였다.

3. 월동작물 재배지에서 녹비작물에 의한 생산성 향상 연구

1) 시험토양 및 돈분액비 화학적 특성

월동작물 재배지에서 녹비작물에 의하여 생산성 향상에 대한 연구를 위해 돈분액비와 선발된 녹비작물인 헤어리베치 단과구, 헤어리베치+호밀 혼과구를 처리하여 생산성을 비교하였다.

본 시험은 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 신산리 미사질양토 (신엄통)에서 수행되었다. 시험전 토양의 화학성은 pH는 6.0, 유기물은 75.6 g/kg, 유효인산은

88.2 mg/kg, 치환성 칼리, 칼슘 및 마그네슘함량은 각각 0.85, 7.3 및 2.92 cmol⁺/kg이었다(Table 1). 시험에 사용된 돈분액비는 제주도 한림읍 소재 양돈농가의 분뇨를 이용하였으며, 돈분액비의 성분함량은 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 1. Chemical properties of soils before the experiment

Soil Texture	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-cmol ⁺ /kg			EC (dS/m)
				K	Ca	Mg	
SiL	6.0	75.6	88.2	0.85	7.3	2.9	0.39

Table 2. Chemical properties of liquid pig manure used for the experiment(%)

T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
0.10	0.048	0.10	0.06	0.02	0.03

2) 시험처리 및 녹비재배

헤어리베치 단과구와 헤어리베치+호밀 혼과구를 주구로 하였으며, 녹비작물 재배시 무비구, 화학비료 시비구 (N-P-K=4.0-0-4.0 kg/10a) 및 돈분액비 시비구 (N-P-K=4.0-0.96-4.0 kg/10a)의 3처리구를 세구로 하여 분할구 배치법을 사용하였다. 시험구 면적은 3.5×5.0 m이었다. 파종량은 헤어리베치 13.5 kg/10a, 혼과구는 헤어리베치 6.8 kg/10a와 호밀 11.3 kg/10a이었다. 녹비작물은 3월 11일에 파종하였으며, 6월 28일에 수확하여 생체중을 측정하고, 65 °C에서 48시간 열풍 건조한 다음 건조중을 측정하였다. 양분 공급량은 건조중량과 양분함량을 곱한 값을 의미하며 양분 공급량 분석을 위하여 건조중 측정에 사용된 시료를 세척하여 65 °C에서 48시간 열풍 건조한 다음 분쇄하여 사용하였다.

3) 토양 및 식물체 분석

토양은 표층(0~20cm)을 채취하여 풍건 후 2 mm체를 통과한 시료를 사용하였다. 토양 pH는 시료와 증류수 비율을 1:5로 하여 pH 측정기로(S47, Metter

toledo, Germany) 측정하였고, 유기물은 0.5 mm를 통과한 풍건토를 Tyurin법으로 분석하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 측정하였다. 치환성 양이온은 1N ammonium acetate 법으로 추출하여 ICP-OES(Optima, 7300DV, PerkinElmer, USA)로 측정하였다.

식물체 분석은 분쇄한 시료 1 g을 분해튜브에 넣고 $H_2SO_4-H_2O_2$ 로 습식분해하여 무기성분 분석에 활용하였다. 총 질소는 켈달장치(Kjeltec 2400 Foss, Sweden)를 이용하여 측정하였고, 인산은 ammonium vanadate 법으로 비색계(UV/VIS spectrometer, Carry 100 varian, Australia)를 사용하여 정량하였다. 칼륨은 ICP-OES(Optima 7300DV, PerkinElmer, USA)를 사용하여 분석하였다.

4) 침출수 특성조사

침출수는 토층 70 cm 깊이에 porous ceramic cup(Soilmoisture Equipment Co., 1900L)을 설치하여 강우 48시간 후에 채취하였으며, 침출수의 NO_3^- N 분석은 매 강우시 마다 채취하여 Ion Chromatography(Metrohm, 850 professional)로 분석하였다.

5) 통계분석 방법

시험구 배치는 분할구배치 3반복으로 하였고, 조사된 결과는 SAS프로그램(SAS. ver. 9.1)을 이용하여 ANOVA test 후 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

4. 녹비작물 재배 후 가을감자 재배에 따른 시비방법 연구

화산회토양에서의 녹비작물 재배 후 가을감자 재배시 화학비료의 사용방법을 알아보기 위하여 선발된 녹비작물인 헤어리베치와 호밀에 대하여 헤어리베치 단과구, 헤어리베체+호밀 혼과구와 별도의 N, P, K 시비구로 나누워 감자의 생육 및 수량특성을 조사하기 위하여 실험하였다.

1) 토양 및 식물체 분석

토양은 표층(0~20cm)을 채취하여 풍건 후 2 mm체를 통과한 시료를 사용하였다. 토양 pH는 시료와 증류수 비율을 1:5로 하여 pH 측정기로(S47, Metter

toledo, Germany) 측정하였고, 유기물은 0.5 mm를 통과한 풍건토를 Tyurin법으로 분석하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 측정하였다. 치환성 양이온은 1N ammonium acetate 법으로 추출하여 ICP-OES(Optima, 7300DV, PerkinElmer, USA)로 측정하였다.

식물체 분석은 분쇄한 시료 1 g을 분해튜브에 넣고 H₂SO₄-H₂O₂로 습식분해하여 무기성분 분석에 활용하였다. 총질소는 켈달장치(Kjeltec 2400 Foss, Sweden)를 이용하여 측정하였고, 인산은 ammonium vanadate 법으로 비색계(UV/VIS spectrometer, Carry 100 varian, Australia)를 사용하여 정량하였다. 칼륨은 ICP-OES(Optima 7300DV, PerkinElmer, USA)를 사용하여 분석하였다.

2) 녹비환원 후 질소 시비방법 구명

(1) 시험토양의 화학성

본 시험은 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 신산리 미사질양토(신엄통)에서 수행되었다. 시험 전 토양의 화학성은 pH는 5.6, 유기물은 98.0 g/kg, 유효인산은 102.4 mg/kg, 치환성 칼리, 칼슘 및 마그네슘함량은 각각 0.43, 4.1 및 1.1 cmol⁺/kg이었다(Table 4).

Table 4. Chemical properties of soils before the experiment

pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-cmol ⁺ /kg			EC (dS/m)
			K	Ca	Mg	
5.6	98.0	102.4	0.43	4.1	1.1	0.59

(2) 감자 재배를 위한 녹비작물의 재배

녹비작물은 헤어리베치 단파, 헤어리베치+호밀 혼파, 헤어리베치+보리 혼파, 헤어리베치+트리티케일 혼파구의 4처리로 하여 3월 11일에 파종하였으며, 파종량은 헤어리베치 13.5 kg/10a, 혼파구는 헤어리베치 6.8 g/10a와 호밀 등 화분과는 11.3 kg/10a이었다. 처리별 시험구 크기는 각각 210 m² 이었다. 녹비작물은 6월 28일에 수확하여 수량과 양분 함량을 조사하여 질소 공급량을 계산하였다. 재배 중인 녹비작물은 6월 29일에 트랙터로 경운하여 파쇄하였다.

(3) 시험구 처리 및 감자 재배

헤어리베치 단파구와 헤어리베치+화분과 혼파구를 주구로 하였으며, 감자 재배시 녹비+질소 무비구(N=0kg/10a), 녹비+질소 기비 65%(N=11.7kg/10a), 녹비+질소 기비 65%(N=11.7kg/10a)+추비 35%(N=6.3kg/10a), 녹비+질소 추비 35%(N=6.3kg/10a) 시비구의 4처리구를 세구로 하여 분할구 배치법을 사용하였다. 시험구 면적은 3.5×5.0 m 이었다. 감자재배는 녹비작물 환원 후인 8월 27일에 재식거리 70×25 cm로 파종하여 12월 10일에 수확하였다.

3) 녹비환원 후 인산 시비방법 구명

(1) 시험토양의 화학성

본 시험은 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 신산리 미사질양토(신엄통)에서 수행되었다. 시험 전 토양의 화학성은 pH는 5.5, 유기물은 69.1 g/kg, 유효인산은 74.8 mg/kg, 치환성 칼리, 칼슘 및 마그네슘함량은 각각 0.62, 3.4 및 1.2 cmol⁺/kg 이었다(Table 3).

Table 3. Chemical properties of soils before the experiment

pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-cmol ⁺ /kg			EC (dS/m)
			K	Ca	Mg	
5.5	69.1	74.8	0.62	3.4	1.2	0.36

(2) 감자 재배를 위한 녹비작물의 재배

녹비작물은 헤어리베치 단파 및 호밀+헤어리베치 혼파구의 2처리로 하여 3월 11일에 파종하였다. 파종량은 헤어리베치 13.5 kg/10a, 혼파구는 헤어리베치 6.8 kg/10a와 호밀 11.3 kg/10a이었다. 처리별 시험구 크기는 각각 210 m² 이었다. 녹비작물은 6월 28일에 수확하여 수량과 양분 함량을 조사하여 인산 공급량을 계산하였다. 녹비작물 파쇄는 6월 29일에 트랙터를 사용하여 파쇄하였다.

(3) 시험구 처리 및 감자 재배

헤어리베치 단파구와 헤어리베치+호밀 혼파구를 주구로 하였으며, 감자 재배시 무비구, P 시비구(P=25kg/10a), NK 시비구(N-K=18-19kg/10a) 및 NPK 시비

구(N-P-K=18-25-19kg/10a)의 4처리구를 세구로 하여 분할구배치법을 사용하였다. 시험구 면적은 3.5×5.0 m 이었다. 감자재배는 녹비작물 환원 후인 9월 4일에 재식거리 70×25 cm로 파종하여 12월 10일에 수확하였다.

4) 녹비환원 후 칼리 시비방법 구명

(1) 시험토양의 화학성 조사

본 시험은 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 삼달리 미사질양토(신엄통)에서 수행되었다. 시험 전 토양의 화학성은 pH는 6.1, 유기물은 71.0 g/kg, 유효인산은 112.4 mg/kg, 치환성 칼리, 칼슘 및 마그네슘함량은 각각 0.67, 7.1 및 1.7 cmol⁺/kg이었다(Table 5).

Table 5. Chemical properties of soils before the experiment

pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-cmol ⁺ /kg			EC (dS/m)
			K	Ca	Mg	
6.1	71.0	112.4	0.67	7.1	1.7	0.26

(2) 감자 재배를 위한 녹비작물의 재배

녹비작물은 헤어리베치 단과 및 호밀+헤어리베치 혼과구의 2처리로 하여 3월 16일에 파종하였으며, 파종량은 헤어리베치 13.5 kg/10a, 혼과구는 헤어리베치 6.8 kg/10a와 호밀 11.3 kg/10a이었다. 처리별 시험구 크기는 각각 210 m²이다. 녹비작물은 7월 1일에 수확하여 수량과 양분 함량을 조사하여 칼리 공급량을 계산하였다. 재배중인 녹비작물은 7월 1일에 트랙터로 경운하여 파쇄하였다.

(3) 시험구 처리 및 감자 재배

헤어리베치 단과구와 헤어리베치+호밀 혼과구를 주구로 하였으며, 감자 재배시 녹비+칼리 무비구(K=0 kg/10a), 녹비+칼리 기비 65%(K=12.4kg/10a), 녹비+칼리 기비 65%(K=12.4kg/10a)+추비 35%(K=6.7kg/10a), 녹비+칼리 추비 35%(K=6.7kg/10a) 시비구의 4처리구를 세구로 하여 분할구 배치법을 사용하였다. 질소와 인산은 각각 18.0과 25.0 kg/10a를 시비하였다. 시험구 면적은 3.5×5.0 m 이었다. 감자재배는 녹비작물 환원 후인 8월 27일에 재식거리 70×25 cm로 파종하여 12월 1일에 수확하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 월동작물 재배지 녹비작물 선발 및 무기화특성

1) 제주 화산회토양에서 월동작물 재배에 알맞은 녹비작물 선발

제주 화산회토양에 알맞는 친환경적인 토양양분관리 기술을 개발하기 위하여 당근과 감자 수확 후 휴경기에 녹비작물을 재배하고 생육 및 양분공급량이 우수한 녹비작물에 대한 선발시험을 하였다. 당근과 감자를 2011년 3월 15일과 2012년 3월 21일에 파종하여 수확하였고, 녹비작물 종자를 3월 중순('11년 3/15, '12년 3/21)에 산파하고 6월 중·하순('11년 6/11, '12년 6/26)에 식물체를 수확하여 생육 특성, 지상부 및 지하부의 생산량(Biomass 량), 건물량 및 식물체의 양분함량을 조사하였다.

(1) 녹비작물의 생육특성

제주 화산회토양에서 월동작물 재배 후 휴경기간 동안에 녹비작물 재배시 생육특성을 파악하기 위하여 기상현황 및 종자파종 후의 생육상황을 조사하였다. 녹비작물 종자파종시의 평균온도 및 재배기간 동안의 강우량은 각각 2011년도 5.4℃, 1,036.9 mm, 2012년도 9.4℃, 1,616.2 mm로서 2012년도가 2011년도보다 평균 온도는 4.0℃ 더 높고, 강우량도 579.4 mm가 더 많았다(Table 6, 7). 녹비작물 생육은 2011년도는 헤어리베치 > 콩 > 호밀 > 기장 순으로 양호하였고, 2012년도에는 헤어리베치 > 호밀 > 콩 > 기장 > 수단그라스 순으로 양호하였다(Fig. 1). 이와 같이 연도간 생육에 다소 차이가 있는 것은 녹비작물 생육에 영향을 미치는 기온, 토양수분조건 등 환경적인 요인과 재배품종 간 차이가 있기 때문인 것으로 생각된다. 평균적으로 헤어리베치, 호밀 및 콩은 생육이 매우 양호하였으나, 기장과 수단그라스는 생육이 다소 저조하였다. 이는 기장과 수단그라스가 여름작물로서 고온성작물이기 때문인 것으로 생각되었다.

Table 6. Average temperature and rainfalls in Seong-san(2011)

Climatic Factor	March			April			May			June			July			August		
	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late
Temp. (°C)	5.4	9.3	8.0	12.2	12.6	14.7	17.5	18.7	17.9	19.9	19.6	23.0	24.5	26.9	26.9	27.2	25.2	24.1
Rainfall (mm)	3.0	20.5	15.0	51.0	1.0	40.8	14.7	17.0	77.2	51.8	116.6	241.1	53.2	78.7	7.5	160.3	15.7	150.5

Table 7. Average temperature and rainfalls in Seong-san(2012)

Climatic Factor	March			April			May			June			July			August		
	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late	Early	Mid	Late
Temp. (°C)	9.4	7.8	10.2	12.4	14.3	16.5	18.7	17.9	19.0	20.9	21.8	22.2	24.0	25.0	27.6	28.2	28.2	26.0
Rainfall (mm)	60.6	23.2	95.5	52.0	30.0	211.5	106.5	24.5	13.0	10.8	128.1	69.9	64.2	105.5	1.3	2.1	62.5	55.5



Fig. 1. Growth status of green manure crops.

seeding date : 2011.03.15, 2012.03.21; photoed at 2011.6.11, 2012.6.26

(2) 녹비작물의 수량성

제주 화산회토양에서 월동작물 재배 후 휴경기간 동안에 녹비작물 재배시 녹비작물 투입에 따른 양분공급량을 평가하기 위하여 녹비작물별로 생육최성기때의 10a당 생체량 및 건물량을 조사하였다(Table 8). 지상부와 지하부를 모두 포함한 2년 평균 생체량은 호밀(4,274) > 헤어리베치(3,415) > 기장(2,234) > 콩(1,842) > 수단그라스(1,225 kg) 순으로 높았다. 또한 건물량은 헤어리베치(638) > 호밀(626) > 콩(337) > 기장(318) > 수단그라스(181kg) 순으로 높았다. 이와 같이 생체량과 건물량은 헤어리베치와 호밀이 기장, 콩, 수단그라스에 비해 높은 경향을 보였다.

이 등(2006)은 2003년부터 2005년까지 3년 동안 겨울철 휴한기 10월 상순에 10a당 호밀 10 kg, 헤어리베치 8 kg을 파종하고 이듬해 5월 상순에 수확하여 지상부의 10a당 생체량을 조사한 결과, 3년간 평균 헤어리베치의 경우는 2,609kg, 호밀인 경우는 2,592kg을 생산하였다고 하였다.

본 시험에서는 지상부의 10a당 생체량은 헤어리베치의 경우는 3,029kg, 호밀인 경우는 3,046kg을 생산하여 이 등(2006)의 연구 결과보다 다소 높은 경향을 보였다.

Table 8. Fresh weight and dry weight of green manure crops

Crops	Cultivation year	Fresh weight(kg/10a)			Dry weight (kg/10a)
		Root	Shoot	Total	
<i>Vicia villosa</i>	2011 [†]	538	3,076	3,614	725
	2012 ^{††}	234	2,981	3,215	550
	Average	386	3,029	3,415b ^{†††}	638a
<i>Glycine max</i>	2011	298	1,907	2,205	444
	2012	190	1,289	1,479	230
	Average	244	1,598	1,842c	337b
<i>Panicum miliaceum</i>	2011	366	2,457	2,823	341
	2012	176	1,468	1,644	294
	Average	271	1,963	2,234c	318b
<i>Secale cereale</i>	2011	1,422	3,080	4,502	714
	2012	1,033	3,012	4,045	538
	Average	1,228	3,046	4,274a	626a
<i>sorghum bicolor</i>	2011	-	-	-	-
	2012	150	1,075	1,225	181
	Average	150	1,075	1,225d	181c

[†] Year 2011 : Seeding date, Mar. 15; Yield survey, Jun 11

^{††} Year 2012 : Seeding, date, Mar. 21(*Glycine max*, Apr. 24); Yield survey, Jun 26

^{†††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

(3) 녹비작물의 양분공급량

제주 화산회토양에서 월동작물 재배 후 휴경기간 동안에 녹비작물 재배시 녹비작물 투입에 따른 양분공급량을 평가하기 위하여 녹비작물별로 생육최성기때의 식물체중의 N, P, K 등의 양분함량을 분석하고 양분 공급량을 결정하였다. 녹비작물의 지상부와 지하부를 모두 포함한 2년 평균 N, P, K, Ca 및 Mg의 양분함량은 Table 9에서 보는 바와 같다. N, P, K 함량은 각각 헤어리베치는 39.3, 2.85, 26.6 g/kg 함유하였고, 호밀은 26.8, 3.30, 25.9 g/kg을 함유하였다. 또한 기장은 24.2, 2.05, 32.0 g/kg, 콩은 31.0, 2.65, 20.1 g/kg, 수단그라스는 17.9, 2.40,

30.2 g/kg을 함유하였다. 성분별로는 헤어리베치는 N, 호밀은 P, 기장은 K, 콩은 Ca와 Mg이 제일 높은 경향을 나타내었다. 녹비작물의 3요소의 양분함량은 헤어리베치(68.8) > 기장(58.3) > 호밀(56.0) > 콩(53.8) > 수단그라스(50.5 g/kg) 순으로 헤어리베치가 제일 높았다(Table 9).

이 등(2006)은 녹비작물의 지상부와 지하부를 포함한 평균 N 함량은 헤어리베치는 24.1 g/kg으로 공중질소를 고정하여 높았으나 호밀은 7.6 g/kg 함유하고 있었으며 대부분 양분함량이 극히 적었다고 하였다. 따라서 근권 토양의 물리성을 개선하기 위해서는 지하부의 비율이 높은 호밀이 적당하다고 하였다. 또한 작물양분을 공급하기 위해서는 공중질소를 고정하고 지상부의 비율이 높으며, 양분함량이 많은 헤어리베치가 적당하다고 하였다. 본 시험에서도 녹비작물의 N 함량은 헤어리베치가 39.3 g/kg으로 다소 높았으나 호밀은 26.8 g/kg으로 헤어리베치보다 다소 적었다. 또한 3요소의 양분함량도 호밀이 헤어리베치에 비하여 다소 낮은 것으로 나타났다.

Table 9. N, P, K, Ca, and Mg contents of green manure crops weight

Crops	Cultivation year	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)
<i>Vicia villosa</i>	2011 [†]	39.9	2.50	27.7	5.20	1.70
	2012 ^{††}	38.7	3.20	25.5	5.30	1.50
	Average	39.3a ^{†††}	2.85b	26.6b	5.25b	1.60b
<i>Glycine max</i>	2011	29.7	2.50	15.9	6.50	3.40
	2012	32.2	2.80	24.3	6.10	2.20
	Average	31.0b	2.65bc	20.1c	6.30a	2.80a
<i>Panicum miliaceum</i>	2011	30.2	2.20	36.5	2.00	3.40
	2012	18.2	1.90	27.5	2.00	1.50
	Average	24.2d	2.05d	32.0a	2.00e	2.45a
<i>Secale cereale</i>	2011	34.6	3.40	31.2	3.10	2.30
	2012	18.9	3.20	20.5	3.30	1.20
	Average	26.8c	3.30a	25.9b	3.20d	1.75b
<i>sorghum bicolor</i>	2011	-	-	-	-	-
	2012	17.9	2.40	30.2	4.50	1.70
	Average	17.9e	2.40c	30.2a	4.50c	1.70b

[†] Year 2011 : Seeding date, Mar. 15; Yield survey, Jun 11

^{††} Year 2012 : Seeding, date, Mar. 21(*Glycine max*, Apr. 24); Yield survey, Jun 26

^{†††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 10. Nutrient supply amount of green manure crops

Crops	Cultivation year	Dry weight (kg/10a)	Nutrient supply amount(kg/10a)				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
<i>Vicia villosa</i>	2011 [†]	725	28.9	4.15	24.2	3.77	1.23
	2012 ^{††}	550	21.3	4.03	16.9	2.92	0.83
	Average	638	25.1a ^{†††}	4.17a	20.4a	3.35a	1.03a
<i>Glycine max</i>	2011	444	13.2	2.54	8.50	2.89	1.51
	2012	230	7.41	1.48	6.73	1.40	0.51
	Average	337	10.4c	2.05b	8.16c	2.12b	1.01a
<i>Panicum miliaceum</i>	2011	341	10.3	1.72	15.0	0.68	1.16
	2012	294	5.35	1.28	9.74	0.59	0.44
	Average	318	7.70c	1.49bc	12.3b	0.64c	0.80b
<i>Secale cereale</i>	2011	714	24.7	5.56	26.8	2.21	1.64
	2012	538	10.2	3.94	13.3	1.78	0.65
	Average	626	16.8b	4.73a	19.5a	2.00b	1.15a
<i>sorghum bicolor</i>	2011	-	-	-	-	-	-
	2012	181	3.24	1.00	6.58	0.81	0.31
	Average	181	3.24d	1.00c	6.58c	0.81c	0.31c

[†] Year 2011 : Seeding date, Mar. 15; Yield survey, Jun 11

^{††} Year 2012 : Seeding date, Mar. 21(*Glycine max*, Apr. 24); Yield survey, Jun 26

^{†††} The different letters in species indicate significantly difference at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

제주 화산회토양에서 월동작물 재배 후 휴경기간 동안에 녹비작물 재배 시 녹비작물 투입에 따른 지상부와 지하부를 모두 포함한 10a당 양분공급량은 Table 10에서 보는 바와 같다. N, P₂O₅, K₂O 공급량은 각각 헤어리베치가 25.1, 4.17, 20.4 kg이었고, 호밀은 16.8, 4.73, 19.5kg이었다. 콩은 10.4, 2.05, 8.16kg, 기장은 7.70, 1.49, 12.3 kg, 수단그라스는 3.24, 1.00, 6.58 kg이었다. N, P₂O₅, K₂O 공급량은 헤어리베치와 호밀이 콩, 기장, 수단그라스보다 약 2배 이상 높은 경향이였다. N 공급량은 헤어리베치가 호밀에 비해 약 1.5배 정도 높았으나 P₂O₅와 K₂O 공급량은 헤어리베치와 호밀 모두 비슷한 수준이었다. 토양양분 3요소의 공급량은

헤어리베치(49.7) > 호밀(41.0) > 기장(21.5) > 콩(20.6) > 수단그라스(10.8kg) 순으로 헤어리베치와 호밀이 제일 높았으며 건물량이 많을수록 높은 경향을 보였다.

특히 CaO 공급량은 헤어리베치와 콩이 각각 3.35, 2.12 kg으로 호밀, 기장, 수단그라스에 비해 높았다. 이 등(2006)은 지상부 및 지하부의 biomass 및 양분함량을 고려하여 투입가능한 양분의 양을 산출한 결과, 질소, 인산, 칼리의 10a당 공급량은 각각 헤어리베치는 17.0, 8.6, 22.9 kg, 호밀은 7.7, 7.8, 21.9 kg이었다. 질소 공급량은 헤어리베치가 호밀에 비해 2.2배 높았고, 인산 및 칼리 공급량은 헤어리베치와 호밀 모두 비슷한 수준을 보였다고 하였다. 본 시험의 결과에서도 이와 비슷한 경향이였다. 또한 이 등(2006)은 겨울철 휴한기 10월 상순에 파종하고 이듬해 5월 상순에 수확하여 지상부의 양분함량을 조사하였다. 그 결과 화분과 녹비작물인 호밀은 헤어리베치에 비하여 전체적인 양분함량이 낮은 것으로 나타났으나 탄질율이 62.5로 매우 높아 작물재배시 미생물과의 질소경합으로 초기생육에 지장을 초래할 우려가 높은 것으로 판단하였다. 또한 헤어리베치의 경우 질소 및 칼륨 함량이 각각 29.3, 47.8 g/kg으로 높게 나타났으며, 탄질율도 15.0으로 낮았다고 하였다.

2) 녹비작물 파종시기 구명

제주 화산회토양에서 녹비작물 선발 시험에서 수량성과 양분공급량이 우수한 헤어리베치와 호밀의 파종시기를 구명하여 이용체계 기술을 확립하고자 2013년 3월부터 8월까지 약 6개월 동안 성산읍 고성리에서 수행하였다. 파종시기별로 6월 20일에 생육한 녹비작물을 수확하여 생육특성, 지상부 및 지하부의 생체량(Biomass 량)과 건물량을 조사하여 비교하였다.

(1) 파종시기별 헤어리베치와 호밀의 생육특성

헤어리베치와 호밀을 3월 10일, 3월 20일, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일에 파종하고 생육최성기인 6월 20일에 수확하여 생육특성을 조사하였다. 그 결과 헤어리베치와 호밀의 생육은 파종시기에 관계없이 생육최성기는 6월 하순 ~ 7월 상순이었지만 7월 상순 이후부터 고사하기 시작하여 7월 하순 ~ 8월 상순에는 거의 고사하는 경향을 보였다(Fig. 2). 헤어리베치와 호밀의 초장, 생체중, 지상부 무게 및 지하부 무게는 3월 10일 파종일인 경우가 3월 20일, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일 파종일보다 양호하였다(Fig. 3).

Vicia villosa



Secale cereale



photoed at 6/20 7/3 7/18
Fig. 2. Growth status of *Vicia villosa* and *Secale cereale*
seeding date : 2013.03.10

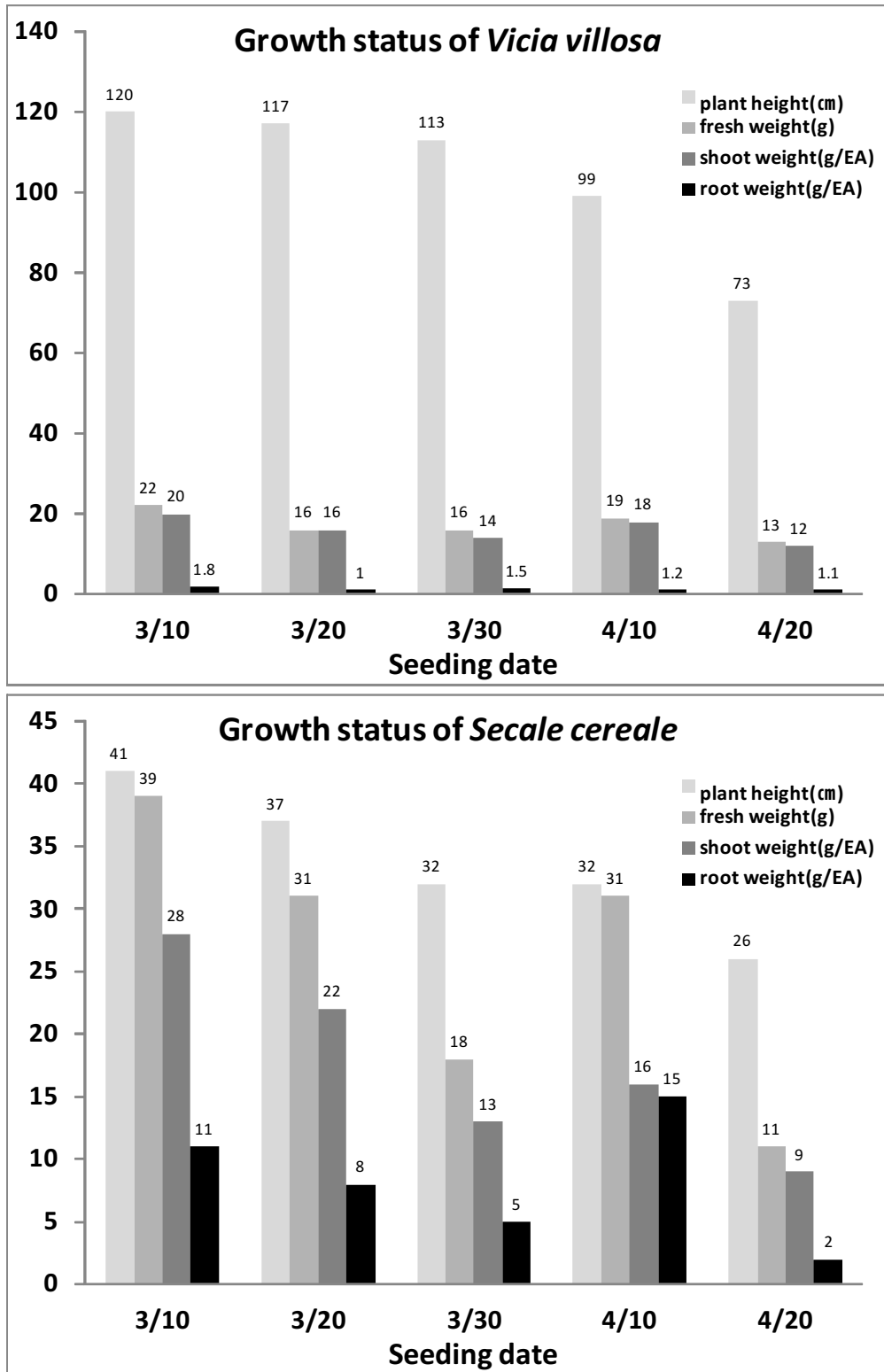


Fig. 3. Growth status of *Vicia villosa* and *Secale cereale* according to seeding date(Yield survey, 6/20).

(2) 파종시기별 헤어리베치와 호밀의 수량성

헤어리베치와 호밀을 3월 10일, 3월 20일, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일에 파종하고 재배한 후 파종시기별로 녹비작물 투입에 따른 양분공급량을 평가하기 위하여 생육최성기인 6월 20일에 수확하여 지상부와 지하부의 생체량(Biomass 량) 및 건물량을 조사하여 비교하였다(Fig. 4). 지상부와 지하부를 포함한 10a당 생체량은 헤어리베치인 경우 3월 10일(6,522) > 3월 20일(5,675) > 3월 30일(4,827) > 4월 10일(4,811) > 4월 20일(4,257 kg) 순으로 높았다. 호밀인 경우도 3월 10일(4,867) > 3월 20일(3,536) > 3월 30일(3,421) > 4월 10일(2,752) > 4월 20일(1,406 kg) 순으로 높았다. 또한 지상부와 지하부를 포함한 10a당 건물량은 헤어리베치인 경우 3월 10일(1,257) > 3월 20일(1,118) > 3월 30일(998) > 4월 10일(994) > 4월 20일(844 kg) 순으로 높았다. 호밀인 경우도 3월 10일(982) > 3월 20일(754) > 3월 30일(674) > 4월 10일(585) > 4월 20일(317 kg) 순으로 높았다. 이와 같이 생체량과 건물량은 헤어리베치와 호밀 모두 3월 10일 파종인 경우가 3월 20일, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일 파종일보다 높았다.

서 등(2000)은 1997년과 1998년 5월 1일 수확시 적정파종량(3 kg/10a)에서 10a당 건물중은 9월 10일 파종 550~700 kg, 10월 1일 파종 400~450 kg, 10월 20일 파종 130~220 kg로 파종시기가 늦을수록 감소하였는데, 특히 10월 이후에서 현저히 감소하였다고 하였다. 또한 2000년 4월 하순 수확시 10a당 건물중은 8월 20일 파종 700~800 kg, 8월 31일 파종 600~700 kg, 9월 10일 파종 400~500 kg, 9월 20일과 9월 30일 파종 200~300 kg로 8월 하순이 9월보다 현저히 증가하였다고 하였다.

본 시험에서는 이 등(2000)의 파종시기와는 다르지만 헤어리베치와 호밀 모두 3월 10일인 경우가 3월 20일 이후 파종일 보다 현저히 높았다.

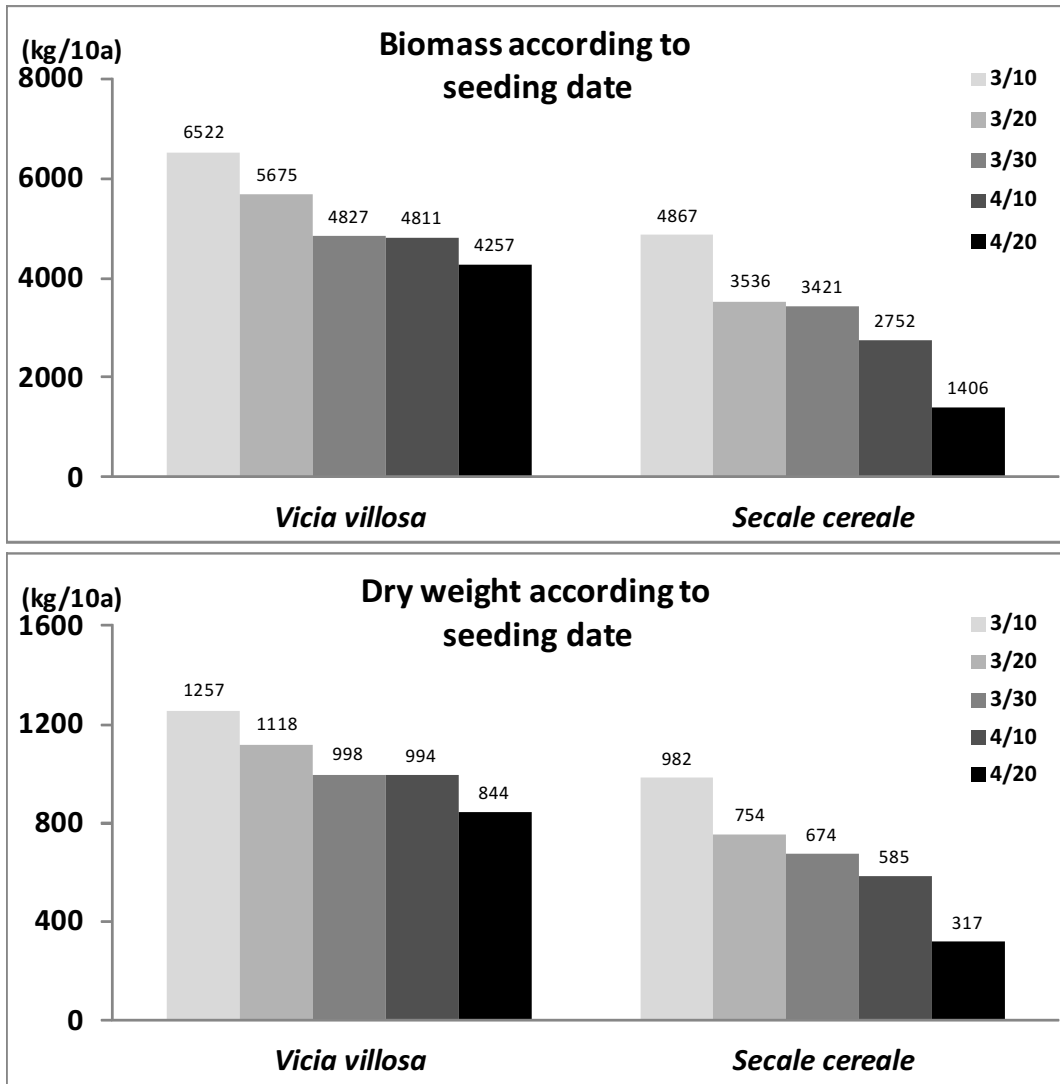


Fig. 4. Yield potential of *Vicia villosa* and *Secale cereale* according to seeding date.

(3) 파종시기별 헤어리베치와 호밀의 양분공급량

헤어리베치와 호밀을 3월 10일, 3월 20일, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일에 파종하여 재배한 후 파종시기별로 녹비작물 투입에 따른 양분공급량을 평가하기 위하여 생육최성기인 6월 20일에 수확하여 식물체중의 N, P, K 등의 양분함량을 분석하고 양분 공급량을 비교하였다. 파종기별 녹비작물의 지상부와 지하부를 모두 포함한 N, P, K, Ca 및 Mg의 양분함량은 Table 11에서 보는 바와 같다. 3월 10일, 3월 20일, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일 파종에 따른 N 함량은 헤어리베치

는 각각 36.97, 36.85, 41.88, 40.04, 38.71 g/kg 함유하였고, 호밀은 각각 11.61, 12.65, 9.92, 13.88, 13.75 g/kg을 함유하였다. 이 등(2000)은 1997년과 1998년 5월 수확 시 파종이 빠를수록 질소함량이 감소하였다고 하였다. 본 시험에서도 헤어리베치와 호밀 모두 파종이 빠를수록 질소함량이 감소하는 경향이나 큰 차이는 없었다. 또한 헤어리베치인 경우 K 함량은 파종일이 빠를수록 다소 감소하는 경향이였다. 헤어리베치가 호밀보다 N 함량은 약 3배, K 함량은 약 2배가 더 높았으며, 헤어리베치와 호밀중의 P, Ca 및 Mg 함량은 서로 비슷한 경향이였다.

Table 11. N, P, K, Ca, and Mg contents of *Vicia villosa* and *Secale cereale* according to seeding date(Yield survey, 6/20)

Crops	Seeding date	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)
<i>Vicia villosa</i>	3/10	36.97	8.74	65.47	8.88	3.70
	3/20	36.85	7.63	66.31	9.61	3.62
	3/30	41.88	8.15	55.75	10.54	4.76
	4/10	40.04	7.31	70.87	8.42	3.87
	4/20	38.71	7.33	88.89	8.98	3.56
	Means	38.89a [†]	7.83a	69.46a	9.29a	3.90a
<i>Secale cereale</i>	3/10	11.61	7.54	47.46	7.21	3.05
	3/20	12.65	7.63	42.44	8.59	3.78
	3/30	9.92	6.65	32.01	7.64	3.46
	4/10	13.88	7.02	42.13	7.96	3.93
	4/20	13.75	6.82	45.08	7.36	4.64
	Means	12.36b	7.13b	41.83b	7.75b	3.77a

[†] The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

파종기별 녹비작물의 지상부와 지하부를 모두 포함한 10a당 양분공급량은 Table 12에서 보는 바와 같다. 3월 10일, 3월 20일, 3월 30일, 4월 10일, 4월 20일 파종에 따른 10a당 N 공급량은 헤어리베치가 각각 46.5, 41.2, 41.8, 39.8, 32.7 kg 이었고, 호밀은 11.4, 9.54, 6.69, 8.12, 4.36 kg이었다. P₂O₅공급량은 헤어리베치가

각각 11.0, 8.53, 8.13, 7.27, 6.19 kg이었고, 호밀은 7.41, 5.75, 4.48, 4.11, 2.16 kg이었다. K₂O 공급량은 헤어리베치가 각각 82.3, 74.1, 55.6, 70.5, 75.0 kg이었고, 호밀은 46.6, 32.0, 21.6, 24.6, 14.3 kg이었다. 이와 같이 N, P₂O₅, K₂O 공급량은 파종일이 빠를수록 높았으며, 건물중이 증가에 비례하여 증가하였다. 3월 10일 파종인 경우가 건물중이 높음에 따라 N, P₂O₅, K₂O 공급량이 제일 많았으며, 헤어리베치가 호밀보다 N는 약 4배, K₂O는 약 2배가 더 높았다. 서 등(2000)은 녹비의 질소공급량은 녹비건물중과 거의 비례하였는데 지상부에 포함된 질소량은 파종시기 늦을수록 뚜렷이 감소하였다고 하였다. 파종시기는 이 등(2000)과 다르지만 본 시험에서도 파종시기가 늦을수록 질소공급량 등 양분공급량이 감소하는 경향을 보였다.

Table 12. Nutrient supply amount of *Vicia villosa* and *Secale cereale* according to seeding date(Yield survey, 6/20)

Crops	Seeding date	Dry weight (kg/10a)	Nutrient supply amount(kg/10a)				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
<i>Vicia villosa</i>	3/10	1257	46.5	11.0	82.3	11.2	4.65
	3/20	1118	41.2	8.53	74.1	10.7	4.05
	3/30	998	41.8	8.13	55.6	10.5	4.75
	4/10	994	39.8	7.27	70.5	8.37	3.85
	4/20	844	32.7	6.19	75.0	7.58	3.01
	Means	1,042a [†]	40.43a	8.23a	71.49a	9.67a	4.06a
<i>Secale cereale</i>	3/10	982	11.4	7.41	46.6	7.08	2.99
	3/20	754	9.54	5.75	32.0	6.48	2.85
	3/30	674	6.69	4.48	21.6	5.15	2.33
	4/10	585	8.12	4.11	24.6	4.66	2.30
	4/20	317	4.36	2.16	14.3	2.33	1.47
	Means	662b	8.02b	4.78b	27.83b	5.14b	2.39b

[†] The different letters in species indicate significantly difference at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

(4) 헤어리베치와 호밀 재배에 의한 토양비옥도 변화

헤어리베치와 호밀을 월동 감자 수확이 완료된 후 2013년 3월 10일, 30월 20일, 30월 30일, 4월 10일, 4월 20일에 파종하고 감자를 재배하기 위하여 8월 3일에 경운하였다. 헤어리베치와 호밀 재배에 의한 토양비옥도 변화를 조사하기 위하여 생육 및 양분공급량이 우수한 3월 10일 파종일을 대상으로 하여 경운 후 1주일 간격으로 3주간 토양화학성 변화를 조사하였다(Table 13).

헤어리베치와 호밀 모두 경운 3주 후의 질산성이온(NO_3^-), 유효인산(P_2O_5) 및 치환성칼륨 함량은 시험전에 비해 대체로 증가하였으나, 치환성 칼슘 및 마그네슘 함량은 다소 낮아졌다. 또한 토양염류(EC) 농도는 다소 높아지고 토양산도(pH)는 다소 낮아졌다. 특히 헤어리베치에서 경운전의 질산성질소 함량이 1,198 mg/k으로 매우 높았으나 경운 후에는 상당량이 감소하였다. 헤어리베치 등 콩과 식물의 뿌리혹박테리아는 개화기부터 서서히 분해되면서 공기중에서 고정된 질소 함량이 서서히 감소한다고 알려져 있다. 본 시험에서도 이와 비슷한 결과로 생각 되며, 경운 후에는 질소무기화와 강우에 의해 급속히 감소된 것으로 판단된다. 이상의 결과 제주 화산회토양에서 당근, 감자 등 월동작물 재배 후 휴경 기간 동안 3월 10일 이전에 파종한 후 6월하~7월상순(당근재배시), 7월하순~8월상순(감자재배시)에 경운하고 약 1개월 정도 부숙시켜 종자를 파종하기 전에 토양검정을 하여 부족분의 비료를 살포하면 화학비료를 절감 할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 13. Chemical properties of soils according to *Vicia villosa* and *Secale cereale* cultivation

Corps	Plowing date	pH (1:5)	EC (dS/m)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-cmol ⁺ /kg		
						K	Ca	Mg
	Test before [†]	5.2	0.29	12.8	187	0.71	3.8	0.9
	BPD ^{††}	4.8	0.85	1,198	605	0.61	3.7	0.7
<i>Vicia villosa</i>	AW1 ^{†††}	4.6	0.55	142	462	0.80	2.8	0.5
	AW2	4.8	0.65	142	475	0.91	3.3	0.6
	AW3	4.6	0.67	228	445	0.92	3.1	0.6
<i>Secale cereale</i>	BPD	5.1	0.49	387	573	0.81	4.4	0.9
	AW1	4.8	0.47	76.1	378	0.91	4.0	0.8
	AW2	5.0	0.67	101	431	1.03	4.3	0.9
	AW3	4.6	1.36	292	364	1.11	3.5	0.8

[†] Test before date, 3/10; Before plowing date, 7/20, plowing date, 8/3

^{††} BPD, Before plowing date

^{†††} AW1, After 1 week; AW2, After 2 week; AW3, After 3 week

(5) 헤어리베치와 호밀 재배 시 양분공급 효과

2013년 3월부터 8월까지 약 6개월 동안 성산읍 고성리에서 제주화산회토양에 알맞는 친환경적인 토양양분관리 기술개발을 위하여 당근, 감자 등 작물 수확 후 휴경기에 적합한 선밭 녹비작물의 파종시기 시험을 수행하였다. 본 시험에서는 헤어리베치와 호밀 재배시 양분공급량이 우수한 3월 10일 파종일을 대상으로 하여 양분공급 능력에 따른 효과를 분석하였다(Table 14).

양분 공급효과는 헤어리베치가 질소 46.5 kg/10a, 인산 11.0 kg/10a 및 칼리 82.3 kg/10a로 호밀보다 우수하였다.

Table 14. Nutrient supply effect of *Vicia villosa* and *Secale cereale*

Seeding rate [†]	Nutrient supply amount(kg/10a)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total
<i>Vicia villosa</i> (9.9kg/10a)	46.5a [†]	11.0a	82.3a	139.8a
<i>Secale cereale</i> (15.4kg/10a)	11.4b	7.41b	46.6b	65.41b

[†] Seeding date, 2013. 3. 10

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

2. 녹비작물 토양환원 후 토양화학성 변화 및 토양환원시기 구명

1) 녹비작물 토양환원 후 토양화학성 변화

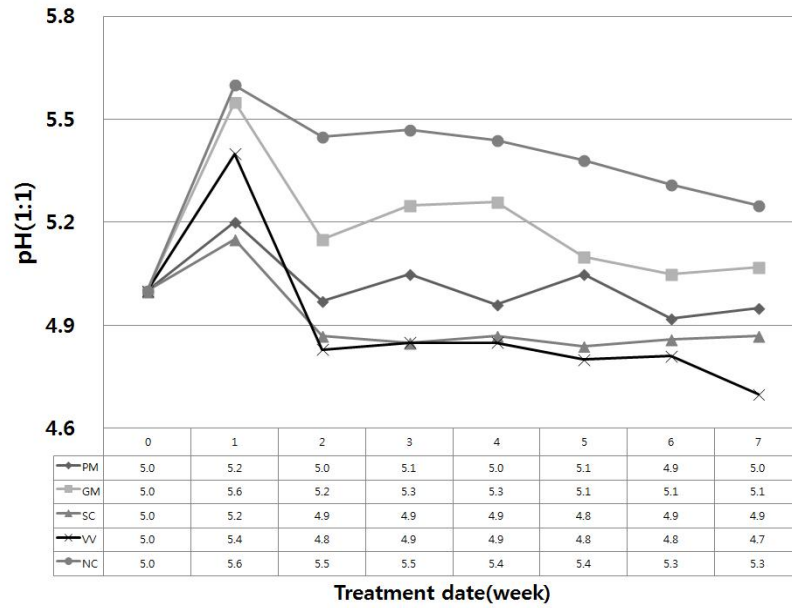
제주 화산회토양에서 녹비작물의 무기화특성을 구명하기 위하여 녹비작물을 6월 중하순('11년 6/12, '12년 6/27)에 트랙터로 경운하여 토양에 투입하였다. 녹비작물을 토양에 투입한 후 8월 초순('11년 7/17, '12년 8/1)까지 1주일 간격으로 토양을 채취하고 녹비작물의 분해 및 질소무기화 과정에 의한 토양중의 pH, EC 및 NO₃⁻ 함량 변화를 조사하였다.

(1) 실내 포트시험

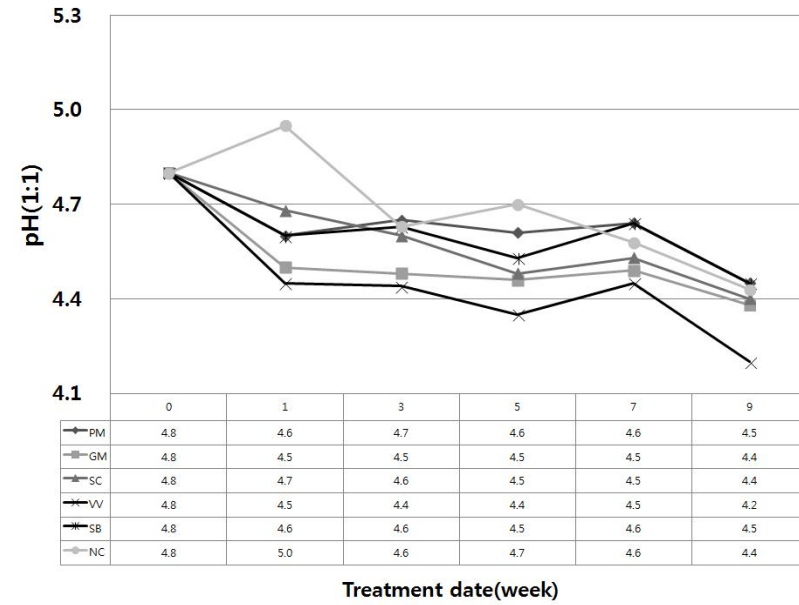
Fig. 5에서 보는 바와 같이 pH는 '11년도인 경우 처리 7주 후 헤어리베치, 호밀, 기장은 각각 4.68, 4.87, 4.96으로 초기 5.01보다 낮았으나 콩, 무재배는 각각 5.04, 5.24로 초기 5.01보다 다소 높았다. '12년도인 경우는 처리 9주 후 헤어리베치, 호밀, 콩, 무재배, 기장, 수단그라스는 각각 4.2, 4.4, 4.4, 4.4, 4.5, 4.5로 초기 4.8보다 다소 낮았다. pH는 일반적으로 녹비작물 모두 무기화가 진행됨에 따라 처리 7주와 9주 후에는 헤어리베치가 최고 0.3~0.6 정도까지 지속적으로 내려가는 경향이었으나 연도간에 다소 차이를 보였다. 이것은 녹비작물의 질소무기화가 진행됨에 따라 질산성이온(NO₃⁻) 등 음이온 함량이 양이온의 함량보다 상대적으로 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 연도간에 다소 차이를 보이는 것은 토양의 조건과 2011년과 2012년도의 녹비작물 수확량이 차이가 있었음에 따라

조건이 다른 토양과 녹비작물 시료를 10a당 수확량에 해당하는 양을 사용했기 때문인 것으로 판단된다. EC는 2011년도인 경우 처리 7주 후 호밀, 헤어리베치, 기장, 콩, 무재배는 각각 4.14, 4.06, 2.42, 2.16, 2.10 dS/m으로 처리전 0.36 dS/m에 비해 호밀은 3.78 dS/m, 헤어리베치는 3.70 dS/m 증가하여 제일 높았다. 2012년도인 경우는 처리 9주 후 헤어리베치, 호밀, 콩, 기장, 수단그라스, 무재배는 각각 3.28, 2.39, 2.08, 1.83, 1.69, 1.17 dS/m으로 처리전 0.33 dS/m에 비해 헤어리베치가 2.95 dS/m 증가하여 제일 높았다. NO_3^- 함량은 '11년도인 경우 처리 7주 후 헤어리베치, 호밀, 콩, 기장, 무재배는 각각 867, 806, 454, 394, 243 mg/kg로 처리전 34 mg/kg에 비해 헤어리베치는 833 mg/kg, 호밀은 772 mg/kg 증가하여 제일 높았다. '12년도인 경우는 처리 9주 후 헤어리베치, 호밀, 콩, 기장, 수단그라스, 무재배는 각각 838, 497, 489, 362, 358, 249 mg/kg로 처리전 21 mg/kg에 비해 헤어리베치가 817 mg/kg 증가하여 제일 높았다.

이것은 헤어리베치와 호밀인 경우는 다른 녹비작물에 비해 10a당 수량성 및 건물량과 공급되는 질소 등 양분함량이 제일 높기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 EC와 NO_3^- 함량은 녹비작물 모두 처리 2~3주까지는 급속히 증가하였고, 3주 이후 부터는 완만하게 증가하는 경향을 보였다. EC의 증가량으로 보았을 때 토양미생물에 의한 녹비작물의 무기화가 처리 2~3주까지는 80%정도 진행되고, 3주 이후에는 나머지 20%정도가 진행되는 것으로 생각된다. 또한 NO_3^- 함량 증가량으로 보았을 때 토양미생물에 의한 녹비작물의 무기화가 처리 2~3주까지는 70%정도 진행되고, 3주 이후에는 나머지 30%정도가 진행되는 것으로 판단된다.



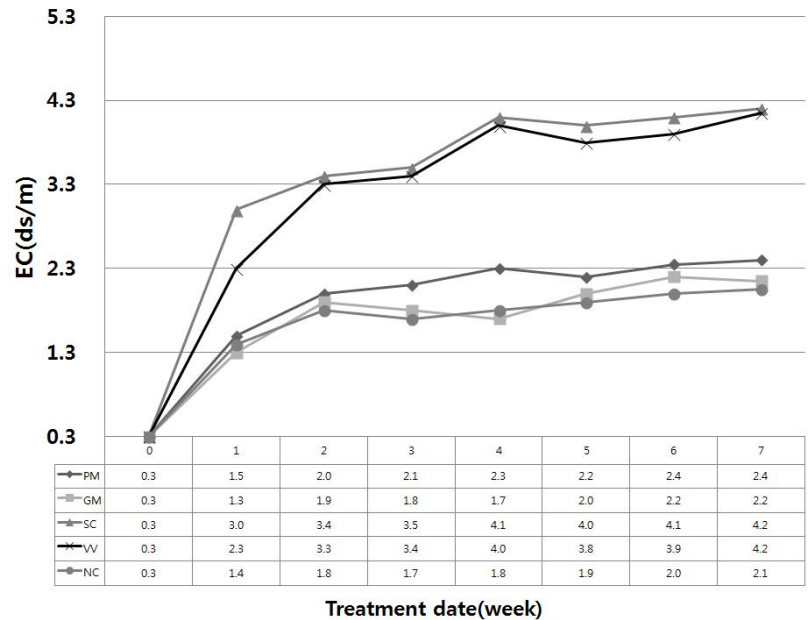
Year 2011



Year 2012

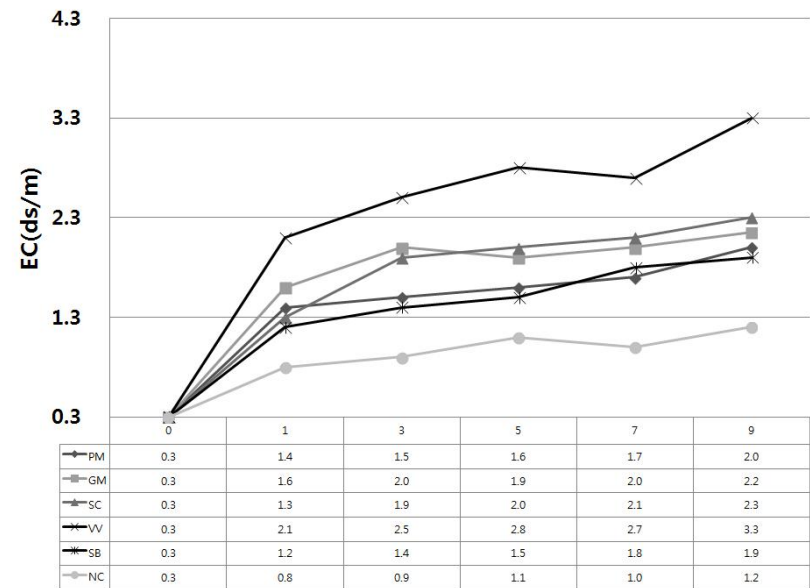
Fig. 5-1. pH concentration variation of soils according to green manure crops mineralization on the indoor test result.

† PM, *Panicum miliaceum*; GM, *Glycine max*; SC, *Secale cereale*; VV, *Vicia villosa*; SB, *Sorghum bicolor*; NC, Non-cultivation



Treatment date(week)

Year 2011



Treatment date(week)

Year 2012

Fig. 5-2. EC concentration variation of soils according to green manure crops mineralization on the indoor test result.

† PM, *Panicum miliaceum*; GM, *Glycine max*; SC, *Secale cereale*; VV, *Vicia villosa*; SB, *Sorghum bicolor*; NC, Non-cultivation

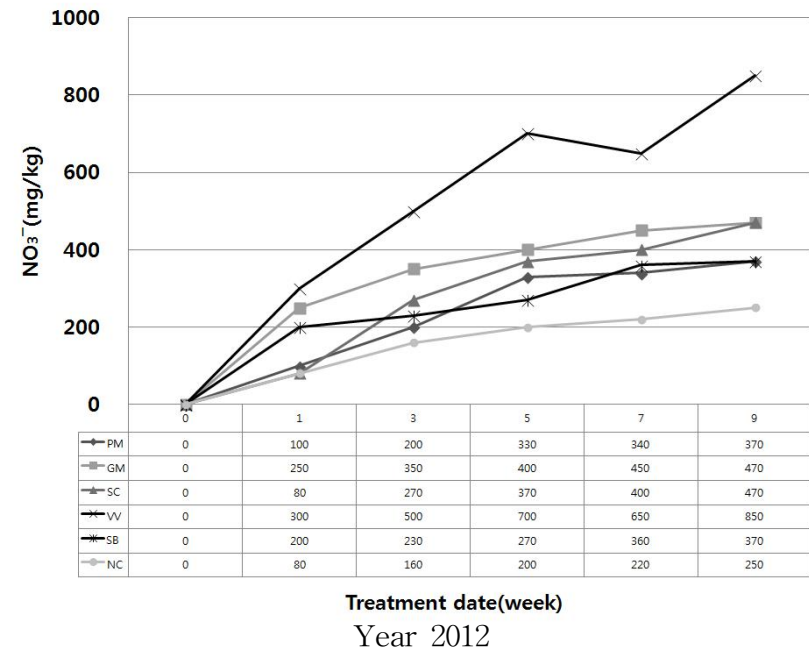
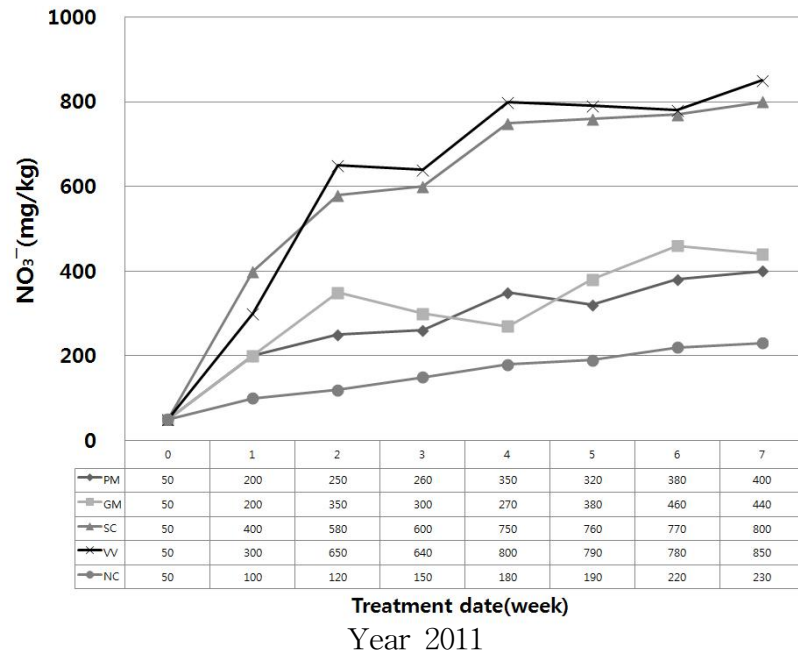


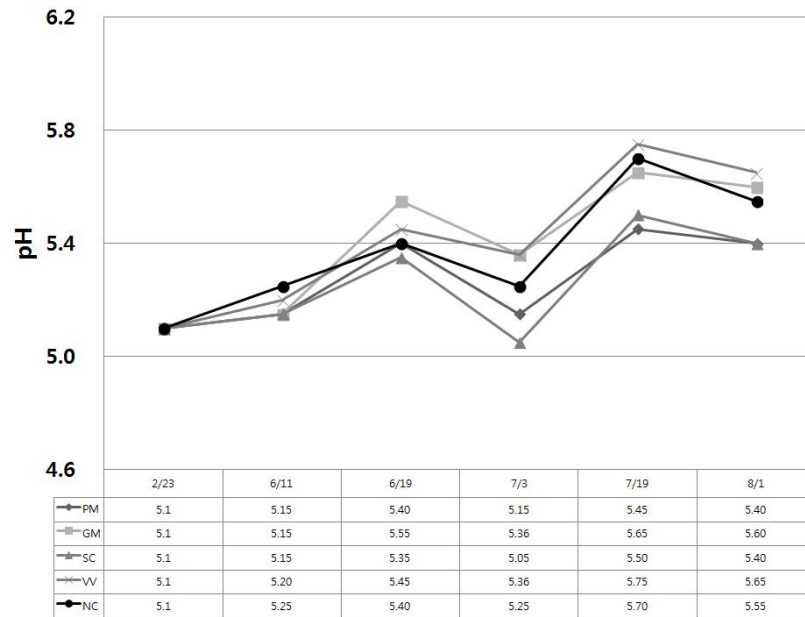
Fig. 5-3. NO_3^- concentration variation of soils according to green manure crops mineralization on the indoor test result.

† PM, *Panicum miliaceum*; GM, *Glycine max*; SC, *Secale cereale*; VV, *Vicia villosa*; SB, *Sorghum bicolor*; NC, Non-cultivation

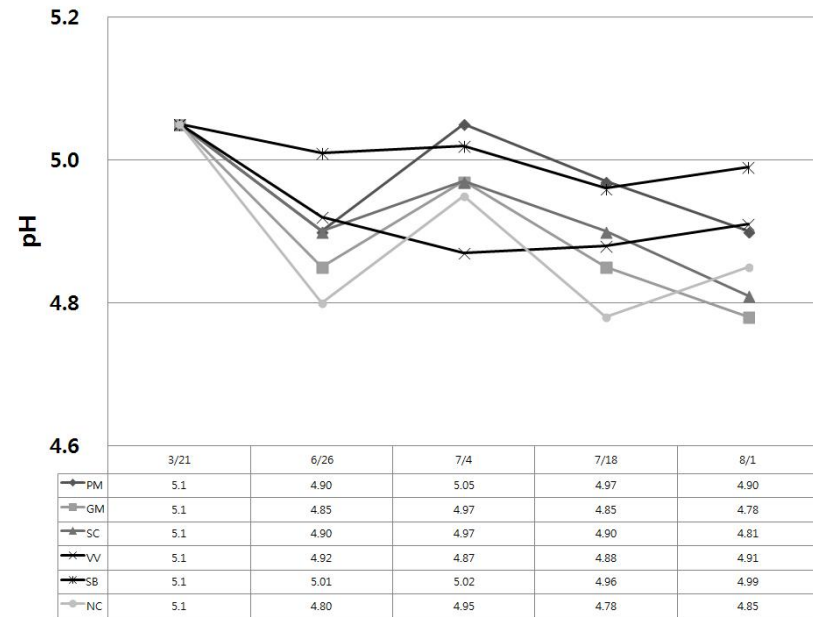
(2) 노지 포장시험

Fig. 6에서 보는 바와 같이 pH는 2011년도에는 경운 경과일에 따라 높아졌다가 낮아지는 경향을 반복하였고, 2012년도에는 경운 1주 후에는 높아졌다가 그 후로는 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 경향은 pH가 높아지는 시기는 강우량이 많아 질산성이온(NO_3^-) 등 음이온의 용탈이 많아지고, pH가 낮아지는 시기는 강우량이 거의 없고 녹비작물의 질소무기화로 인해 질산성이온(NO_3^-) 등 음이온이 집적되기 때문인 것으로 생각되었다. EC는 2011년도인 경우 초기 경운 후 3주까지는 높아졌다가 그 후로는 낮아지는 경향이었고, 2012년도인 경우는 경운 후 1주부터 5주까지 계속 높아졌다. 2011년도에 EC가 경운 후 3주 후부터 낮아진 것은 경운 후 3주에서 5주 사이에 강우량이 313mm로 많아 질산성이온(NO_3^-) 등 음이온의 양분 용탈이 많았기 때문인 것으로 생각된다. NO_3^- 함량은 2011년도에는 경운 경과일에 따라 낮아졌다가 높아지는 경향을 반복하였고, 2012년도에는 경운 1주 후부터 계속 높아지는 경향을 보였다. 특히 NO_3^- 함량은 강우량과 관련하여 pH가 낮아지는 시기에는 높아지고, pH가 높아지는 시기에는 낮아지는 경향을 보였다. 이와 같이 노지 포장에서 녹비작물의 무기화에 따른 pH, EC 및 NO_3^- 함량은 강우량에 따라 크게 좌우되는 것으로 판단된다. 본 시험에서는 녹비작물의 무기화에 따른 EC와 NO_3^- 함량은 헤어리베치와 호밀이 제일 높은 경향을 보였다. 윤 등(2006)에 의하면 피복, 토양 및 온도조건 처리별 헤어리베치의 부숙화율이 50%에 도달하는 일수는 온도 30°C 처리구가 5일로 가장 빨랐고 다른 처리구는 15~18일로 느렸다. 이는 수분이나 주위 환경에 따라 헤어리베치가 부숙되는 속도가 달라진다고 하였다.

부숙화 진전에 따른 질소잔존량으로 비교해 보면, 처리전에는 32 g/kg였지만 50일 뒤에는 6 g/kg 였으며, 처리 후 5일에 토양수분 100%인 온도처리 조건에서 급격하게 변화하였다. 다량원소의 가용화율은 처리후 일수가 늘어남에 따라 가용화율이 증가하는데, 처리후 50일에 모든 처리조건에서 N은 80%이상, K는 90%이상의 가용화율을 보였다. 이 등(2006)은 겨울철 휴한기 10월 상순에 파종하고 이듬해 5월 상순에 수확하여 지상부의 양분함량을 조사한 결과 헤어리베치인 경우는 녹비로 사용할 경우 분해 및 질소무기화 과정이 용이하여 작물이 양분을 쉽게 이용할 수 있을 것으로 판단하였다.



Year 2011



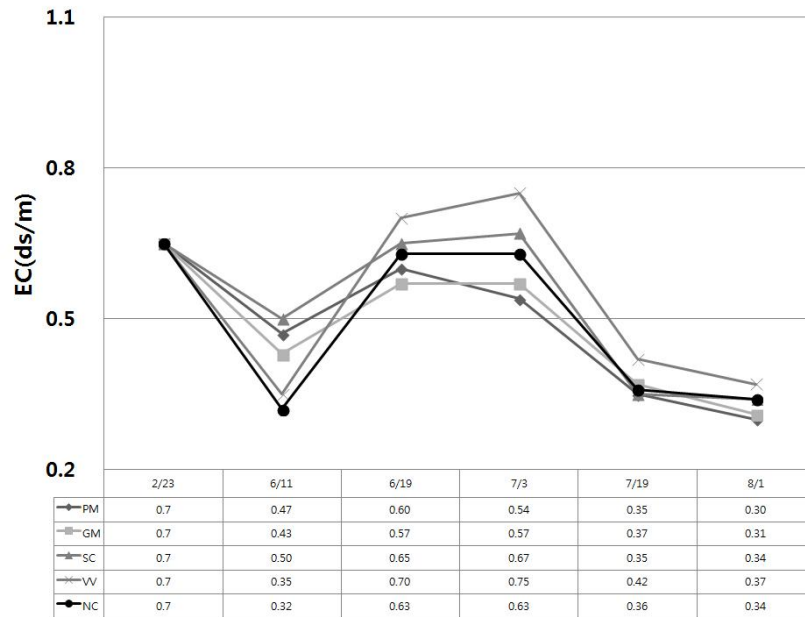
Year 2012

Fig. 6-1. pH concentration variation of soils according to green manure crops mineralization on the experimental field.

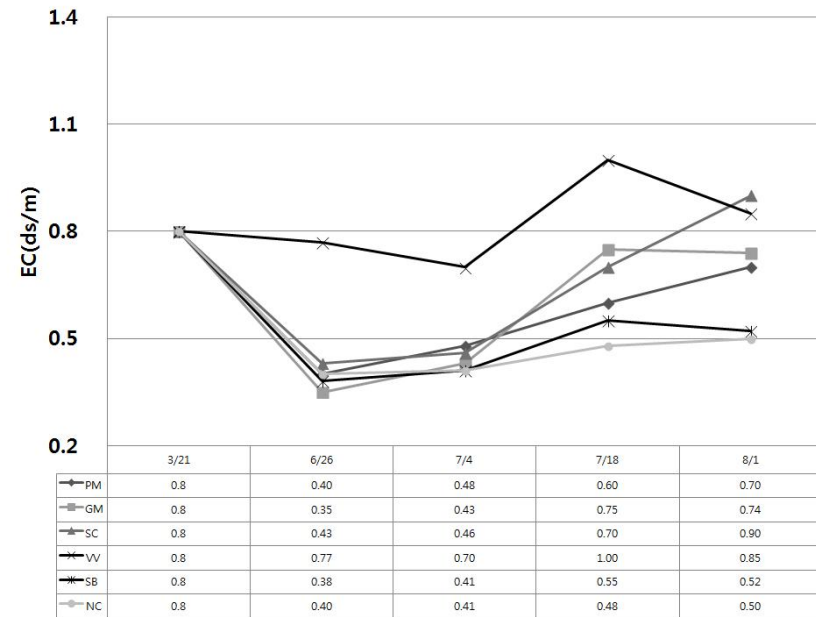
Year 2011 : Test before date 2/23, Before plowing date 6/11, After plowing date 6/19 (After 1 week), 7/3 (After 3 week), 7/19 (After 5 week), 8/1 (After 7 week)

Year 2012 : Test before date 3/21, Before plowing date 6/26, After plowing date 7/4 (After 1 week), 7/18 (After 3 week), 8/1 (After 5 week)

† PM, *Panicum miliaceum*; GM, *Glycine max*; SC, *Secale cereale*; VV, *Vicia villosa*; SB, *Sorghum bicolor*; NC, Non-cultivation



Year 2011



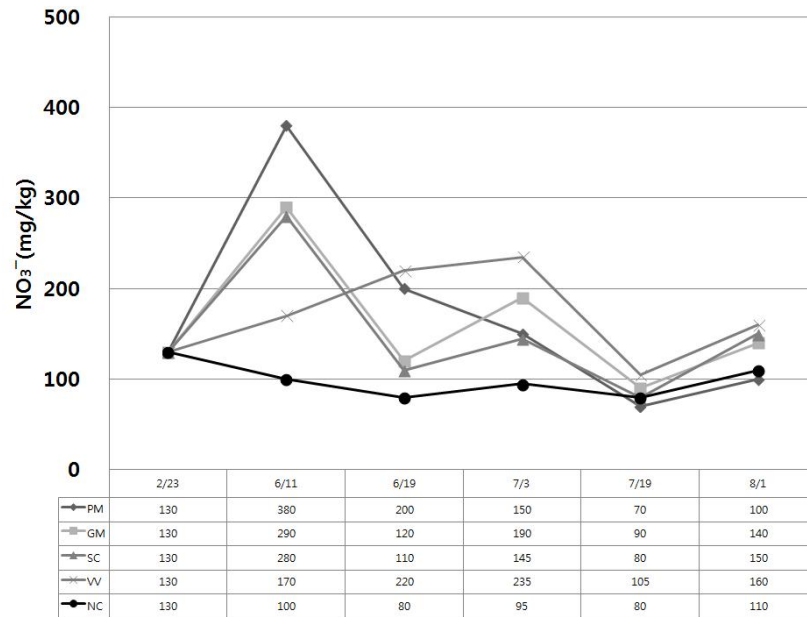
Year 2012

Fig. 6-2. EC concentration variation of soils according to green manure crops mineralization on the experimental field.

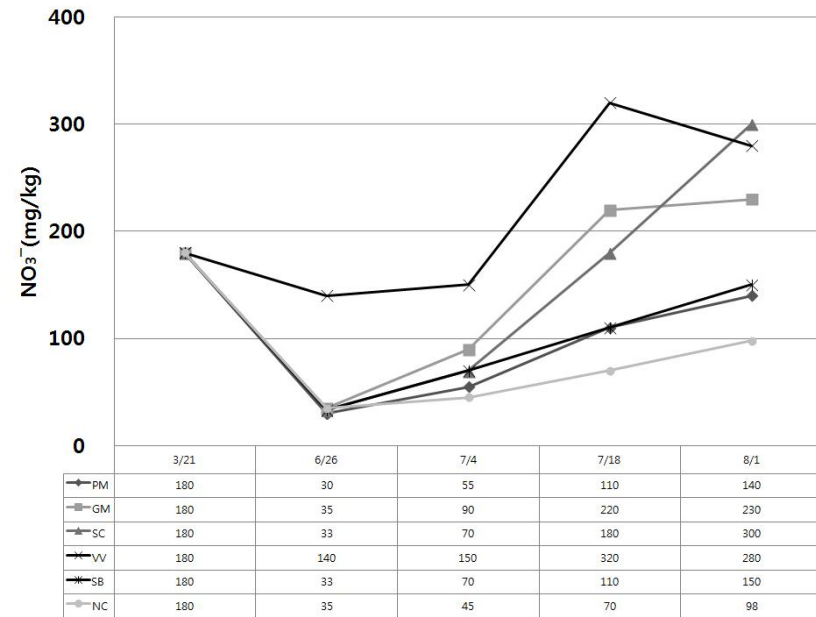
Year 2011 : Test before date 2/23, Before plowing date 6/11, After plowing date 6/19 (After 1 week), 7/3 (After 3 week), 7/19 (After 5 week), 8/1 (After 7 week)

Year 2012 : Test before date 3/21, Before plowing date 6/26, After plowing date 7/4 (After 1 week), 7/18 (After 3 week), 8/1 (After 5 week)

† PM, *Panicum miliaceum*; GM, *Glycine max*; SC, *Secale cereale*; VV, *Vicia villosa*; SB, *Sorghum bicolor*; NC, Non-cultivation



Year 2011



Year 2012

Fig. 6-3. NO_3^- concentration variation of soils according to green manure crops mineralization on the experimental field.

Year 2011 : Test before date 2/23, Before plowing date 6/11, After plowing date 6/19 (After 1 week), 7/3 (After 3 week), 7/19 (After 5 week), 8/1 (After 7 week)

Year 2012 : Test before date 3/21, Before plowing date 6/26, After plowing date 7/4 (After 1 week), 7/18 (After 3 week), 8/1 (After 5 week)

† PM, *Panicum miliaceum*; GM, *Glycine max*; SC, *Secale cereale*; VV, *Vicia villosa*; SB, *Sorghum bicolor*; NC, Non-cultivation

2) 녹비작물 토양환원 시기 구명

(1) 시험기간 강우량

시험기간 강우량은 2013년도는 6월 28일부터 8월 23일 까지 강우량은 83.5 mm로 적었으며, 특히 6월 28일부터 8월 18일까지 24 mm로 아주 적었다(Fig. 7).

2014년 6월 28일부터 8월 22일 까지 강우량은 590.4 mm이었으며, 7월 15일까지 강우량은 293 mm로 시험기간 동안 총강우량의 49.6%가 집중되었다(Fig. 8).

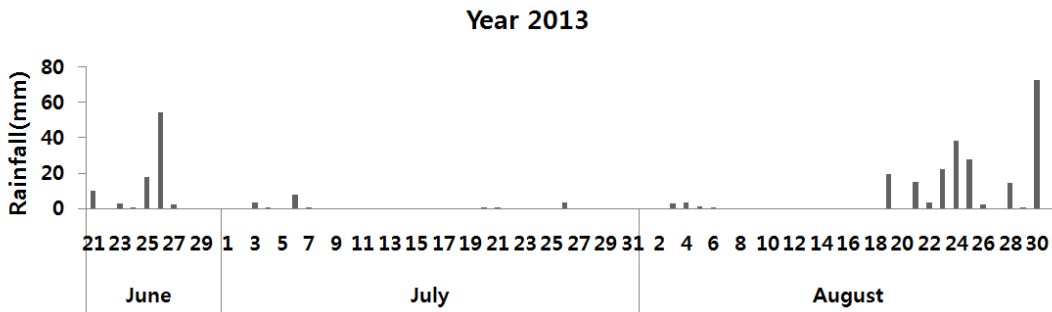


Fig. 7. Average rainfall in year 2013.

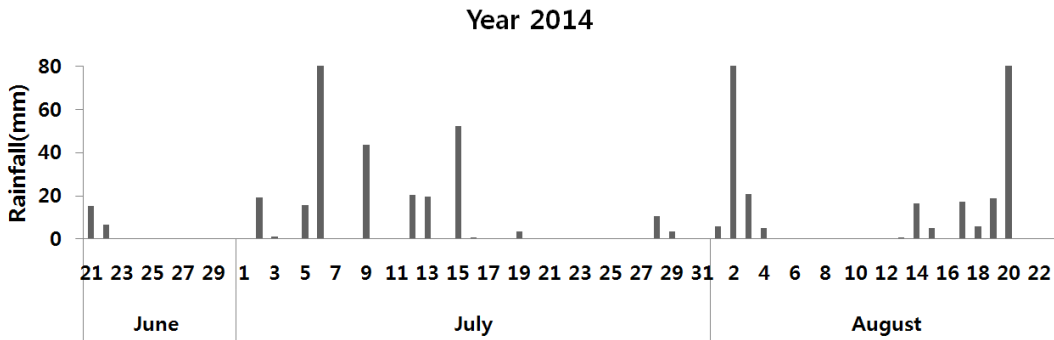


Fig. 8. Average rainfall in year 2014.

(2) 토양 질산태질소 및 암모니아태 변화

녹비작물 토양환원 시기를 결정하기 위하여 녹비작물 토양환원에 따른 토양 화학성 변화를 조사하였다. 토양환원 처리별로 2013년은 8월 23일에 조사하였으며, 2014년은 8월 22일에 조사하여 토양환원 시기별로 토양의 질산태 및 암모니아태 질소 함량을 비교하였다(Fig. 9).

2013년도에 질산태질소 함량은 헤어리베치구가 헤어리베치+호밀 혼파구보다 높은 경향이나 차이는 없었다. 토양환원 시기별로 질산태질소 함량은 60 mg/kg 내외로 높게 유지가 되었으며 시기별 차이는 없었다. 암모니아태질소 함량은 헤어리베치+호밀 혼파구가 헤어리베치 단파구보다 높은 경향이었으며, 파쇄시기가 늦을수록 많았다. 이런 결과는 2013년도에는 시험기간 동안 강우가 6월 28일부터 8월 18일까지 24 mm로 아주 적어(Fig. 7) 무기화로 인하여 토양에 양분이 집적되었기 때문인 것으로 생각된다.

2014년도에 파쇄시기별 토양의 질산태질소와 암모니아태 질소함량은 토양환원이 가장 늦게 처리된 7월 31일 파쇄가 6월 28일 파쇄보다 높은 경향이였다. 이것은 2014년 6월 28일부터 8월 22일 까지 강우량은 590.4 mm이었으며, 7월 15일까지 강우량은 293 mm로 시험기간 동안 총강우량의 49.6%가 집중되어(Fig. 8) 강우에 의해 유실이 많이 된 것으로 판단된다. 이와 같이 2013년과 2014년에 토양중의 질산태질소 함량 차이가 많이 나타난 것은 강우량에 크게 좌우 되는 것으로 생각된다.

녹비작물 종류별 암모니아태 질소는 헤어리베치+화본과를 혼파한 처리가 헤어리베치 단파보다 높은 경향이였다. 이것은 두과녹비작물인 헤어리베치와 크립손크로버는 토양환원 8주만에 75~80%가 분해된 반면 화본과인 호밀은 50%가 분해되어 화본과보다는 두과에서 분해가 빨리 이루어지기 때문에(Wagger, 1989) 헤어리베치+화본과를 혼파 했을 때 녹비분해가 오래 지속되기 때문이다. 녹비작물의 양분을 효율적으로 사용하기 위해서는 녹비작물이 무기화되어 토양으로 방출되는 시기와 후작물이 질소를 필요로 하는 시기를 일치시켜야 녹비의 양분을 효율적으로 이용할 수 있으므로(Wagger, 1989) 녹비를 7월 하순에 토양에 환원 하는 것이 녹비양분을 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

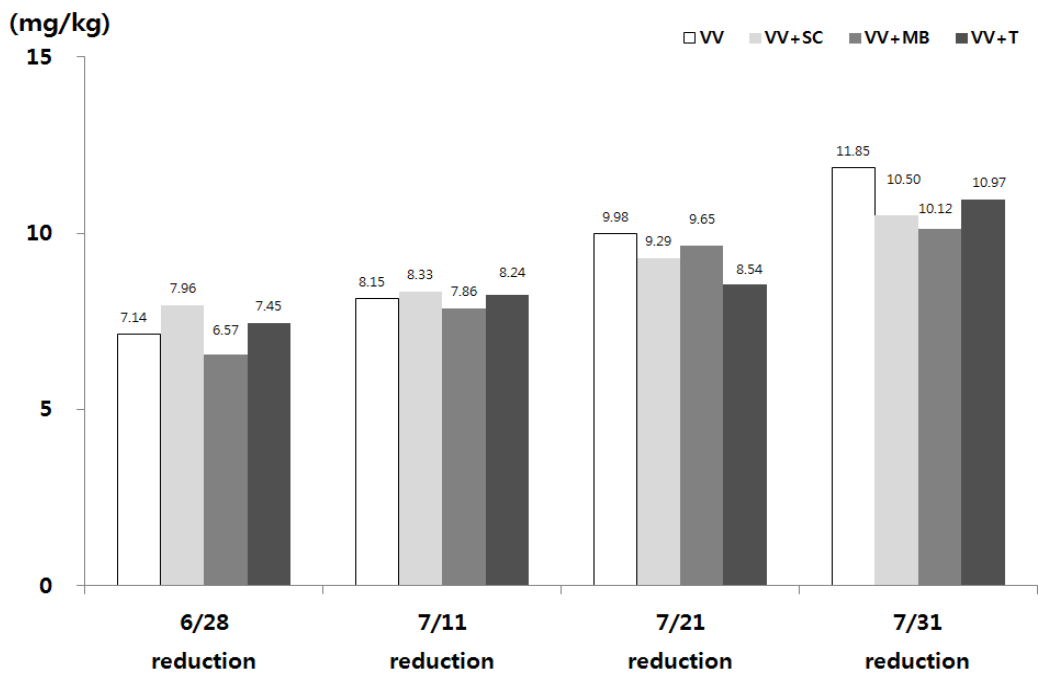
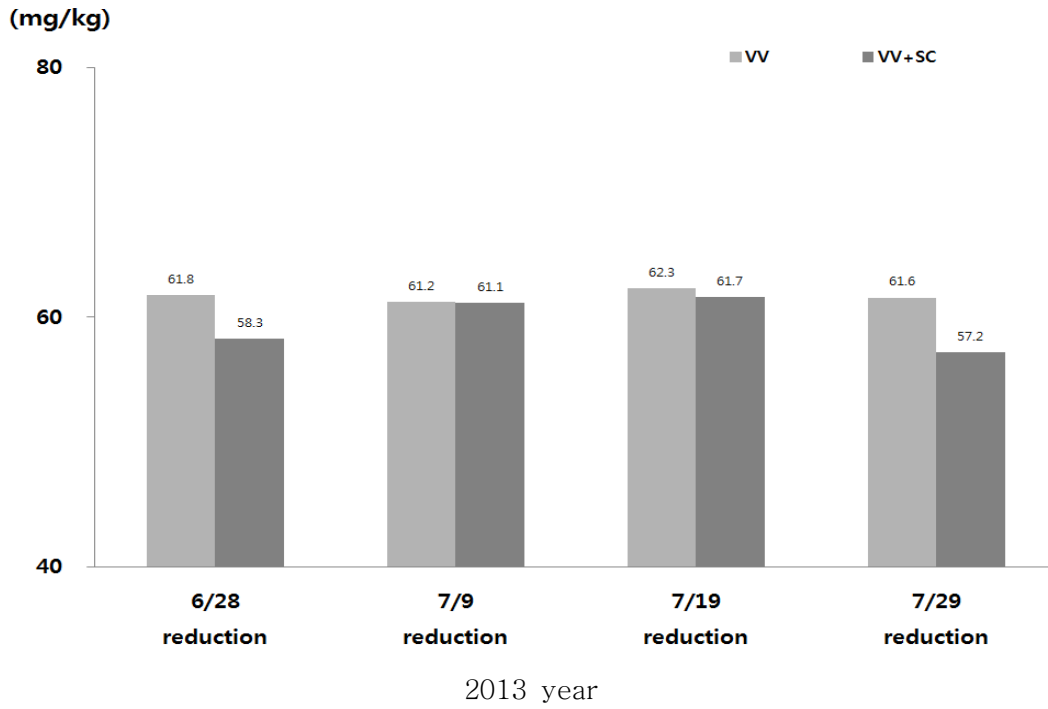


Fig. 9-1. NO_3^- -N concentration variation of soils according to crush green manure crops.

[†] VV, *Vicia villosa*; SC, *Secale cereale*; HV, *Hordeum vulgare*; TW, *Triticosecale wittmack*

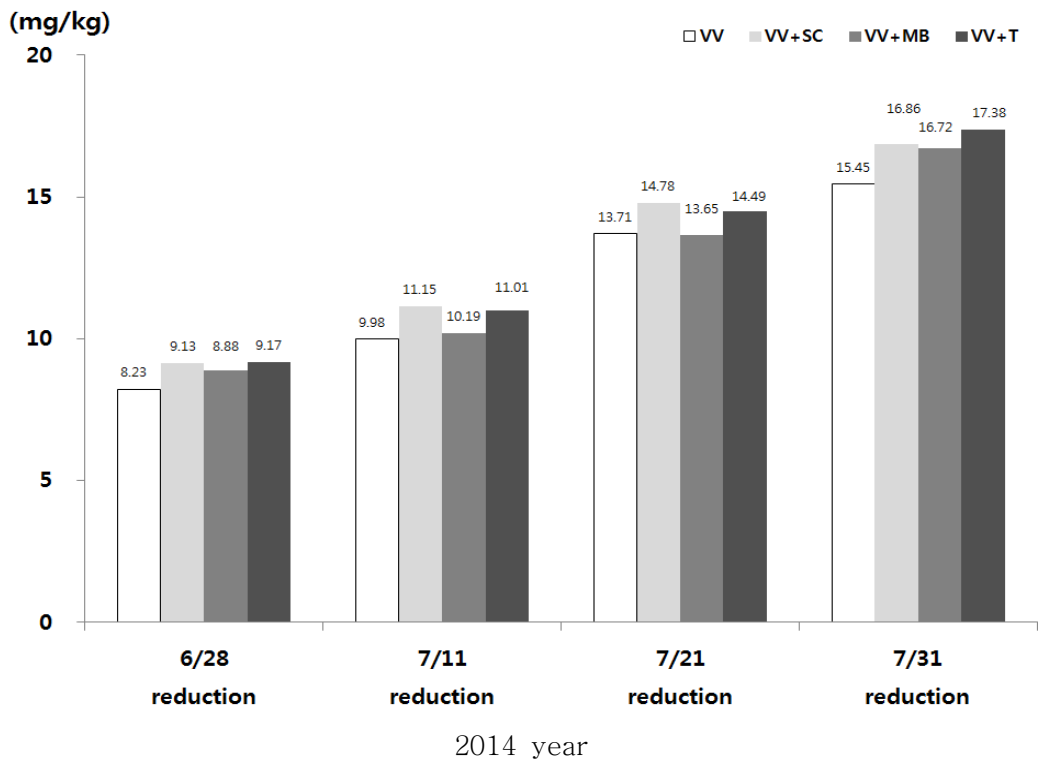
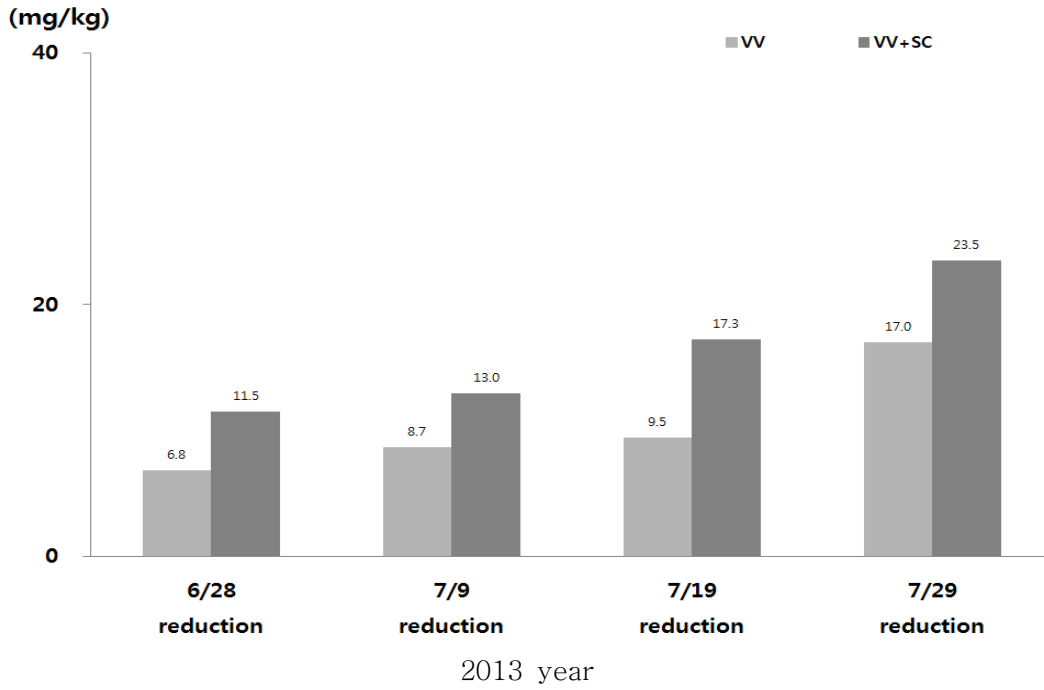


Fig. 9-2. NH₄⁺-N concentration variation of soils according to crush green manure crops.

† VV, *Vicia villosa*; SC, *Secale cereale*; HV, *Hordeum vulgare*; TW, *Triticosecale wittmack*

3. 월동작물 재배지에서 녹비작물에 의한 생산성 향상 연구

1) 시험토양 및 돈분액비 화학적 특성

녹비작물 수량은 헤어리베치 단과구 평균 400 kg/10a a보다 헤어리베치와 호밀 혼과구 평균 510 kg/10a로 증가되었다 (Table 15). 녹비작물은 두과작물 단과구보다는 두과와 화본과를 혼과했을 때 수량이 증가되는데(Kim et al., 2011b; Lee et al., 2012), 본 연구결과와 같은 경향이였다. 이런 결과는 헤어리베치가 호밀을 지주로 삼고 성장하여 수광율이 높아져서 생장이 좋아지기 때문이다 (Kim et al., 2002). 헤어리베치 단과구에서 무비구 380 kg/10a, 돈분액비구 410 kg/10a 및 화학비료구 410 kg/10a으로 돈분액비와 화학비료 시비로 수량이 증가되었으나 유의적인 차이는 없었다. 헤어리베치와 호밀 혼과구의 수량은 무비구 420 kg/10a, 돈분액비구 540 kg/10a 및 화학비료구 570 kg/10a으로 돈분액비와 화학비료 시비로 수량이 증가되었다. 그러나 돈분액비구와 화학비료 시비구간에 수량차이는 나타나지 않았다. 헤어리베치 단과구에 돈분액비 시용으로 수량이 증가되었으나 (Lee et al., 2011), 본 연구에서는 헤어리베치 수량은 돈분액비나 화학비료 시용으로 증가율이 8%로 크지 않았다. 이런 결과는 두과 녹비작물은 돈분액비를 사용하지 않더라도 스스로 공중질소를 고정하여 생육하는 특성 때문에 돈분액비에 의한 영향이 적기 때문이다(Lee et al., 2014). 그리고 헤어리베치와 호밀 혼과구의 수량은 돈분액비나 화학비료에 의해 증가율이 29~36%로 높았다. 이것은 화본과 녹비작물은 두과 녹비작물과 달리 공중질소를 고정하는 능력이 없기 때문에 다량의 양분이 필요하므로 돈분액비 시용으로 생육이 증가(Lee et al., 2014)된 것으로 판단된다.

녹비작물에 의한 토양에 질소 공급량은 헤어리베치+호밀 혼과구가 헤어리베치 단과구보다 7.4%정도 많았으나, 유의적인 차이는 없었다(Table 16). 이런 결과는 화본과와 두과를 혼과하면 화본과만 파종했을 때 보다 질소공급이 유리하다(Kim et al., 2011b)고 한 결과와 비슷하였으나, 질소공급량이 차이가 크지 않은 것은 호밀이 생육후기로 갈수록 목질화가 이루어져 질소함량이 낮기 때문이다 (Kim et al., 2011a). 헤어리베치 단과구에서 무비구와 돈분액비 처리구 및 화학비료구간에 차이가 나타나지 않았다. 이것은 헤어리베치는 공중질소를 고정하는 능력이 있는 두과작물이기 때문에 돈분액비나 화학비료에 의한 영향이 적기

때문으로 판단된다. 헤어리베치와 호밀 혼파구에서 질소 공급량은 무비구보다 돈분액비 시비구와 화학비료 시비구에서 23~32% 높았다. 돈분액비 무시용구 대비 하여 질소공급 증가율은 화분과 녹비작물이 두과 녹비작물에 비해 높다 (Lee et al., 2014)고한 결과와 같은 경향이였다.

Table 15. Effect of green manure crops and fertilization on dry matter production

Treatments	NF [†]	LPM	CF	Means
	kg/10a			
<i>Vicia villosa</i>	380a ^{††}	410a	410a	400b
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	420b	540a	570a	510a

[†] NF: non fertilizer, LPM: liquid pig manure, CF: chemical fertilizer

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 16. Nitrogen supply amounts of green manure crops

Treatments	NF [†]	LPM	CF	Means
	kg/10a			
<i>Vicia villosa</i>	11.71a ^{††}	12.66a	12.61a	12.33b
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	11.16b	13.78a	14.77a	13.24a

[†] NF: non fertilizer, LPM: liquid pig manure, CF: chemical fertilizer

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

녹비작물에 의한 토양에 인산 공급량은 헤어리베치 단파구 1.07 kg/10a, 헤어리베치+호밀 혼파구가 1.44 kg/10a로 많았다(Table 17). 녹비작물의 인산함량은 화분과보다 두과작물이 약 2배 정도 많은 인산을 함유하고 있는데(Cho et al.,

2006), 본 연구에서 혼파구에서 높은 것은 벼를 통해서 흡수된 인산의 양은 벼짚과 조곡수량이 많은 처리구에서 높다(Kim et al., 2012)고 한 결과와 같은 경향이 있었다. 또한 Lee et al.(2014)은 두과 녹비작물에 비해 화분과 녹비작물에서 인산 공급량이 매우 높다고 하였다. 그리고 무비구보다 돈분액비와 화학비료 시비구의 인산 공급량이 많은 것은 Table 15에 나타난 바와 같이 녹비작물의 수량이 많기 때문이다. 제주도 화산회토양은 인산 고정력이 높고(Shin and Kim, 1975), 토양에 인산비료가 시용된 후 식물생육에 이용되는 인산은 적으며 대부분이 인산성분이 불용화 된다(Joa et al., 2007). 그러나 녹비작물 투입에 따른 토양 내 인산함량 변화는 녹비작물이 재배되는 동안 토양 중 인산을 흡수하였다가 토양에 환원되는 과정에 분해되어 작물 재배기간 동안 용출되므로(Cho et al., 2006) 화산회토양에서 녹비작물 환원시 토양 내 인산함량 변화와 후 작물의 생육에 미치는 영향에 대한 검토가 필요하다.

Table 17. Phosphorus supply amounts of green manure crops

Treatments	NF [†]	LPM	CF	Means
	kg/10a			
<i>Vicia villosa</i>	0.95b ^{††}	1.14a	1.13a	1.07b
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	1.21b	1.51a	1.62a	1.44a

[†] NF: non fertilizer, LPM: liquid pig manure, CF: chemical fertilizer

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

녹비작물에 의한 토양에 칼리 공급량은 헤어리베치 단파구 12.37 kg/10a, 헤어리베치+호밀 혼파구가 15.06 kg/10a로 헤어리베치와 호밀 혼파구가 많았다. 그리고 무비구보다 돈분액비 시비구와 화학비료 시비구에서 많았으며, 돈분액비 시비구와 화학비료 시비구간에 차이가 없었다(Table 18). 이런 결과는 질소 및 인산 공급량과 같은 경향이였다. 식물체에 의한 양분공급량은 식물체의 양분함량보다 수량에 의존적이기 때문에 수량 증가율이 높은 화분과 녹비작물이 두과 녹비작

물보다 칼륨증가율이 높다(Lee et al., 2014). 본 연구에서도 Table 15에 나타난바와 같이 헤어리베치와 호밀 혼파구의 수량은 헤어리베치 단파보다 돈분액비 및 화학비료 시비구에서 높기 때문이다.

Table 18. Potassium supply amounts of green manure crops

Treatments	NF [†]	LPM	CF	Means
	kg/10a			
<i>Vicia villosa</i>	11.21b ^{††}	12.52ab	13.37a	12.37b
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	12.32b	15.91a	16.93a	15.06a

[†] F: non fertilizer, LPM: liquid pig manure, CF: chemical fertilizer

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

2) 침투수중의 질산태질소 함량 변화

녹비작물 재배기간 동안 돈분액비 시용에 따른 침투수중 질산태질소 함량에 미치는 영향을 측정하고자 돈분액비를 시용한 다음 매 강우시 마다 토양속으로 용탈된 용탈수를 채취하여 질산태질소의 농도를 측정한 결과는 Fig. 10에 나타내었다.

토양 용탈수 중의 질산태질소 함량은 화학비료나 돈분액비 처리구 모두 무비구에 비하여 침투수 중의 질산태질소 농도가 초기에 높게 나타나 질소성분의 일부가 토양 침투수로 유실되고 있는 것으로 나타났다. 그러나 시일이 경과됨에 따라 점차 감소하여 후기에는 무비구와 차이가 없었으며, 농업용수 수질기준인 20 mg/kg보다 낮아 녹비재배시 가축분뇨나 화학비료를 시용하여도 문제가 없을 것으로 판단된다. 화학비료구와 돈분액비 시용구 간에 용탈수의 질산태질소 농도 차이가 매우 적었다. 이는 시용된 질소비료량이 같고(Table 15), 질소표준시비량 기준으로 돈분액비를 시용하였을 때 토양침투수의 질산태 질소 함량도 증가하지 않았다는 보고(Kang et al., 2004)와 같이 작물을 재배함으로써 질소가 작물에 흡수이용 되기 때문에(Yun and Yoo, 1996) 본 시험에서도 처리 간에 큰 차이가 나타나지 않았다.

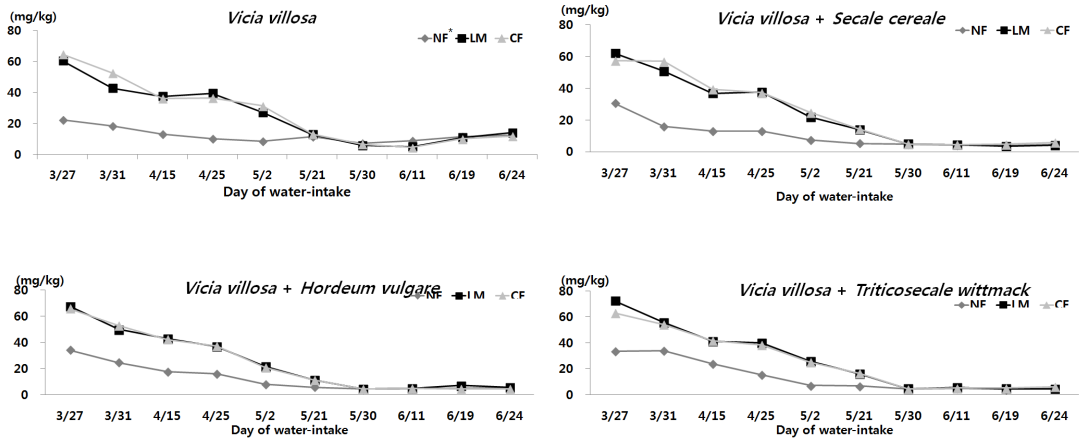


Fig. 10. Concentration variation of nitrate-N on the infiltrating water.

4. 녹비작물 재배 후 가을감자 재배에 따른 시비방법 연구

1) 녹비환원 후 질소 시비방법 구명

(1) 녹비작물 수량 및 질소 환원량

건물중은 헤어리베치+보리구가 930 kg/10a, 헤어리베치+트리티케일구가 910 kg/10a로 헤어리베치+호밀 재배구와 헤어리베치구보다 많았으며, 질소와 칼리 함량은 헤어리베치가 각각 3.49, 3.11%로 화본과(호밀, 보리, 트리티케일)보다 높고, 인산 함량은 0.28%로 화본과보다 낮았다. 질소, 인산 및 칼리 공급량은 화본과(호밀, 보리, 트리티케일)혼과구가 헤어리베치구보다 많았으며, 보리와 트리티케일 혼과구가 가장 많았다(Table 19).

(2) 토양 질산태질소 함량 변화

질산태질소 함량은 모든 녹비작물 처리구에서 감자 파종 25일째인 9월 21일에 질소 기비구와 질소 기비+추비구가 가장 높고, 질소 무비구와 질소 추비구간에는 차이가 없었다(Fig. 11). 무비구와 질소 추비구에서 시험 초기에 질소함량이 증가된 것은 감자 재배 전에 녹비작물 재배로 인하여 녹비가 무기화되었기 때문이다. 토양 질산태질소 함량은 헤어리베치 단과구와 헤어리베치+화본과 혼과구 간에 큰 차이가 나타나지 않았다.

감자 파종 65일째인 개화기인 10월 30일에 질소 기비처리구와 기비+추비 처리구가 비슷하였으며, 질소 무비구가 가장 낮았다. 토양 질산태질소 함량은 파종

Table 19. Nitrogen nutrient reduction value according to green manure yield and green manure(Yield survey : Jun. 26)

Treatments	Dry weight(kg/10a)			Nutrient contents(%)			Nutrient reduction value (kg/10a)		
	<i>Vicia villosa</i>	Gramineae crop	Total	N	P	K	N	P	K
<i>Vicia villosa</i>	440	-	440c [†]	3.49	0.28	3.11	15.42b	1.25c	13.77b
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	210	420	630b	3.28 (2.14) ^{††}	0.29 (0.32)	3.12 (2.84)	15.79b (9.05)	1.94b (1.35)	18.34b (11.96)
<i>Vicia villosa</i> + <i>Hordeum vulgare</i>	220	710	930a	3.03 (1.42)	0.28 (0.31)	3.02 (2.48)	16.69ab (10.03)	2.81a (2.19)	24.08a (17.47)
<i>Vicia villosa</i> + <i>Triticosecale wittmack</i>	210	700	910a	3.34 (1.68)	0.29 (0.35)	3.02 (2.63)	18.79a (11.73)	3.04a (2.43)	24.83a (18.51)

[†] The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

^{††} () is Nutrient feed rate of gramineae crop

25일 후보다 파종 65일 후인 개화기에 낮은 원인은 개화기까지 감자가 영양생장기간을 거치면서 양분흡수가 많았기 때문으로 판단된다.

김 (2009)은 녹비작물로부터 가용화되는 질소량은 녹비를 토양에 시용한 후부터 경과 기간별로 차이가 있으며, 밭 토양에서 녹비작물 시용 후 10~15일 기간 내에 약 50 % 정도의 질소가 가용화되고 이후 70일까지 10일 평균 4 % 정도씩 완만한 가용화 경향을 보였다고 보고하였다.

토양에 시용된 질소비료는 작물에 흡수되고 흡수되지 못하고 남은 질소는 빗물과 함께 유실되거나 또는 토양입자에 흡착, 고정되어 토양에 축적된다. 식물에 의한 질소 회수율은 식물종류와 시비량, 시비시기 등에 따라 다르지만 50% 이하고 토양에 남은 질소는 유실 또는 용탈되어 유실이 발생되기 때문에(Webster, 1985) 시일이 경과되면서 토양의 질산태질소 함량이 감소되었다.

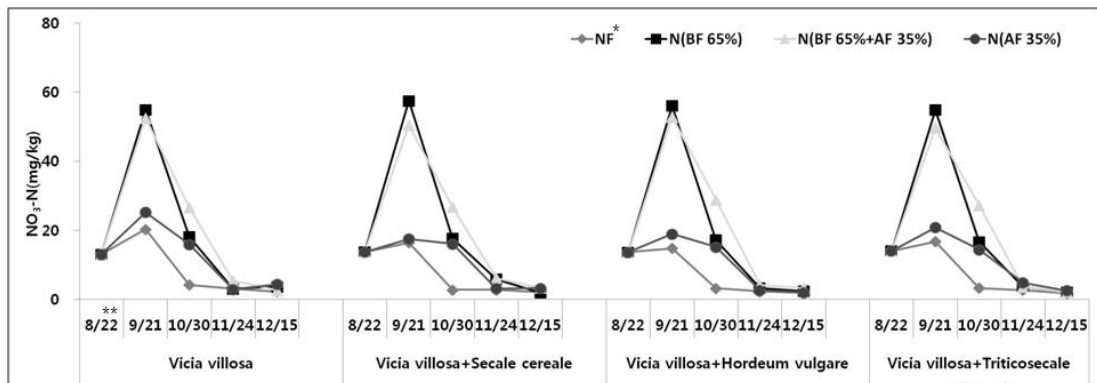


Fig. 11. Nitrogen fertilization level and growth period nitrate-N content change.

† NF, Non fertilization; BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

†† Before experiment

(3) 감자 지상부 생육과 상품 수량

감자 지상부 생육은 질소 시비구가 무비구보다 양호하였으며, 질소 기비구와 질소기비+추비구는 서로 비슷하였다(Fig. 12).

녹비작물 토양환원 후 질소비료 시비량에 따른 감자 총수량은 질소 기비와 추비로 시비한 시험구의 경우 통계적 유의차가 없는 결과를 보였으며, 무비구가 평

균 1,504 kg/10a로 가장 낮았으며, 질소 기비+추비구는 각각 2,607과 2,797 kg/10a로 가장 높게 나타났다(Table 20).

녹비작물 처리별로 감자 총수량은 헤어리베치+화분과 혼파구가 2,342~2,363 kg/10a로 헤어리베치구의 평균 2,044 kg/10a보다 많았다. 녹비작물의 후작물 생육과 수량에 관한 연구에서 헤어리베치는 질소고정능력이 높아 질소함량이 3.6~4.1%로 다른 두과 녹비작물에 비해 1% 이상 많은 편이다(Smith et al., 1987). 또한 녹비를 토양에 환원하면 쉽게 분해되고 무기태질소를 공급하여 질소비료를 절감할 수 있고, 두과 녹비작물인 헤어리베치와 크림손크로버는 토양환원 8주만에 75~80%가 분해된 반면 화분과인 호밀은 50%가 분해되어 두과 작물에서 분해가 빨리 이루어지기 때문에(Waggar, 1989) 헤어리베치와 화분과를 혼파했을 때 녹비분해가 오래 지속되기 때문에 헤어리베치+화분과 혼파구가 감자 총수량이 많았다.

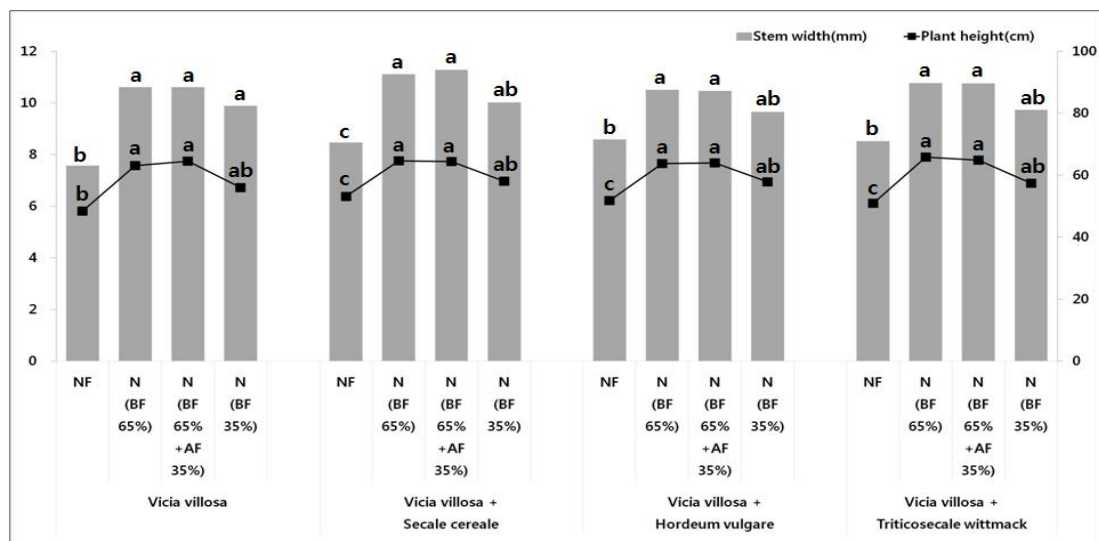


Fig. 12. Stem widths and plant height of potato plant according to nitrogen fertilization after soil reduction of green manure crops.

† The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

†† NF, Non fertilization; BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

Table 20. Potato total yield according to nitrogen fertilization after soil reduction of green manure crops

Treatments	VV [†]	VV + SC	VV + HV	VV + TW	Average
Non fertilization	1,348	1,489	1,576	1,602	1,504c ^{††}
N(BF 65%) ^{†††}	2,387	2,699	2,712	2,628	2,607a
N(BF 65%+AF 35%)	2,450	2,904	2,919	2,911	2,797a
N(AF 35%)	1,980	2,275	2,246	2,257	2,191b
Average	2,044b	2,342a	2,363a	2,349a	

[†] VV, *Vicia villosa*; SC, *Secale cereale*; HV, *Hordeum vulgare*; TW, *Triticosecale wittmack*

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

^{†††} BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

질소비료 수준별 감자의 상품 수량은 무비구가 평균 961 kg/10a로 가장 낮았으며, 질소 기비구와 질소 기비+추비구는 각각 2,235과 2,199 kg/10a로 가장 높았으나, 두 처리간은 차이가 없었다(Table 21). 녹비작물 처리별로 감자 상품 수량은 평균 1,689~1,807 kg/10a으로 헤어리베치+화본과 혼파구가 높은 경향이나, 큰 차이는 없었다. 감자 생육과 수량은 질소 기비 65%구와 질소 기비 65%+추비 35%구 간에 차이가 없어 녹비작물 재배 후 질소 기비 65%를 사용하여도 감자재배가 가능할 것으로 판단된다.

Table 21. Potato commercial yield(kg/10a) according to nitrogen fertilization after soil reduction of green manure crops

Treatments	VV [†]	VV + SC	VV + HV	VV + TW	Average
Non fertilization	973	929	969	972	961c ⁺⁺⁺
N(BF 65%) ^{††}	2,113	2,282	2,248	2,298	2,235a
N(BF 65%+AF 35%)	2,069	2,265	2,193	2,268	2,199a
N(AF 35%)	1,601	1,636	1,761	1,690	1,672b
Average	1,689a	1,778a	1,793a	1,807a	

[†] VV, *Vicia villosa*; SC, *Secale cereale*; HV, *Hordeum vulgare*; TW, *Triticosecale wittmack*

^{††} BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

⁺⁺⁺ The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

⁺⁺⁺⁺ Marketable yield : over 80g

(4) 질소비료 시비량에 따른 건물량, 질소흡수량 및 이용율

질소비료 시비량에 따른 건물량, 질소흡수량 및 이용율은 질소 기비 65%와 기비 65%+추비 35% 처리구가 가장 많았으며, 무비구와 질소 35% 추비구가 낮았다(Table 22).

Table 22. Potato Nitrogen utilization ratio according to Nitrogen fertilization after soil reduction of green manure crops

Crops	Fertilization methods	Dry weight (kg/10a)		N absorbed amount(kg/10a)		N utilization ratio(%)
		Shoot	Tuber	Shoot	Tuber	
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	166	191	5.19	3.09	-
	N(BF 65%)	245	380	8.11	5.49	38.3
	N(BF 65%+AF 35%)	282	379	9.65	5.00	35.3
	N(AF 35%)	198	304	6.48	4.52	28.3
	Average	223	314	7.36	4.53	34.0
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	161	228	5.24	3.46	-
	N(BF 65%)	258	448	8.75	5.15	39.4
	N(BF 65%+AF 35%)	268	426	9.52	5.01	32.4
	N(AF 35%)	210	356	6.86	3.80	27.6
	Average	224	365	7.59	4.36	33.1
<i>Vicia villosa</i> + <i>Hordeum vulgare</i>	Non fertilization	166	247	4.95	2.81	-
	N(BF 65%)	240	430	7.53	5.64	37.8
	N(BF 65%+AF 35%)	284	458	8.50	5.75	36.1
	N(AF 35%)	216	352	6.61	3.70	31.4
	Average	227	372	6.90	4.48	35.1
<i>Vicia villosa</i> + <i>Triticosecale wittmack</i>	Non fertilization	160	251	5.14	3.76	-
	N(BF 65%)	237	415	7.85	5.77	34.3
	N(BF 65%+AF 35%)	275	460	8.41	6.18	31.7
	N(AF 35%)	202	353	6.34	5.20	27.0
	Average	219	370	6.94	5.23	31.0

토양에 시비된 비료성분을 작물이 흡수하는 비율을 양분이용율 또는 양분흡수율이고 이는 재배시험에서 얻어진 수확물을 분석하여 비료로 준 성분량에 대한

실제 작물이 흡수한 성분량의 비율로 표시한다. 양분이용율은 비료성분의 화학적인 형태, 작물의 종류, 토양조건, 시비방법, 기상조건 등에 따라 달라지는데 화학비료의 양분이용율은 질소 30~60% 범위이다(류와 임, 1997)라는 보고와 비슷하였다.

(5) 질소 양분 수치

녹비작물 처리구별 질소의 양분수치는 12.54~15.63으로 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나 질소비료 시비수준별 양분수치는 모든 녹비작물 재배구에서 질소(기비65%+추비35%) > 질소(기비 65%) > 질소(추비 35%) > 무비구 순으로 시비량이 많을수록 높았다(Table 28).

녹비작물 윤작시 질소 양분수치는 음의 값을 나타내는데(이 등, 2006), 본 연구에서는 7.14~22.20으로 높아져 질소 성분이 과량으로 투입되는 결과가 나타났다. 이런 원인은 녹비작물이 토양환원 후 무기화 과정에서 강우에 의한 용탈이나 대기로의 휘산을 고려하지 않았기 때문이다. 따라서 추후 녹비재배 후 후작물에 이용되는 녹비양분의 잠재적인 공급량에 검토가 필요하다.

2) 녹비환원 후 인산 시비방법 구명

(1) 녹비작물 수량 및 인산 환원량

녹비작물 수량과 녹비에 의한 토양에 인산 환원량은 헤어리베치+호밀 혼파구가 1.56 kg/10a로 헤어리베치 단파구의 1.05 kg/10a보다 많았다. 이것은 호밀의 인산함량이 0.56%로 헤어리베치보다 많기 때문이다(Table 18). Cho 등(2006)은 녹비작물의 인산함량은 화본과인 트리티케일보다 헤어리베치 녹비가 약 2배 정도 많은 인산을 함유하고 있다고 하였는데, 본 연구에서 인산함량은 헤어리베치보다 호밀이 높았다(Table 23). 이런 결과는 벼를 통해서 흡수된 인산의 양은 벼짚과 조곡수량이 많은 처리구에서 높는데(Kim et al., 2012), 본 연구에서 녹비 수확시기에 호밀의 종실이 포함되었기 때문이다. 헤어리베치+호밀 혼파구에서 헤어리베치 인산 환원량이 낮은 것은 파종량이 호밀보다 적어 수량이 낮기 때문이다.

Table 28. Nutrient balance of nitrogen on the harvest period

Crops	Fertilization methods	Feed ratio(A) (kg/10a)			Absorbed amount(B) (kg/10a)			Nutrient balance (A-B)
		GM [†]	FE	Total	GM	FE	Total	
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	15.43	0.0	15.43	5.19	3.09	8.29	7.14c ^{††}
	N(BF 65%) ^{†††}	15.43	11.7	27.13	8.11	5.49	13.60	13.52b
	N(BF 65%+AF 35%)	15.43	18.0	33.43	9.65	5.00	14.65	18.78a
	N(AF 35%)	15.43	6.3	21.73	6.48	4.52	11.00	10.73b
	Average	15.43	9.0	24.43	7.36	4.53	11.88	12.54a
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	15.79	0.0	15.79	5.24	3.46	8.70	7.09c
	N(BF 65%)	15.79	11.7	27.49	8.75	5.15	13.90	13.59b
	N(BF 65%+AF 35%)	15.79	18.0	33.79	9.52	5.01	14.53	19.26a
	N(AF 35%)	15.79	6.3	22.09	6.86	3.80	10.66	11.43b
	Average	15.79	9.0	24.79	7.59	4.35	11.95	12.84a
<i>Vicia villosa</i> + <i>Hordeum vulgare</i>	Non fertilization	16.69	0.0	16.69	4.95	2.81	7.75	8.94c
	N(BF 65%)	16.69	11.7	28.39	7.53	5.64	13.17	15.22b
	N(BF 65%+AF 35%)	16.69	18.0	34.69	8.50	5.75	14.25	20.44a
	N(AF 35%)	16.69	6.3	22.99	6.61	3.70	10.31	12.68b
	Average	16.69	9.0	25.69	6.90	4.47	11.37	14.32a
<i>Vicia villosa</i> + <i>Triticosecale wittmack</i>	Non fertilization	18.79	0.0	18.79	5.14	3.76	8.90	9.90c
	N(BF 65%)	18.79	11.7	30.49	7.85	5.77	13.62	16.87b
	N(BF 65%+AF 35%)	18.79	18.0	36.79	8.41	6.18	14.60	22.20a
	N(AF 35%)	18.79	6.3	25.09	6.34	5.20	11.54	13.56b
	Average	18.79	9.0	27.79	6.93	5.23	12.16	15.63a

[†] GM, green manure crops; FE, fertilizer

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

^{†††} BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

Table 23. Green manure crops yield and phosphate reduction value

Treatments	Dry yield (kg/10a)			Nnutrient content(%)		Nutrient reduction value(kg/10a)		
	VV [†]	SC	Total	VV	SC	VV	SC	Total
<i>Vicia villosa</i>	230		230	0.46		1.05		1.05
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	116	181	297	0.47	0.56	0.55	1.01	1.56

[†] VV, *Vicia villosa*; SC, *Secale cereale*

(2) 토양 유효인산 함량 변화

토양내 유효인산 함량 변화는 모든 처리구에서 시간이 지날수록 증가되다가 감자 개화기인 10월 18일부터 서서히 감소되었다(Fig. 13).

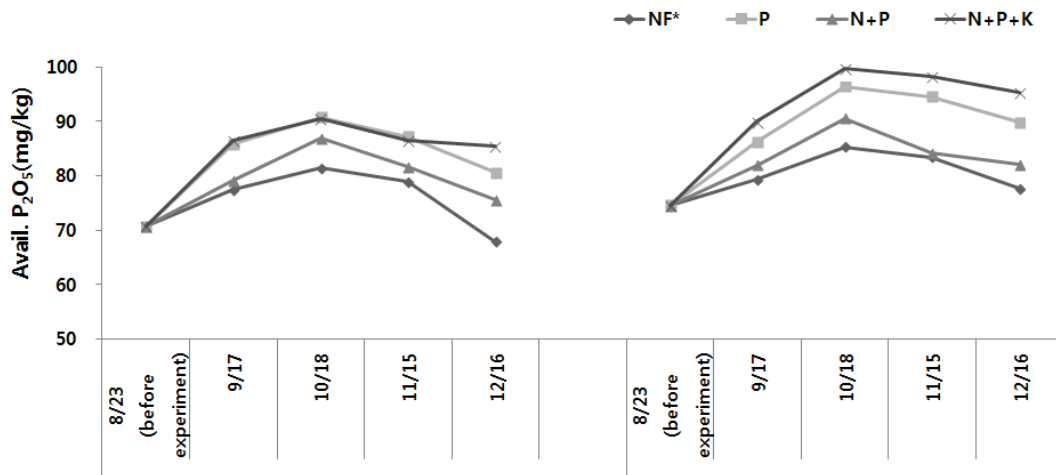


Fig. 13. Available phosphate content variation in soil.

[†] NF, Non fertilization

토양 유효인산 함량이 무비구 및 인산 시비구에서도 증가되다가 감소하는 것은 녹비작물에 의해 인산이 1.05~1.56 kg/10a이 공급(Table 23)되었기 때문으로 생각되며, 녹비작물은 재배되는 동안 토양에 인산을 흡수하였다가 환원되는 과정에 분해된다고 한 Cho et al. (2006)의 보고와 유사하였으며, 이러한 분해과정을

통해 감자 재배기간 동안 용출된 것으로 생각된다. 감자재배기간 동안 용출되었기 때문이다. 녹비환원 후 무기인산의 결합형태에 따른 인의 형태가 작물에 흡수 이용되기 쉬운 $Al-P$, $Ca-P$ 의 형태로 전환되어 작물에 흡수 이용되고 이 후 시간이 경과하면 안정적인 고정형태인 $Fe-P$ 로 변환된다(Cho et al., 2006).

처리구별로 유효인산 함량은 인산 시용구에 높았으며, 시간이 지날수록 인산 시용구와 인산 무시용 구간에 차이가 큰 것은 인산비료 공급에 의한 영향이다. 이런 결과는 Cho et al. (2006)이 녹비작물 투입에 따른 토양내 인산함량 변화 시험연구에서 토양 중 유효인산 함량은 인산무시구보다 인산시비구에서 높고, 시간이 경과할수록 인산시비구와 무시비구의 차이는 증가되었다고 보고한 것과와 경향이였다. 그러나 인산비료 시용수준 증가로 토양의 유효인산 함량은 증가되나 (Bauder et al., 1997), 본 시험에서 토양의 유효인산 함량이 인산시용으로 크게 증가되지 않은 것은 시용된 인산이 토양에 고정되었기 때문으로 생각된다.

(3) 감자 지상부 생육 및 감자 상품 수량

과중 60일 후인 11월 3일에 조사한 감자의 지상부 생육상황은 Fig. 14에 나타내었다. 줄기굵기와 초장은 헤어리베치구와 헤어리베치+호밀 혼파구간에 차이가 없었다. 비료 처리별로 헤어리베치구와 헤어리베치+호밀 혼파구 모두 무비구를 제외한 처리구간에 차이가 나타나지 않았다.

감자 상품수량은 헤어리베치+호밀 혼파구가 1,337 kg/10a로 헤어리베치구의 평균 1,266 kg/10a보다 많았으나, 유의적인 차이는 없었다(Table 24). 인산비료 시비에 따라 헤어리베치 단파구와 헤어리베치+호밀 혼파구 모두 질소, 인산, 칼리 시비구에서 가장 많았고, 다음은 질소, 인산 시비구였다. 무비구와 인산시비구 간에는 인산구가 많은 경향이나 유의적인 차이는 없었다.

비옥도가 낮은 토양에서 밭작물에 대한 인산 및 칼리의 비효가 높은 것은 알려져 있지만 토양의 유효인산이나 치환성칼륨 함량이 낮은 밭에 인산과 칼리 시비수준을 증가시키더라도 다른 여러 가지 화학성분의 함량을 높이지 않는 한 비옥도가 높은 토양의 수량을 따라오기 어렵다(Shin et al., 1983). 본 시험에서도 인산질 비료 시비만으로 수량이 증가되지 않았다. 한편 인산비료 추천량을 시비하는 것은 수량과 품질을 높이지만 다량의 인산비료 시비는 오히려 수량과 품질을 떨어뜨리기도 한다(Bryan and Jason, 2003).

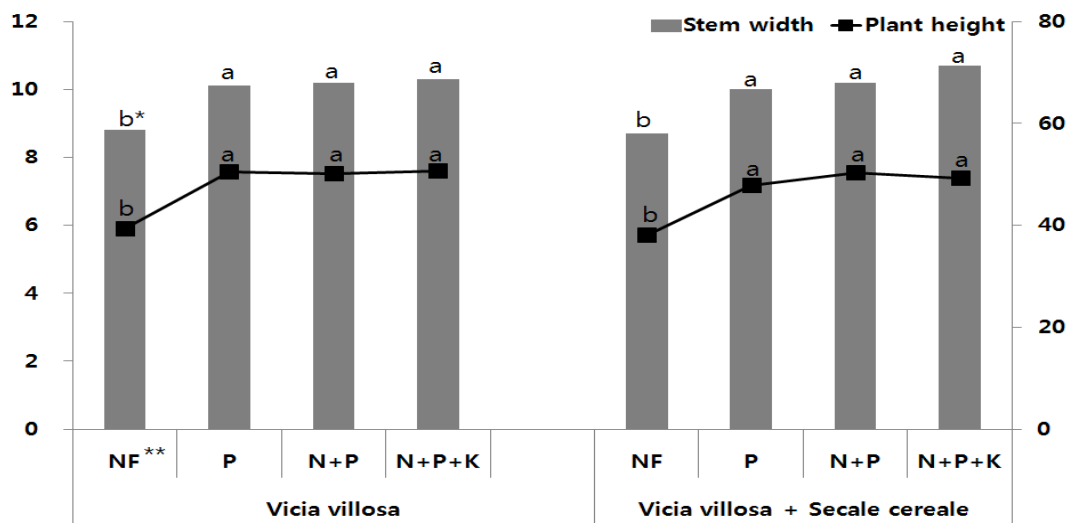


Fig. 14. Potato stem width and plant height in phosphatic fertilizer according to soil reduction of green manure crops.

† The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

†† NF, Non fertilization

Table 24. Marketable yields according to fertilization method

Crops	Fertilization methods	Marketable tuber yield(kg/10a) [†]
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	803c ^{††}
	P fertilization	946c
	N+P fertilization	1,432b
	N+P+K fertilization	1,884a
	Average	1,266a
<i>Vicia villosa + Secale cereale</i>	Non fertilization	785c
	P fertilization	989c
	N+P fertilization	1,570b
	N+P+K fertilization	2,007a
	Average	1,337a

† Commercial yield : over 80g

†† The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

(4) 감자 지상부 생체 수량과 괴경 수량

인산질비료 시비에 따른 감자 줄기 및 괴경 생산량은 Table 25에 나타내었다.

녹비작물 토양환원 후 감자를 재배한 결과 헤어리베치 단파구와 헤어리베치+호밀 혼파구간에 줄기와 괴경의 생산량은 헤어리베치+호밀 혼파구에서 높은 경향이었다. 헤어리베치 단파구에서 시비구간에 줄기와 괴경은 무비구보다 인산 시비구에서 15~17%의 수량이 증가되었다. 그러나 NK시비구 및 NPK시비구의 줄기와 괴경은 질소와 칼리시비로 증가되었으나, NK와 NPK시비구간에 유의적인 차이는 없었다. 그리고 헤어리베치+호밀 혼파구의 줄기와 괴경 수량은 무비구보다 인산시비로 증가되었으며, NPK처리구에서 괴경수량이 2,675 kg/10a로 가장 많았다.

Table 25. Fresh weight and total tuber yield of potato according to phosphatic fertilization method

Crops	Fertilization methods	Shoot fresh	Tuber yield	Total yield
		weight	kg/10a	
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	778c [†]	1,333b	2,111c
	P fertilization	918b	1,535b	2,453b
	N+P fertilization	1,352a	2,242a	3,594a
	N+P+K fertilization	1,474a	2,465a	3,939a
	Average	1,131a	1,894a	3,024a
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	782c	1,261b	2,043c
	P fertilization	1,011b	1,479b	2,490b
	N+P fertilization	1,450a	2,300a	3,750a
	N+P+K fertilization	1,500a	2,675a	4,175a
	Average	1,186a	1,929a	3,115a

[†] The different letters in species indicate significantly difference at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

Lee 등(2002)에 의하면 고랭지에서 감자에 인산과 칼리를 증시했을 때 표준구에 비하여 1년차는 수량이 1%가 증가되었고, 2년차와 3년차에는 통계적으로 유의성은 없었지만 각각 5%와 22% 증수되었으며, 인산비옥도가 낮은 토양에 다량의 인산을 시용하여도 작물 및 토양특성에 따라 다소 차이는 있으나 토양중에서 이동성이 적고, 쉽게 유실되지도 않으며 유효도가 오래 동안 지속되었다(Lee et al., 1984)고 보고하였다. 본 시험에서 인산 시용만으로 줄기 및 괴경의 생육에 영향이 크지 않은 것은 인산에 의한 영향이 적어 인산 시용효과가 뚜렷하게 나타나지 않은 것으로 생각된다.

(5) 인산 흡수량 및 이용률

인산 흡수량 및 이용율은 질소+인산+칼리구에서 가장 높았으며, 헤어리베치+호밀구의 인산 이용율은 4.40%로 헤어리베치구의 3.61%보다 높았다(Table 26). 이와 같이 인산 흡수량과 이용율이 낮은 것은 감자의 인산흡수는 칼륨이나 질소보다 낮기 때문이다(Terry et al. 1993).

Table 26. Phosphate absorbed amount and utilization ratio

Crops	Fertilization methods	P absorbed amount(kg/10a)			P utilization ratio(%)		
		Shoot	Tuber	Total	Shoot	Tuber	Total
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	0.32	0.22	0.54	-	-	-
	P fertilization	0.39	0.23	0.62	0.83	0.04	0.87
	N+P fertilization	0.54	0.32	0.87	2.86	0.92	3.79
	N+P+K fertilization	0.61	0.42	1.03	4.36	1.80	6.16
	Average	0.47	0.30	0.77	2.68	0.92	3.61
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	0.24	0.26	0.50	-	-	-
	P fertilization	0.36	0.26	0.62	1.13	0.01	1.12
	N+P fertilization	0.54	0.41	0.95	3.47	1.39	4.86
	N+P+K fertilization	0.58	0.40	0.98	5.99	1.23	7.22
	Average	0.43	0.33	0.76	3.53	0.88	4.40

양분이용율은 비료성분의 화학적인 형태, 작물의 종류, 토양조건, 시비방법, 기상조건 등에 따라 달라지는데 인산의 흡수율이 낮은 편이며 토양반응이 심한 산성이거나 화산회토양에서는 더욱 낮아 10% 이하인 경우도 있다(류와 임, 1997)고 한 결과와 비슷하였다.

(6) 인산 양분 수지

Table 27에서 보는바와 같이 인산의 양분수지는 헤어리베치 단과구가 평균 13.22, 헤어리베치+호밀 혼과구가 평균 14.21으로 혼과구가 높았으나 유의적인 차이는 없었다. 그리고 비료처리별 인산수지는 헤어리베치 단과구에서 무비구 1.28, NK 시비구 0.54로 아주 낮았으며, 인산을 시비한 P 시비구와 NPK 시비구에서 각각 26.05과 25.04로 높았다. 헤어리베치+호밀 혼과구의 인산수지도 같은 경향으로 인산의 공급량과 흡수량간의 차이는 모든 처리에서 크게 나타나지 않았다.

Table 27. Nutrient balance of phosphate on the harvest date

Crops	Fertilization methods	Feed ratio(A) (kg/10a)			Absorbed amount(B) (kg/10a)			Nutrient balance (A-B)
		GM [†]	FE	Total	GM	FE	Total	
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	2.40	0	2.40	0.61	0.50	1.12	1.28b ^{††}
	P fertilization	2.40	25	27.40	0.82	0.53	1.35	26.05a
	N+P fertilization	2.40	0	2.40	1.13	0.73	1.86	0.54b
	N+P+K fertilization	2.40	25	27.40	1.40	0.96	2.36	25.04a
	Average	2.40	12.5	14.90	0.99	0.68	1.67	13.22a
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	3.57	0	3.57	0.61	0.60	1.20	2.37b
	P fertilization	3.57	25	28.57	0.89	0.60	1.48	27.09a
	N+P fertilization	3.57	0	3.57	1.23	0.94	2.17	1.40b
	N+P+K fertilization	3.57	25	28.57	1.69	0.92	2.60	25.97a
	Average	3.57	12.5	16.07	1.11	0.77	1.88	14.21a

[†] GM, green manure crops; FE, fertilizer

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

화산회토양은 인산 고정력이 높고(Shin and Kim, 1975), 토양에 인산비료가 사용된 후 식물생육에 이용되는 인산은 적으며 대부분이 비료성분이 불용화 된다(Joa et al., 2007). 따라서 감자의 인산흡수량이 적고, 가용화된 인산이 다시 고정되어 인산질비료 사용효과가 낮기 때문으로 판단된다.

3) 녹비환원 후 칼리 시비방법 구명

(1) 녹비작물 수량 및 칼리 환원량

건물중은 헤어리베치+호밀구가 540 kg/10a, 헤어리베치 483 kg/10a로 헤어리베치+호밀구과 헤어리베치구보다 많았으나 유의적인 차이는 없었다. 녹비에 의한 칼리 공급량은 헤어리베치+호밀구가 17.87 kg/10a, 헤어리베치 15.15 kg/10a로 헤어리베치+호밀구가 많았다(Table 29).

이것은 식물체의 양분공급량이 식물체 양분공급량보다 수량에 의존적이기 때문에(Lee et al., 2012) 수량이 많은 헤어리베치+호밀 혼파구에서 높은 것으로 판단된다.

Table 29. Potassium nutrient reduction value according to green manure yield and green manure

Treatments	Dry weight (kg/10a)			Nutrient content(%)			Nutrient supply amount(kg/10a)		
	VV [†]	GC	Total	N	P	K	N	P	K
<i>Vicia villosa</i>	483	-	483	3.33	0.30	2.32	16.02	3.37	15.15b ^{††}
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	366	174	540	3.32 (1.52) ^{†††}	0.31 (0.29)	2.23 (2.49)	17.82 (2.67)	3.71 (1.17)	17.87a (6.02)

[†] VV, *Vicia villosa*; GC, gramineae crop

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

^{†††} () is Nutrient feed ratio of gramineae crop

(2) 토양 치환성 칼리함량 변화

칼리비료 시비방법에 따른 토양 치환성칼리 함량 변화는 Fig. 15에 나타내었다. 모든 녹비작물 처리구에서 칼리 기비구, 칼리 기비+추비구 및 칼리 추비구

는 10월 16일 까지 증가되었다. 칼리 추비구는 10월 5일에 추비에 의해 증가되었다.

10월 16일부터 토양 치환성 칼리함량이 감소되기 시작한 것은 감자는 괴경이 비대하면서 칼리 흡수가 활발히 이루어져(이, 2002) 낮아졌다고 판단된다.

(3) 감자 지상부 생육 및 수량

칼리비료 시비에 따른 비료 처리별 초장은 무비구가 60 cm내외로 가장 낮았으며, 칼리비료 처리간에는 64.7~66.8 cm로 차이가 없었다(Fig. 16).

녹비작물 토양환원 후 칼리비료 시비량에 따른 감자 총수량과 상품수량은 헤어리베치+호밀 혼파구가 헤어리베치 단파구보다 높았으나, 유의적인 차이는 없었다(Table 30).

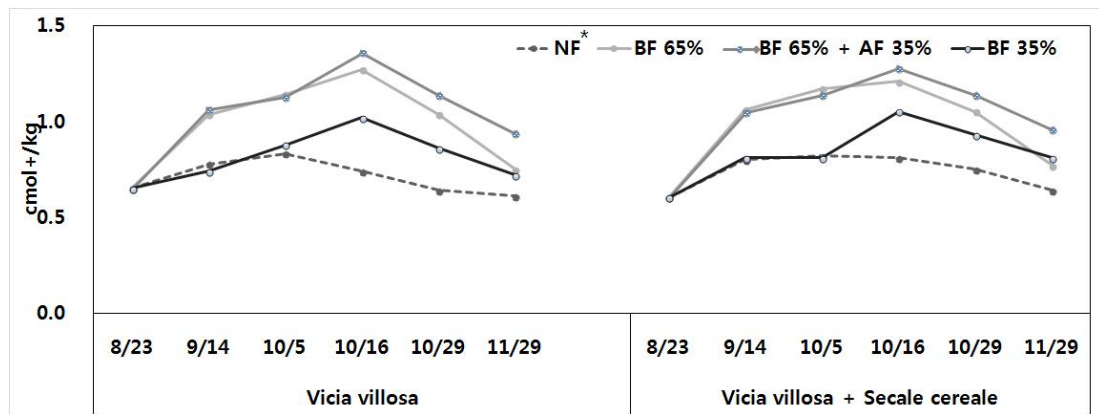


Fig. 15. Chemical properties nitrogen content variation of soils according to potassium fertilization method.

† Fertilization method ; NF, Non fertilization; BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

녹비작물 수량은 무비구가 가장 낮았으며, 칼리비료 기비 및 기비+추비구에서 가장 높았다. 감자의 건물 함량에 미치는 것은 황산칼리나 염화칼리와 같이 칼리 원이 괴경의 건물함량에 미치는 영향이 크기 때문에(Kim, 1991), 칼리비료 시비에 의해 수량이 증가되었다. 결론적으로 상품수량은 녹비를 헤어리베치와 호밀을 혼파하고, 칼리비료를 표준량의 65%를 사용하는 것이 가장 많았다.

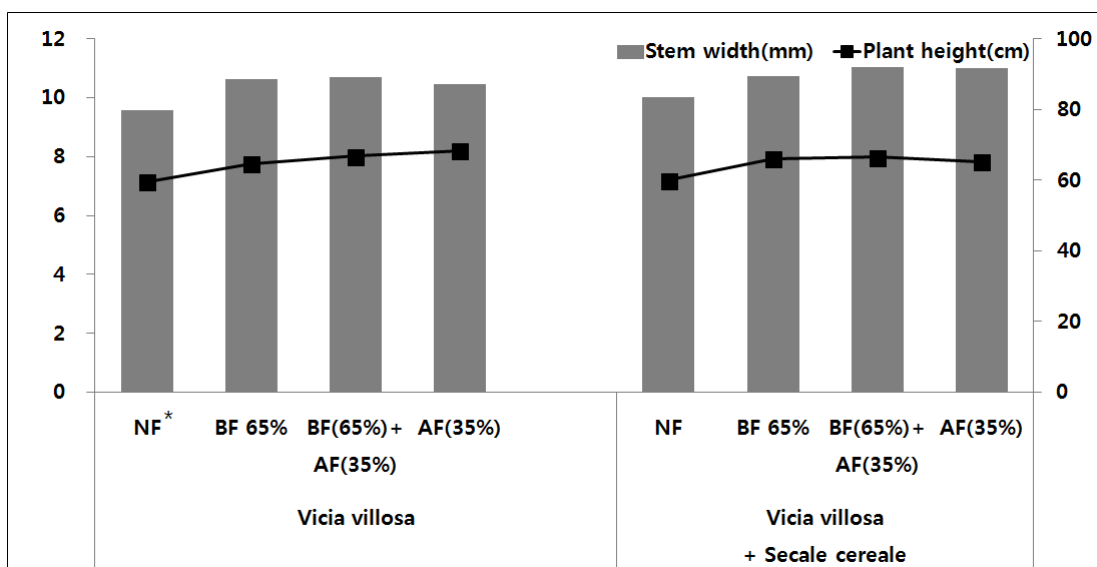


Fig. 16. Potato stem width and plant height according to potassium fertilization method.

† NF, Non fertilization; BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

Table 30. Potato yield according to potassium fertilization method

Crops	Fertilization method	Total tuber yield (kg/10a)	Marketable tuber yield (kg/10a) [†]
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	1,685b ^{††}	1,129b
	N(BF 65%) ^{†††}	2,585a	1,861a
	N(BF 65%+AF 35%)	2,576a	1,898a
	N(AF 35%)	2,457a	1,807a
	Average	2,325a	1,674a
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	1,832b	1,254b
	N(BF 65%)	2,531a	2,113a
	N(BF 65%+AF 35%)	2,671a	1,958a
	N(AF 35%)	2,421a	1,837a
	Average	2,364a	1,791a

[†] Commercial yield : over 80g

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

^{†††} BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

(4) 감자 줄기 및 감자 건물 생산량

녹비작물 토양환원 후 감자를 재배하여 감자 지상부 생육과 수량을 조사한 결과는 Table 31에 나타내었다. 헤어리베치 단파구와 헤어리베치+호밀 혼파구간에 지상부 생체중 평균은 224와 221였으며, 괴경 수량은 304와 312였다. 그리고 지상부 생체중과 괴경 수량을 합친 총 무게는 529~533 kg/10a의 범위내에 있었지만 유의한 결과를 보이지는 않았다. 녹비작물 처리별로 칼리비료 시비에 따른 줄기와 괴경은 무비구보다 칼리 시비구에서 많았으나, 칼리 시비구간에 차이는 없었다. 감자의 수량은 지력 및 토양조건에 따라 차이가 크지만 동일 토성에서 치환성 칼리 함량이 높을수록 수량이 높아 칼리시비보다는 토양의 칼리 함량이 더욱 수량을 지배되기 때문에(Ryu, 1977) 칼리비료 처리 간에 큰 차이가 나타나지 않은 것으로 생각된다. 또한 질소와 인산비료의 시비량이 동일하였고, 녹비에 의한 칼리 공급량이 많아 칼리비료에 의한 영향이 적은 것으로 생각된다.

Table 31. Shoot fresh weight and tuber yield of potato according to potassium fertilization method

Crops	Fertilization methods	Fresh weight	Tuber yield	Total
		(kg/10a)		
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	210	207	417b ^{††}
	N(BF 65%) [†]	231	349	579a
	N(BF 65%+AF 35%)	231	338	569a
	N(AF 35%)	226	325	551a
	Average	224a	304a	529a
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	201	238	439b
	N(BF 65%)	234	346	580a
	N(BF 65%+AF 35%)	235	338	573a
	N(AF 35%)	214	326	540a
	Average	221a	312a	533a

[†] BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

^{††} The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

(5) 칼리 흡수량 및 이용률

칼리 흡수량 및 이용율은 Table 32에 나타내었다.

칼리 흡수량과 이용률은 칼리 65% 기비구와 칼리 65%+35% 처리구에서 높았다. 그러나 칼리 무비구에서도 헤어리베치구와 헤어리베치+호밀 혼파구에서 각각 10.02 kg/10a과 10.42 kg/10a으로 흡수량이 많았다. 감자는 생육기간이 짧기 때문에 많은 양의 비료를 요구하며, 토양 치환성칼리의 흡수능력이 크기 때문에(Ryu, 1977), 녹비에 의해 공급된 칼리량이 15.15~17.87 kg/10a로 많아(Table 29) 흡수량이 많은 것으로 판단된다.

Table 32. Potassium absorbed amount and utilization ratio

Crops	Fertilization methods	K absorbed amount(kg/10a)			K utilization ratio(%)		
		Shoot	Tuber	Total	Shoot	Tuber	Total
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	6.79	3.23	10.02	-	-	-
	BF 65% [†]	7.94	5.65	13.60	6.1	12.8	18.9
	BF 65%+AF 35%	8.24	5.60	13.84	7.6	12.5	20.11
	AF 35%	7.62	5.18	12.80	4.4	10.3	14.65
	Average	7.65	4.92	12.57	4.5	8.9	13.40
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	6.68	3.74	10.42	-	-	-
	BF 65%	8.16	5.75	13.91	7.8	10.6	18.41
	BF 65%+AF 35%	8.12	5.72	13.84	7.6	10.4	18.00
	AF 35%	7.26	5.21	12.47	3.1	7.7	10.80
	Average	7.55	5.10	12.66	4.6	7.2	11.80

[†] BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

(6) 칼리 양분 수지

칼리의 양분수지는 헤어리베치 단파구가 평균 13.22, 헤어리베치+호밀 혼파구가 평균 14.21으로 혼파구가 높았으나 유의적인 차이는 없었다(Table 34). 비료처리별 칼리 수지는 헤어리베치 단파구에서 무비구 5.13, 추비 35%구에서 9.0으로 낮았으며, 칼리를 기비 65%구에서 13.9, 기비 65+추비35%구에서 20.31로 높았다. 헤어리베치+호밀 혼파구에서는 기비 65%처리구와 추비 35% 처리구간에 차이가 없었다(Table 33).

이런 결과는 녹비작물을 재배한 후 다음 작물로 감자를 재배할 때 다량의 칼리비료 시비는 토양에 칼리가 축적되기 때문에 칼리비료를 감량 시비하여도 가능할 것으로 생각된다.

Table 33. Nutrient balance of potassium on the harvest date

Crops	Fertilization methods	Feed ratio(A) (kg/10a)			Absorbed amount(B) (kg/10a)			Nutrient balance (A-B)
		GM	FE	Total	GM	FE	Total	
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	15.15	0	15.15	6.79	3.23	10.02	5.13d [†]
	BF 65% ^{††}	15.15	12.35	27.50	7.94	5.65	13.60	13.90b
	BF 65%+AF 35%	15.15	19.0	34.15	8.24	5.60	13.84	20.31a
	AF 35%	15.15	6.65	21.80	7.62	5.18	12.80	9.00c
	Average	15.15	9.5	24.65	7.65	4.92	12.56	13.22a
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	17.87	0	17.87	6.68	3.74	10.42	7.45c
	BF 65%	17.87	12.35	30.22	8.16	5.75	13.91	16.31b
	BF 65%+AF 35%	17.87	19.0	36.87	8.12	5.72	13.84	23.03a
	AF 35%	17.87	6.65	24.52	7.26	5.21	12.47	12.05b
	Average	17.87	9.5	27.37	7.55	5.11	12.66	14.21a

[†] The different letters in species indicate significantly difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

^{††} GM, green manure crops; FE, fertilizer

4) 감자 더텡이병 이병율 및 발병율

수확기 감자 더텡이병 이병율과 발병율을 조사하여 Table 34에 나타내었다. 이병율은 헤어리베치구가 평균 32.05%에 비해 헤어리베치+호밀 혼파구가 25.19%로 낮았다. 발병율도 이와 유사하였으나 6.30~8.01%로 아주 낮았다. 진 (2015)은 녹비작물 처리구에서 더텡이병의 발병율이 낮아지고 녹비작물 환원에 따른 토양 개량 효과가 있다고 보고하였으며, 본 시험포장에서는 전체적으로 더텡이병 발생이 거의 나타나지 않았기 때문에 추후 검토가 필요하다.

Table 34. Potato common scab of infection ratio and disease ratio

Treatments		Infection ratio(%) [†]	Disease ratio(%) ^{††}
<i>Vicia villosa</i>	Non fertilization	23.39	5.85
	N(BF 65%) ^{†††}	39.47	9.87
	N(BF 65%+AF 35%)	34.78	8.70
	N(AF 35%)	30.56	7.64
	Average	32.05	8.01
<i>Vicia villosa</i> + <i>Secale cereale</i>	Non fertilization	34.86	8.71
	N(BF 65%)	17.91	4.48
	N(BF 65%+AF 35%)	23.29	5.82
	N(AF 35%)	24.72	6.18
	Average	25.19	6.30

[†] Infection ratio : Infection tuber/total tuber×100

^{††} Disease ratio : Disease tuber/(total tuber×4)×100

^{†††} BF, basal fertilization; AF, additional fertilizer

V. 적 요

본 연구는 제주 화산회토양에 알맞은 녹비작물을 선발하기 위하여 제주지역 월동작물인 감자와 당근의 수확 후 녹비작물의 친환경적인 양분관리 체계를 확립하기 위하여 2011년과 2014년인 4년간에 걸쳐 제주 동부지역의 흑색 화산회토양에 알맞은 녹비작물을 선발하고 적정 파종시기 규명, 녹비작물에 의한 토양화학적 변화와 월동작물의 생산성 향상 및 시비 방법 등에 관한 시험을 하였다. 본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 월동 작물재배지의 녹비작물 선발과 적정 파종시기 규명은 제주 화산회토양에 알맞은 녹비작물 선발을 위하여 2011년과 2012년 2년 동안 제주특별자치도 제주시 구좌읍 세화리에서 당근, 감자 등 월동작물 수확 후 휴경기에 녹비작물을 재배하고 생육, 수량성 및 양분공급량이 우수한 녹비작물 선발시험을 수행하였다. 녹비작물의 생육은 헤어리베치, 호밀 및 콩은 발아와 생육이 매우 양호하였으나, 기장과 수단그라스는 발아가 느렸고 발아 후에도 생육이 다소 저조하였다. 녹비작물의 10a당 생체량은 호밀(4,274) > 헤어리베치(3,415) > 기장(2,234) > 콩(1,842) > 수단그라스(1,225 kg) 순으로 높았고, 10a당 건물량은 헤어리베치(638) > 호밀(626) > 콩(337) > 기장(318) > 수단그라스(181 kg) 순으로 높았다. 녹비작물의 N, P, K 함량은 각각 헤어리베치는 39.3, 2.85, 26.6 g/kg, 호밀은 26.8, 3.30, 25.9 g/kg, 기장은 24.2, 2.05, 32.0 g/kg, 콩은 31.0, 2.65, 20.1 g/kg, 수단그라스는 17.9, 2.40, 30.2 g/kg을 함유하였다. 녹비작물의 3요소의 양분함량은 헤어리베치(68.8) > 기장(58.3) > 호밀(56.0) > 콩(53.8) > 수단그라스 50.5 g/kg 순으로 헤어리베치가 제일 높았다. 녹비작물의 10a당 N, P₂O₅, K₂O 공급량은 각각 헤어리베치가 25.1, 4.17, 20.4 kg이었고, 호밀은 16.8, 4.73, 19.5 kg으로서 헤어리베치와 호밀이 콩, 기장, 수단그라스보다 약 2배 이상 높은 경향이였다.

녹비작물 선발 시험에서 수량성과 양분공급량이 우수한 헤어리베치와 호밀의 파종시기를 구명하여 이용체계 기술을 확립하고자 2013년 3월부터 8월까지 약 6개월 동안 성산읍 고성리에서 수행하였다. 헤어리베치와 호밀의 생육은 파종시기

에 관계없이 생육최성기는 6월 하순~7월 상순이었지만 7월 상순 이후부터 고사하기 시작하여 7월 하순~8월 상순에는 거의 고사하는 경향을 보였다. 헤어리베치와 호밀의 초장, 생체중, 지상부 무게 및 지하부 무게는 3월 10일 파종일인 경우가 3/20, 3/30, 4/10, 4/20 파종일보다 양호하였다. 헤어리베치와 호밀 재배 후 녹비 투입에 따른 트랙터 로타리 경운은 식물체가 거의 고사하는 시기인 8월 3일이 생육최성기인 6월 하순보다 헤어리베치 줄기가 로타리에 말리고 얇고 토양속으로의 혼입이 양호하였다. 헤어리베치와 호밀의 10a당 생체량과 건물량은 모두 3/10 파종일인 경우가 3/20, 3/30, 4/10, 4/20 파종일보다 높았다. 3/10, 3/20, 3/30, 4/10, 4/20일 파종에 따른 N 함량은 헤어리베치는 각각 36.97, 36.85, 41.88, 40.04, 38.71 g/kg 함유하였고, 호밀은 각각 11.61, 12.65, 9.92, 13.88, 13.75 g/kg을 함유하였다. N, P₂O₅, K₂O 10a당 공급량은 3/10 파종일인 경우가 건물중이 높음에 따라 제일 많았고 파종일이 빠를수록 건물중에 비례하여 증가하였다. 헤어리베치와 호밀 모두 경운 3주 후의 토양염류(EC), 질산성이온(NO₃⁻), 유효인산(P₂O₅) 및 치환성칼륨 함량은 시험전에 비해 대체로 증가하였으나, 토양산도(pH), 치환성 칼슘 및 마그네슘 함량은 다소 낮아졌다. 양분 공급효과는 헤어리베치가 호밀보다 우수하였다.

2. 녹비작물 토양환원 후 토양화학성 변화와 녹비작물 환원시기 규명을 조사한 결과 녹비작물 재배 시 경운 5주 후의 토양비옥도는 시험전에 비해 '11년도에는 토양염류(EC) 농도는 다소 낮아졌으나, 토양산도(pH)는 다소 높아졌고, '12년도에는 토양염류 농도는 증가하였으나, 토양산도는 다소 낮아져 강우량에 크게 영향 받았다. 노지 포장에서 녹비작물의 무기화에 따른 토양중의 pH, EC 및 NO₃⁻ 함량은 헤어리베치와 호밀이 제일 높은 경향을 보였으나 강우량에 크게 영향 받았다. 제주 화산회토양에서 당근, 감자 등 월동작물 재배 후 휴경기간 동안 3월 10일 이전에 파종한 후 6월 하순~7월 상순(당근재배시), 7월 하순~8월 상순(감자재배시)에 경운하고 약 1개월 정도 부숙시켜 종자를 파종하기 전에 토양검정을 하여 부족분의 비료를 살포하면 화학비료를 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

녹비작물 토양 환원 후 토양중의 질소함량 변화를 조사하여 가을감자 재배에

적합한 녹비작물 토양 환원시기를 결정하기 위하여 6월 하순부터 10일 간격으로 트랙터로 갈아 토양에 환원하여 조사하였다. 시험기간 강우량은 2013년도는 6월 28일부터 8월 23일 까지 강우량은 83.5 mm로 적었으며, 특히 6월 28일부터 8월 18일까지 24 mm로 아주 적었다. 2014년도는 6월 28일부터 8월 22일 까지 강우량은 590.4 mm로 7월 15일까지 강우량은 293 mm로 시험기간 동안 총강우량의 49.6%가 집중되었다. 녹비작물 무기화에 따른 녹비작물 파쇄시기별 토양의 질산태질소 함량은 6월 28일 파쇄보다 7월 31일 파쇄가 높은 경향이었으며, 암모니아태 질소는 7월 31일 파쇄구가 높았다. 혼파조합별 암모니아태 질소는 헤어리베치 단파보다 헤어리베치와 화분과를 혼파한 처리가 높은 경향이였다. 녹비를 7월 하순에 토양에 환원하는 것이 녹비양분을 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 녹비작물 수량은 헤어리베치 단파구 평균 400 kg/10a 보다 헤어리베치와 호밀 혼파구 평균 510 kg/10a로 증가되었다. 헤어리베치 단파구에서 돈분액비와 화학비료 시비간 유의적인 차이는 없었다. 그러나 헤어리베치와 호밀 혼파구의 수량은 돈분액비와 화학비료 시비로 수량이 증가되었으며, 돈분액비구와 화학비료 시비구간에 차이는 나타나지 않았다. 녹비작물에 의한 토양에 질소 공급량은 유의적인 차이는 없었다. 그러나 인산과 칼륨 공급량은 헤어리베치 단파구보다 헤어리베치+호밀 혼파구에서 증가되었다. 그리고 돈분액비와 화학비료 시비구의 질소, 인산 및 칼륨 공급량은 무비구보다 많았으며, 돈분액비 시비구와 화학비료 시비구간에 차이가 없었다. 결론적으로 녹비작물의 수량과 인산 및 칼륨 공급량을 증가시키기 위해서는 헤어리베치+호밀을 혼파하는 것이 효과적이며 화학비료를 돈분액비로 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 녹비환원 후 감자 재배시 화학비료 시비방법을 규명하기 위해 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 신산리 미사질양토(신엄통)에서 수행하였다. 토양화학성중에 질산태질소 함량은 헤어리베치구와 헤어리베치+호밀구 모두 질소시비구가 높았으나, 두 처리간에 차이는 없었다. 헤어리베치구보다 헤어리베치+호밀구가 다소 많은 경향이였다. 치환성칼리 함량은 헤어리베치구와 헤어리베치+호밀구 모두 질소+인산+칼리구에서 높았다. 감자 지상부 생육은 헤어리베치 단파와 헤어리

베치+호밀 혼파구간에 차이는 없었으며, 무비구보다 가축분뇨와 화학비료 시용구에서 양호하였다. 녹비작물 토양환원 후 인산질비료 시비에 따른 감자 상품수량은 헤어리베치구가 평균 1,266 kg/10a, 헤어리베치+호밀구가 1,337 kg/10a로 많았으나 차이는 없었으며, 무비구보다 시비구에서 많았다. 시비구간에는 질소, 인산, 칼리 시비구에서 가장 많았다. 인산 흡수량 및 이용율은 질소+인산+칼리구에서 가장 높았으며, 헤어리베치+호밀구의 인산 이용율은 4.40%로 헤어리베치구의 3.61%보다 높았다.

토양 질산태질소 함량은 모든 녹비작물 처리구에서 감자과종 25일째에는 질소 기비구와 질소 기비+추비구가 가장 높고, 질소 무비구와 질소 추비구간에는 차이가 없었으나, 감자과종 65일째인 개화기에는 질소 기비처리구와 기비+추비 처리구가 비슷하였으며, 질소 무비구가 가장 낮았다. 토양 유효인산 함량은 모든 처리구에서 비슷한 수준으로 차이가 없었다. 치환성 칼리함량은 모든 처리구에서 비슷하였으며, 시기가 지남에 따라 감소하였다. 감자 지상부 생육은 질소 시비구가 무비구보다 양호하였으며, 시비구간에는 추비구가 낮았다. 녹비작물 토양환원 후 질소비료 시비량에 따른 감자 수량은 무비구의 총수량은 평균 1,504 kg/10a로 가장 낮았으며, 질소 기비구와 질소 기비+추비구는 각각 2,607과 2,797 kg/10a로 가장 높았으나, 두 처리간은 차이가 없었다. 헤어리베치구의 평균 수량은 2,044 kg/10a로 헤어리베치+화분과 혼파구가 높았다. 녹비작물 토양환원 후 질소비료 시비량에 따른 감자 상서수량은 무비구가 평균 961 kg/10a로 가장 낮았으며, 질소 기비구와 질소 기비+추비구는 각각 2,235과 2,199 kg/10a로 가장 높았으나, 두 처리간은 차이가 없었다. 헤어리베치구의 평균 수량은 1,689 kg/10a로 헤어리베치+화분과 혼파구가 높았다. 녹비작물 토양환원 후 질소비료 시비량에 따른 감자 질소이용율은 모든 녹비종류별로 질소 기비 65%가 기비 65%+추비 35% 처리구보다 많았으며, 헤어리베치+호밀구의 기비 65%처리구에서 39.4%로 가장 많았다.

감자 지상부 생육은 무비구의 생육이 가장 낮았으며, 칼리비료 처리간에는 큰 차이가 없었다. 칼리비료 시비방법에 따른 토양 치환성칼리 함량 변화는 모든 녹비작물 처리구에서 칼리 기비구, 칼리 기비+추비구 및 칼리 추비구는 10월 16일 까지 증가되었다. 칼리 추비구는 10월 5일에 추비에 의해 증가되었다. 녹비작물 토양환원 후 칼리비료 시비량에 따른 감자 총수량과 상품수량은 헤어리베치+화분과 혼파구가 헤어리베치

단과구보다 높았으나, 유의적인 차이는 없었다. 모든 녹비작물 재배구에서 무비구가 가장 낮았으며, 기비와 기비+추비구에서 가장 높았다. 결론적으로 상품수량은 녹비를 헤어리베치와 호밀을 혼파하고, 칼리비료를 표준량의 65%를 사용하는 것이 가장 많았다.

VI. 인용문헌

- Bauder J.W., S. Mahmood, B.E. Schaff and D.J. Sieler. 1997. Effect of phosphorus soil test level on sorghum-sudangrass response to phosphorus fertilizer. *Agron. J.* 89:9~16.
- Beckwith, C.P., J. Cooper and K.A. Smith. 1998. Nitrate leaching loss following application of organic manures to sandy soils in arable cropping. I. Effects of application time, manure type, overwinter crop cover and nitrification inhibition. *Soil Use Manage.* 14:123-130.
- Brechinand, J. and G.K. McDonald. 1994. Effect of form and rate of pig manure on the growth, nutrient uptake, and yield of barley(cv. Gallon). *Aust. J. Exp. Agr.* 34:505-510.
- Bryan H. and E. Jason. 2003. Phosphorus nutrition in potato production. Information presented at a seminar by Bryan Hopkins and a workshop by Jason Ellsworth at the Idaho Potato Conference on January 22-23, 2003.
- Cho, H.S., J.H. Seo, M.T. Kim, S.P. Eom and J.K. Lee. 2006. The change of phosphorus in soil by green manure application. *Treat. Crop Sci.* 7:503-516.
- Daliparth, J., S.J. Herbert and P.L.M. Veneman. 1994. Dairy manure applications to alfalfa: crop response, soil nitrate in soil water. *Agronomy Journal.* 86(6):927-933.
- Frost, J.P., R.J. Stevens and R.J. Laughlin. 1990. Effects of separation and acidification of cattle slurry on ammonia volatilization and on the efficiency of slurry nitrogen for herbage production. *England Cambridge J. Agric. Sci.* 115:49-56.
- Hwang J.J. 2005. Effects of liquid pig manure application on soil chemical

- properties and potato growth. Master's Thesis, Cheju National University, Jeju, Korea.
- Jensen, L.S., I.S. Pederson, T.B. Hansen and N.E. Nielsen. 2000. Turnover and fate of ^{15}N -labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. *Eur. J. Agron.* 12:23-35.
- Jeon W.T., H.M. Park, C.Y. Park, K.D. Park, Y.S. Cho, E.S. Yun and U.G. Kang. 2003. Effects of liquid pig manure application on rice growth and environment of paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(5):333-343.
- Joa, J.H., H.C. Lim, S.G. Han, S.J. Chun and J.S. Suh. 2007. Characteristics of *Bacillus sphaericus* PSB-13 as phosphate solublizing bacterium isolated from citrus orchard soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(5):405-411.
- Jokela, W.E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects of corn yield and soil nitrate. *Soil Sci. Soc. of America Journal.* 56(1):148-154.
- Seo, J.H. and H.J. Lee. 2005. Effect of hairy Vetch Green Mannure on Nitrogen Enrichment in Soil and Corn Plant. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(4):211-217.
- Kang H.J., S.H. Yang and S.C. Lee. 2011. Effects of liquid pig manure on growth of potato, soil chemical properties and infiltration water quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1130-1136.
- Kang, B.G., H.J. Kim, G.J. Lee and S.G. Park. 2004. Determination of the optimum application rate of pig slurry for red pepper cultivation. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 37:388-395.
- Kilmer, V.J. 1974. Nutrient losses from grasslands through leaching and runoff. In *Forage fertilization*. ASA and CSSA, Madison, WI,USA. p.341-362.
- Kim J.G., K.B. Lee, D.B. Lee, S.B. Lee and S.Y. Na. 2004. Influence of liquid pig manure on rice growth and nutrient movement in paddy soil under different drainage conditions. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(2):97-103.
- Kim, J.G., S. Seo, E.S. Chung, Y.C. Lim, J.K. Lee, J.H. Seo and G.J. Park.

2002. Effect of planting and harvest dates on quality and productivity of rye-hairy vetch mixture. *J. Korean Grassl. Sci.* 22:241-246.
- Kim, J.H., C.H. Park, J.D. Han and B.G. Park. 2001. Determining the optimum number of livestock considering regional pollution load. *Korean J. Agric. Manage. Policy.* 28:255-277.
- Kim M.T., J.H. Ku, W.T. Jeon, K.Y. Seong, C.Y. Park, J.H. Ryu, H.S. Cho, I.S. Oh, Y.H. Lee, J.K. Lee, M. Park and U.G. Kang. 2011a. Effect of barley green manure on rice growth and yield according to tillage date in spring. *J. Crop Sci.* 56(2):119-123.
- Kim S.Y. 1991. Effect of nitrogen application, soil moisture and cultural practices on the growth tuber yield and drt matter content of potatoes. Ph. D. Teesis, Univ. Dankook.
- Kim, S.W., Y.H. Seo, Y.B. Choi, M.S. Ahn and A.S. Kang. 2011b. Effect of mixed sowing of hairy vetch and rye on green manure yield in mountainous highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):442-447.
- Kim, T.Y., A.R. Daquiado, F. Alam and Y.B. Lee. 2012. Evaluation of nitrogen and phosphorus balance in green manure-rice cropping systems without incorporation of green manure crops. *Korean J. Environ. Agric.* 31(4): 308-312.
- Lee C.S., G.J. Lee, K.Y. Shin, J.H. Ahn, J.T. Lee and B.K. Hur. 2002. Effect of application added phosphorus and potassium for potato and chinese cabbage in mounded highland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(6):372~380.
- Lee C.S., J.K. Park, C.W. Shin and J.K. Kim. 1984. Determination of the optimum rates of phosphorus fertilizer for soybean in the different reclaimed hillside soils. *Research Report of Office of Rural Development (soil and Fertilizer).* 26(1):9~14.
- Lee J.T., I.J. Ha, H.D. Kim, J.S. Moon, W.I. Kim and W.D. Song. 2006. Effect of liquid pig manure on growth, nutrient uptake of onion, and chemical

- properties in soil. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24(2):148-156.
- Lee S.B., J.G. Kim, K.B. Lee, D.B. Lee and J.D. Kim. 2004. Decomposition of rice straw in paddy soils as affected by application of liquid pig manure. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(2):104-108.
- Lee, S.G., D.C. Seo, S.W. Kang, Y.J. Seo, I.W. Choi, M.O. Kim, W.T. Jeon, U.G. Kang, J.S. Heo and J.S. Cho. 2011. Optimum application level of liquid pig manure for increasing green manure crop yield. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1103-1106.
- Lee, S.G., D.C. Seo, S.W. Kang, Y.J. Seo, I.W. Choi, W.T. Jeon, U.G. Kang, H.W. Kang, J.S. Heo and J.S. Cho. 2012. Effects of application of liquid pig manure on yield of green manure in single and companion cropping. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(5):805-809.
- Lee, S.G., D.C. Seo, S.W. Kang, Y.J. Seo, J.H. Ryu, H.W. Kang, W.T. Jeon, M.T. kim, J.S. Heo and J.S. Cho. 2014. Effect of liquid pig manure on growth and nutrient contributions of green manure crops of gramineae and leguminous species in paddy soil. *J. Agric. Life Sci.* 48(2): 175-184.
- Matsuda, A. 1981. Crop rotation and organic amendment for biological control of soil-borne diseases. *Plant Protection.* 35:108-114.
- McGuire, A.M., D.C. Bryant and R.F. Denison. 1998. Wheat yields, nitrogen uptake, and soil moisture following winter legume cover crop vs. fallow. *Agron. J.* 90(3):404-410.
- Nielsen, N.E. and H.E. Jensen. 1990. Nitrate leaching from loamy soils as affected by crop rotation and nitrogen fertilizer application. *Fert. Res.* 26:197-207.
- Park, B.K., J.S. Lee, N.J. Cho, and K.Y. Jung. 2001. Effect of application time and amount of liquid pig manure on growth of rice and infiltration water quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(3):147-152.
- Ryu, I.S. 1977. Response of potassium on main upland crops. *Korean J. Soil Sci. and Fert.* 10(3):171~188.

- Sainju, U.M., B.P. Singh and W.F. Whitehead. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90(4):511-517.
- Sarantonio, M. and T.W. Scott. 1988. Tillage effects on availability of nitrogen to corn following a winter green manure crop. *Soil Sci. soc. Am. J.* 85:134-140.
- Shin C.W., J.J. Kim, J.H. Yoon and B.O. Cho. 1983. Yield responses to NPK fertilizers in different corn cultivars and soils. *Korean J. Soil Sci. and Fert.* 16(3):242~249.
- Shin Y.H. and H.O. Kim. 1975. Characteristics of volcanic ash soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 8(3) : 113~119.
- Smith, M.S., W.W. Frye and J.J. Varco. 1987. Legume winter cover crops. *Advances in Soil Sci.* 7:95~139.
- Terry A. Tindall, D.T. Westermann, J.C. Stark, J.C. Ojala and G.E. Kleinkopf. 1993. Phosphorus nutrition of potatoes. University of Idaho College Agriculture. Current Information Series No. 903.
- Um, K.T., Y.H. Ju and G.S. Rhee. 1977. Studies on the soil characteristics for development planning of JeJu-Do. *J. Agric. Sci. Soil Fert.* 19:1-18
- Utomo, M., W.W. Frye and R.L. Blevins. 1990. Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. *Agron. J.* 82 : 979~983.
- Wagger M.G. 1989. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till corn. *Agron. J.* 81:533-538.
- Webster, C.P. and R.J. Dowdell. 1985. A lysimeter study of the fate of N applied to perennial ryegrass swards: Soil analyses and the final balance sheet. *J. Soil Sci.* 36:605-611.
- Yadvinder-singh, Bijay-singh and C.S. Khind. 1992. Nutrient transformations in soils amended with green manures. *Advances in soil science.* 20:237-309.
- Yause T. 1991. The change of cultivation and utilization of chinese milk

- vetch(*Astragalus sinicus* L.) and the effect of fertilizer and soil fertility on paddy field as a green mamure. *Jpn. J. Crop Sci.*, 60(4):583-592.
- Yun S.G. and Yoo S.H. 1996. Behavior of $\text{NO}_3^- \text{N}$ Derived from pig manure in soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(4):353-359.
- 김민태. 2009. 논토양에서 보리의 녹비효과. 경북대학교 농학박사학위논문.
- 류순호, 임선욱. 1997. 토양비료. 한국방송통신대학교출판부. p.235-236.
- 서중호, 이호진, 김시주. 2000. 헤어리베치의 추파시기에 따른 녹비의 수량 및 질소량 변화. *한국작물학회지* 45(6):400-404.
- 서중호, 이호진, 김이주, 허일봉. 1998. 생육단계 및 경운방법에 따른 헤어리베치 녹비의 질소방출 페턴의 변화. *한국토양비료학회지* 31(2):137-142.
- 서중호, 이호진, 허일봉, 김시주, 김충국, 조현숙, 이정삼. 2000. Nitrogen use and yield of silage corn as affected by hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) soil-incorporated at different time in spring. *한국작물학회지*. 45(4):272-275.
- 성좌경, 이상민, 이용환, 최두희, 정정아, 송범현. 2007. 작물-녹비작물 상호작용에 대한 생리학적 평가. 농촌진흥청 국립농업과학원 시험연구보고서. pp.162-174
- 송범현, 이철원, 김홍식, 정봉진, 남택수, 이승환, 김은정, 김윤정, 손은호. 2003. 겨울철 유희 경작지에서의 헤어리베치 재배이용 환경 친화형 농업기술 개발. 농림부 연구보고서. pp.1-122.
- 송성준, 양경애, 부창호, 유장걸. 1999. 제주화산회 토양에서 감자의 질소 시비반응과 이용율. *한국토양비료학회 학술발표회*. p.11.
- 윤명렬, 이경아, 정승근, 이철원, 김홍식, 조용구, 우선희, 송범현. 2006. 파종시기 별 월동후 헤어리베치의 생산성 및 무기영양성분 함량 변화. *한국작물학회 학술발표대회 논문집*. 51(1):332-333
- 윤명렬, 이경아, 정승근, 이철원, 김홍식, 조용구, 우선희, 송범현. 2006. 헤어리베치의 녹비활용시 부숙화 및 양분 가용화 속도. *한국작물학회 학술발표대회 논문집*. 51(1):334-335
- 이상규, 서동철, 강세원, 서영진, 유진희, 강항원, 전원태, 김민태, 허중수, 조주식.

2014. 논토양에서 돈분액비 시용이 화분과 및 두과 녹비작물의 생육과 양분 공급량에 미치는 영향. 농업생명과학연구. 48(2):175-184.
- 이은상, 2002. 가공용 감자 품질향상을 위한 작형별 재배방법에 관한 연구. 동국대 박사학위 논문.
- 이인복, 강석범, 박지면. 2008. 헤어리베치 토양환원에 따른 고추의 생육 및 질소 수지량 변화. 한국토양비료학회 춘계학술발표회 논문초록집. p.27
- 이인복, 강석범, 박지면. 2008. 화분과 및 두과 녹비작물 토양환원에 따른 토마토 생육 및 토양 양분수지량 변화. 한국환경농학회지 27(4):343-348
- 이정태, 이계준, 박철수, 황선웅, 용영록. 2005. 고랭지 고추 재배지에서 헤어리베치 초생재배에 의한 토양유실 경감 및 질소비료 공급 효과. 한국토양비료학회지. 38(5):294-300.
- 임주성, 권영식, 이용호, 이종남, 김원배, 장석우. 2005. 고랭지 당근의 멀칭재배시 완효성복비 시용에 따른 생육 및 수량. 한국원예학회 학술발표요지. p.60
- 장용선, 이계준, 주진호, 이정태, 안재훈, 박철수. 2007. 동계호밀재배가 고랭지 밭 토양의 비옥도 증진에 미치는 영향. 한국환경농학회지 26(4):300-305
- 조현숙, 서종호, 김민재, 엄순표, 이종기. 2006. 녹비작물 투입에 따른 토양 내 인 산함량 변화. 작물과학연구농총. (7):503-516.

감사의 글

이 논문을 완성하기까지 저에게 따뜻한 시선과 마음으로 지켜봐주신 고마운 분들께 감사의 말씀을 드리고자 합니다.

학문적으로 부족했던 저에게 학문의 길을 가르쳐 주시고, 낯설고 어려운 길임에도 학문을 계속할 수 있도록 배려하여 이 과정을 무사히 마칠 수 있도록 하여 주신 송창길 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 가운데 부족한 저의 논문 심사를 맡아주시고 부족한 부분을 바로잡아 주신 제주대학교 강영길 교수님, 현해남 교수님, 김동순 교수님, 김찬우 박사님께 감사의 글을 올립니다.

항상 바쁘신 시간을 쪼개 논문 집필에 도움을 주신 제주도농업기술원 강호준 박사님, 제주대학교 김태근 선생님께도 감사를 드립니다.

본 논문이 빛을 볼 수 있도록 배려를 해주신 제주특별자치도 농업기술원 강성근 원장님, 송승운 연구개발국장님, 이필호 기술지원국장님, 제주농업기술센터 박덕자 소장님, 서귀포농업기술센터 오명협 선생님, 제주도농업기술원 이양숙 선생님을 비롯한 직원 여러분께 감사를 드립니다. 그리고 자료를 준비하는데 도와준 제주도농업기술원 강형식 박사님께도 감사를 드립니다.

항상 격려를 해주신 동생, 사촌들을 비롯한 친지들께 고마움을 전합니다. 끝으로 제가 힘들고 지칠 때 마다 편안하게 기댈 수 있는 안식처와 같은 역할을 해주시면서 늘 저에게 힘을 주었던 사랑하는 나희순, 지혜, 원혁, 유동윤, 손자 유지안에게 감사와 사랑의 마음을 전하면서 돌아가신 어머니, 아버님의 영전에도 이 소고를 드립니다.