

제 | 3 | 주 | 제

유기농 채소생산을 위한 녹비작물 도입효과

이상민 | 농촌진흥청



유기농 채소생산을 위한 녹비작물 도입효과

이상민, 이연, 윤홍배, 성좌경, 이용환, 이상범, 최경주, 김계훈

Effects of green manures in organic vegetable production.

Sang-Min Lee, Y. Lee, H. B. Yun, J. K. Sung, Y. H. Lee, S. B. Lee, K. J. Choi, K. H. Kim

Abstract : Organic farming in Korea has mainly focused on producing vegetables in plastic film house and cereals in paddy field. For high productivity of vegetables and cereals, most Korean farmers have not applied crop rotation in the cropping system. Thus, this study was carried out to evaluate the effects of crop rotation on the yield of red pepper and green onion, the changes in soil fertility and the potential as green manure of rye and hairy vetch. Rye and hairy vetch were cultivated for winter season every year, and directly incorporated into the soil. The yield of red pepper fruits in organic farming using crop rotation (OFCR) decreased 23 to 36% compared with conventional farming system (CFS). Whereas, green onion showed the increased yield of about 13%. In OFCR, total carbon content of soil was higher, however available phosphate content lower than conventional farming. As a result of measuring the bulk density of soil, OFCR and CFS were 1.26 to 1.35Mg/m³ and 1.37 to 1.42Mg/m³, respectively. Carbon and nitrogen contents of microbial biomass in OFCR were obviously higher compared with the CFS. In the plot cultivated rye for winter season, the weed germination was strongly reduced (about 52 %). Balance of macro nutrient elements, nitrogen and phosphate, in the application of rye and hairy vetch had a minus value. For potassium, the output value was higher than the input one, therefore organic farming under red pepper-rye or hairy vetch systems requires applying additional potassium input. Also, we selected two hairy vetch varieties of cv.

Hungvillosa and *Ostsaat* which can be adapt at Korea climate. In order to estimate a yield of green manures, the weight of shoot and root was measured. The ratio of shoot and root between rye and hairy vetch showed 0.88 and 1.91, respectively. The potential levels of nitrogen, phosphate and potassium which could be supplied from rye were 7.7, 7.8 and 21.9 kg/10a and from hairy vetch were 17.0, 8.6 and 22.9 kg/10a, respectively. So we recommend that cultivating hairy vetch, as a nutrient supplier, and rye, as an amendment to enhance the soil physical property, for winter season be practical method in Korea organic farming system.

서 언

국내에서 실천되고 있는 유기농업 토양 및 양분관리 기술은 IFOAM 또는 Codex 등에서 제시하는 기준과는 약간의 차이를 가지고 있다. 국제기준은 두과작물, 심근성작물, 녹비작물 재배에 의한 윤작의 실천을 필수 실천사항으로 정하고 있는 반면에 우리나라에서는 시설재배지에서 경제작물 위주의 집약적 관리가 이루어지고 있다. 또한 국내 유기농업에서 양분관리를 위하여 양분함량이 높은 유기질비료 또는 가축분퇴비를 주로 사용하여 왔다. 즉 녹비작물의 윤작, 다양한 형태의 작부체계 수립 실천 등에 의한 양분의 자연순환적 기능을 극대화하여 작물을 생산하기 보다는 유기자재 사용 위주로 토양비옥도 관리가 행하여져 왔다. 합리적인 작부체계는 장기적으로 토양비옥도를 유지, 보전하여 농산물을 안정적이고 지속적으로 생산할 수 있는 체계를 말하며 이를 위해 윤작의 도입이 가장 적절한 방법이라 할 수 있다. 윤작을 실천함으로써 토양비옥도의 유지 보전은 물론 양분의 합리적인 관리, 토양환경의 개선, 토양 미생물의 활성 증대, 병해충의 제어, 농업생태계의 건전성 확보, 소득 감소의 위험성 분산, 토양유실의 감소, 수량증대 등과 같은 다양한 효과를 얻을 수 있는 가장 좋은 방법이다. 따라서 본 연구는 화분과 및 두과작물을 겨울철 휴한기에 재배하여 토양에 환원함으로써 작물의 생산성, 토양환경의 변화 및 병해충 잡초 관리, 녹비작물의 양분공급 능력, 헤어리베치의 월동 특성 등을 조사하여 유기농업 실천시 녹비작물의 윤작 도입효과를 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 유기농업에서 녹비작물 윤작도입 효과 구명

겨울철 휴한기에 녹비작물을 재배하여 녹비로 활용하는 윤작체계를 유기농업에 도입하고, 그 효과를 분석하고자 국립농업과학기술원 시험포장에서 3년간 수행하였다. 토양은 미사질식양토인 고평통이었으며, 주작물은 고추와 파를 대상으로 하였으며, 겨울철 휴한기에 녹비작물로서 화본과작물인 호밀과 두과작물인 헤어리베치를 윤작하였다. 주요 처리내용은 표 1에서 보는바와 같이 파 재배의 경우 관행농업 파 연작처리구(관행 I)와 유기농업을 실천하면서 파를 주작물로 하고 호밀과 헤어리베치를 격년 윤작한 처리(유기 I)를 두었다. 고추재배의 경우 관행농업으로 고추를 연작재배한 처리(관행 II)를 대조로 하여 유기농업으로 고추를 재배한 3개의 처리구를 두었다. 고추 재배후 겨울철 휴한기에 헤어리베치를 윤작한 처리(유기 II), 고추 재배후 호밀을 윤작한 처리(유기 III) 및 고추 재배후 헤어리베치와 호밀을 격년으로 윤작한 처리(유기 IV)를 두었다.

Table 1. Treatments and cropping systems including crops and green manure crops

Treat.	Main crops	Farming systems	Cropping systems	Cropping systems					
				1st	2nd	2nd	3rd	3rd	4th
				W	S	W	S	W	S
C.F. I	Green onion	Conventional	Continuous	-	G.O.	-	G.O.	-	G.O.
O.F. I	"	Organic	Rotational	H.V.	G.O.	Rye	G.O.	H.V.	G.O.
C.F. II	Red pepper	Conventional	Continuous	-	R.P.	-	R.P.	-	R.P.
O.F. II	"	Organic	Rotational	H.V.	R.P.	H.V.	R.P.	H.V.	R.P.
O.F. III	"	"	"	Rye	R.P.	Rye	R.P.	Rye	R.P.
O.F. IV	"	"	"	Rye	R.P.	H.V.	R.P.	Rye	R.P.

* W : Winter, S : Summer

* R.P. : Red pepper, G.O. : Green onion, H.V. : Hairy vetch

녹비작물의 재배는 가을철 주작물의 수확이 완료된 후 10월 상순에 녹비작물인 호밀과 헤어리베치를 10a 당 각각 10kg, 8kg을 조파하였다. 이듬해 5

월 상순에 생육한 호밀과 헤어리베치를 수확하여 지상부의 생산량을 조사하였다. 수확된 녹비작물을 약 5~10cm 정도 크기로 절단하여 전량 시험구에 고르게 펼친후 로타리작업을 하여 토양과 잘 섞이도록 하였다. 수확전에 지상부의 시료를 채취하여 식물체 분석법(농업과학기술원, 2000)에 의거하여 양분함량을 분석하였으며, 유기농업 처리구의 양분시용량 결정을 위하여 사용하였다.

처리구별 양분시용량은 관행농업구의 경우 토양분석을 통한 작물별 시비 처방기준(농업과학기술원, 1999)과 토양 유효인산 비옥도에 따른 가축분퇴비 및 화학비료 시용량 결정 방법(농업과학기술원, 1999)에 따라 결정하였다. 유기농업구의 경우 작물별 시비처방기준에 따라 토양검정 시비량을 산출한 후 호밀과 헤어리베치의 지상부에 포함된 양분의 양을 고려하였으며, 부족할 경우 질소를 기준으로 유박을 사용하였다.

병해충 관리는 관행농업구의 경우 병해충 발생초기에 농약을 살포하여 방제하였으며, 유기농업 고추재배구는 진딧물 방제를 위해 콜레마니진디벌, 진디혹파리를 벵커플랜트인 보리를 이식한 후 방사하였으며, 담배나방 방제를 위해 쌀좁알벌을 방사하였다. 유기농업 과 재배구는 나방류와 총채벌레 방제를 위하여 곤충병원성 선충 및 남방애꽃노린재 등을 방사하였다. 그리고 병해 예방을 위하여 목초액, 현미식초, 생선아미노산을 유기농업협회가 추천하는 방법(한국유기농업협회, 1991)에 따라 200~500배로 희석하여 엽면살포하였다. 또한 녹비시용에 의한 잡초발생 억제효과를 조사하기 위하여 잡초의 발생량, 중요도 및 잡초의 종 다양성을 분석하였으며 이 후 수작업으로 제초하였다.

토양시료는 녹비작물 수확 전에 채취하여 토양검정 시비량 산출을 위하여 사용되었으며, 주작물 최종 수확시기에 시료를 채취하여 토양 이화학성 변화를 조사하였다. 또한 녹비시용에 따른 양분의 분포양상을 분석하기 위하여 토심 20cm별로 채취하여 화학성을 분석하였다. 토양의 용적밀도 및 삼상분포는 100ml core를 이용하여 분석하였다. 토양화학 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(농업과학기술원, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양중 미생물체 탄소 및 질소함량은 클로로포름 훈증 추출법(SSSA 1994; Brookes 등, 1985; Vance 등, 1987; Gallardo 등, 1990)으로 분석하였다. 토양 서식 미소동물상에 미치는 윤작효과를 분석하기 위하여 주작물을 수확한 시험후 토양을 채취하여 별도로 고안된 미소동물 분리장치(이상범, 2003)를 이용하여 분리한 후 밀도 및 종 다양성을 분석하였다.

식물체 시료는 고추의 경우 최대 생육시기에 채취하여 과, 줄기 및 잎을 모두 포함한 총건물중을 산출하고, 줄기와 잎을 구분하여 분석시료로 사용하

였다. 그리고 적고추를 수확하여 상품과 수량을 조사하였고, 별도로 10과를 채취하여 분석시료로 하였다. 수확은 보통 3~4회 실시하였다. 파의 경우에는 최대생육기에 시료를 채취하여 분석하였으며, 수확기에는 수량조사를 실시한 후 5주를 채취하여 분석시료로 하였다. 식물체분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(농업과학기술원, 2000)에 준하여 분석하였다. 양분수치는 양분의 투입량에서 식물체의 양분흡수량을 뺀 값으로 하였다.

2. 잡초종자에 대한 녹비작물의 발아억제 효과 구명

잡초 초종에 대한 호밀 및 헤어리베치의 타감효과를 검증하기 위하여 발아 시험을 하였다. 여지를 놓은 페트리디쉬에 호밀 및 헤어리베치 종자 20립을 정치시키고 20일 경과 후 호밀과 헤어리베치는 제거하였다. 대조구로 증류수를 넣은 페트리디쉬와 호밀 및 헤어리베치 뿌리에서 분비된 물질을 포함하는 페트리디쉬에 다시 잡초종자 8종을 정치한 후 발아종자 개체수를 계수하였다.

3. 헤어리베치의 국내적응성 검증

외국에서 수입되는 헤어리베치 종자의 품종별 국내 적응성을 검증하기 위하여 외국산 헤어리베치 품종 8종에 대한 겨울철 월동율과 지상부 생체량 및 토양에 전량환원한 후의 토양 중 무기태질소의 함량을 분석하였다. 품종은 T.T.F1, VV4712, Hungvillosa, Otsaat, Welta, Minnie, Oregon common 및 SITA 품종을 공시하여 10a 당 8kg을 10월 중순에 조파하여 이듬해 6월 상순에 수확하였다. 월동율은 3월 하순에 1차 조사한 후 4월 상순에 2차 조사하여 최종 월동개체수를 계수하여 총과중 립수에 대한 생존개체수를 백분율로 계산하였다. 수확된 품종별 헤어리베치는 지상부의 생체량을 평량한 후 일부는 건조하여 건물중 조사 및 분석시료로 사용하였으며, 나머지는 토양에 환원하기 위하여 5~10cm 크기로 절단하여 토양과 잘 혼합되도록 하였다. 식물체시료는 포장시험의 방법과 동일하게 수행하였다. 토양시료는 헤어리베치를 파종하기 전에 채취하여 시험전 토양으로 하였으며, 헤어리베치를 수확하여 토양에 환원한 후 경시적으로 토양 중 무기태질소 함량을 분석하였다.

4. 녹비작물에 의한 양분공급효과 구명

녹비작물의 지상부 및 지하부 전체의 생산량에 의한 양분공급 효과를 구명하기 위하여 별도로 제작된 포트를 이용하여 근계의 발달상황과 생체량을 조사하였다. 녹비작물은 헤어리베치와 호밀을 재배하였으며, 노지조건에서

포트를 지하에 비스듬히 매설하였고 배수를 위하여 구멍을 뚫었다. 파종은 10월 중순에 각각의 포트에 20립씩 점파한 후 발아 상태를 확인하여 5주를 남기고 솟아주었다. 5월 하순에 포트를 꺼내어 천천히 흐르는 물로 뿌리의 손상을 주지 않으면서 토양을 제거하여 지하부 및 지상부의 생체량과 건물중을 조사하고 각각의 양분함량을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 녹비작물 윤작도입에 따른 작물의 생산성

녹비작물을 생산하여 주작물 재배를 위한 양분공급량을 평가하기 위하여 겨울철 휴한기에 호밀 및 헤어리베치를 재배하고 이듬해 봄에 수확한 녹비작물의 지상부 생체량을 조사한 결과는 표 2에서와 같다. 호밀의 경우 3년 평균 2,592kg/10a의 지상부 생체량을 수확하였으나 범위는 1,974~3,700kg/10a이었으며, 헤어리베치의 경우에는 3년간 평균 2609kg/10a를 수확하였으나 범위는 1,652~3803kg/10a로 호밀의 경우보다 변동폭이 더욱 컸다. 이것은 기온, 토양수분조건 등 환경적인 요인도 있었으나 재배 품종간 차이에 의한 영향도 큰 것으로 판단되었다. 헤어리베치의 경우 대부분 종자를 수입하기 때문에 국내 적응성이 미검증된 일부종자가 수입되어 겨울철 휴한기에 동사함으로써 수확량의 편차가 커진 것으로 판단된다.

Table 2. Average biomass of shoot of green manure crops

Green manure crops	Range(kg/10a)	Average(kg/10a)
Rye	1,974~3700	2,592
Hairy vetch	1,652~3803	2,609

수확된 녹비작물의 지상부 양분함량은 표 3에서와 같다. 국내 활용되고 있는 대표적인 화분과 녹비작물인 호밀은 헤어리베치에 비하여 전체적인 양분함량이 낮고 탄소함량은 높아 탄질율이 62.5로 높았다. 이것은 호밀 환원후 주작물 재배시 미생물과의 질소 결합으로 초기생육에 지장을 초래할 우려가 있을 것으로 판단되었다. 반면에 헤어리베치는 질소함량이 2.93%로 높고 탄질율도 15.0으로 낮기 때문에 토양환원 후 분해 및 질소 무기화 과정이 용이하여 작물이 양분을 쉽게 이용할 수 있을 것으로 생각되었다.(이상민, 2004)

Table 3. Nutrient contents of green manure crops(D.W. %)

Green manure crops	Water	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe	Cu	Mn	Zn
Rye	81.1	43.7	1.18	1.26	3.53	0.48	0.22	0.02	456	7	58	38
Hairy vetch	83.4	43.9	2.93	1.74	4.78	2.29	0.47	0.05	1,088	13	62	86

파종 후 45일의 처리별 고추 생육상황은 표 4에서 보는 바와 같이 호밀환원 처리구에서 다소 불량하였다. 이것은 호밀의 탄질율이 높았기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 호밀을 윤작하여 녹비로 시용할 경우 탄질율을 줄이기 위하여 추가적인 질소원 공급 또는 두과 녹비작물과의 혼파 등 적절한 질소관리가 필요할 것으로 판단되었다.

Table 4. Plant height, stem diameter and SPAD value of red pepper

Treatments	Plant height(cm)	Stem diameter(mm)	SPAD
C.F. II	90.1	13.3	58.8
O.F. II	91.6	12.9	58.5
O.F. III	83.3	11.7	57.3
O.F. IV	90.6	13.0	60.2

* C.F. : Conventional Farming(continuous), O.F. : Organic farming(rotational)

파 및 고추의 수량은 그림 1에서 보는 바와 같다. 파 수량은 3년간 평균 수량이 관행농업구 대비 13% 증수하였고, 고추 수량의 경우 관행농업구에 비해 유기농업구는 69~77% 수준으로 낮은 편이었다. 헤어리베치를 윤작한 처리구에서 호밀을 윤작한 처리구 보다 13% 높았다.

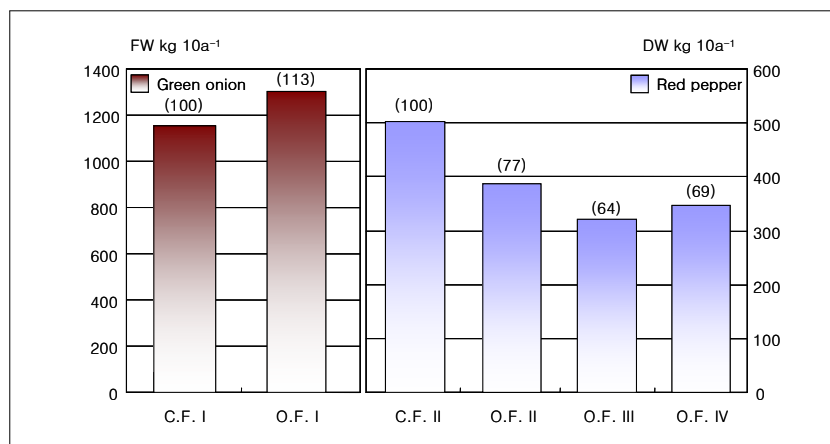


Fig. 1. Average yield of green onion and red pepper for 3 years

양분 흡수량을 분석한 결과는 표 5와 같다. 파의 경우 윤작처리구에서 관행농업구에 비해 높았다. 그러나 파의 경우 수확된 생체량이 적었기 때문에 공급된 양에 비해 흡수된 양은 많지 않았던 것으로 추정된다. 고추의 경우 질소 흡수량은 관행농업구에서 23.7kg/10a 비해 유기농업 윤작 처리구에서 17.4~21.3kg/10a로 적었다. 호밀 윤작처리구에서는 17.4kg/10a로 가장 낮았다. 이는 녹비로서 시용된 호밀은 탄질율이 높아 분해가 느리고, 작물이 필요로 하는 충분히 양의 무기화가 진행되지 않았으며, 미생물과의 질소 결합으로 인하여 양분의 흡수량이 적었기 때문인 것으로 판단되었다.

Table 5. Nutrient uptake of green onion and red pepper (Unit : kg/10a)

Treatment	Main crops	Farming systems	Cropping systems	N	P	K
C.F. I	Green onion	Conventional	Continuous	2.19	0.73	4.61
O.F. I	"	Organic	Rotational	2.42	0.84	4.81
C.F. II	Red pepper	Conventional	Continuous	23.7	5.3	38.4
O.F. II	"	Organic	Rotational	20.8	4.7	37.1
O.F. III	"	"	"	17.4	4.3	31.0
O.F. IV	"	"	"	21.3	4.9	36.6

3. 녹비작물 윤작도입에 따른 토양환경의 변화

표 6은 시험전 토양과 시험후 토양의 화학적 특성 변화를 나타낸 것으로 치환성 칼슘함량은 증가하였으며, 나머지 성분들은 약간 낮아졌거나 대등한 경향을 나타냈다. 특히 유기농업 고추재배시 윤작을 통하여 유효인산함량이 시험전에 453~643mg/kg이었던 것이 시험후에 182~368mg/kg으로 집적현상이 감소하였다. 인산이 고도로 집적된 유기농업 포장에서 인산의 관리를 위하여 녹비작물 윤작이 효과적일것으로 판단된다. 또한 비옥도가 높은 토양에서 양분의 순환 이용을 도모하고 토양비옥도를 유지하는 데에도 윤작이 효과적일것으로 판단되었다.

Table 6. Changes of soil chemical properties before and after experiment

Treatments	pH		T-C		Av. P ₂ O ₅		Ex. Cation(cmol+kg)					
	(1:5)		(g/kg)		(mg/kg)		K		Ca		Mg	
	Bf	Af	Bf	Af	Bf	Af	Bf	Af	Bf	Af	Bf	Af
C.F I	6.7	6.7	11.4	10.1	271	430	0.68	0.76	6.5	9.4	2.4	0.8
O.F. I	7.5	7.1	14.8	13.6	646	641	1.25	1.05	7.6	11.0	2.7	0.9
C.F. II	6.4	6.1	13.5	13.3	291	267	0.46	0.42	6.5	9.8	2.4	0.8
O.F. II	7.4	6.5	14.3	16.3	643	368	1.23	0.83	7.5	10.5	2.7	0.9
O.F. III	7.6	7.2	15.9	14.4	465	317	1.16	0.78	7.6	10.5	2.8	0.9
O.F. IV	7.1	7.2	13.8	11.8	453	182	0.78	0.65	7.0	9.8	2.4	0.8

* Bf : Before(Chemical properties before experiment in the first year)

* Af : After(Chemical properties after experiment in the third year)

관행농업 연작처리구 및 유기농업 윤작처리구에서 탄소 및 질소의 토심별 분포양상을 조사한 결과는 그림 2에서와 같다. 0~20cm의 표토에서 녹비작물을 윤작한 처리에서 탄소 및 질소의 함량이 증가하였으나 심토에서는 뚜렷한 경향은 없었다. 이것은 녹비작물을 윤작하고 수확물은 다시 경운층인 표토에 전량 환원함으로서 탄소 및 질소함량을 증가시켰던 것으로 사료된다.

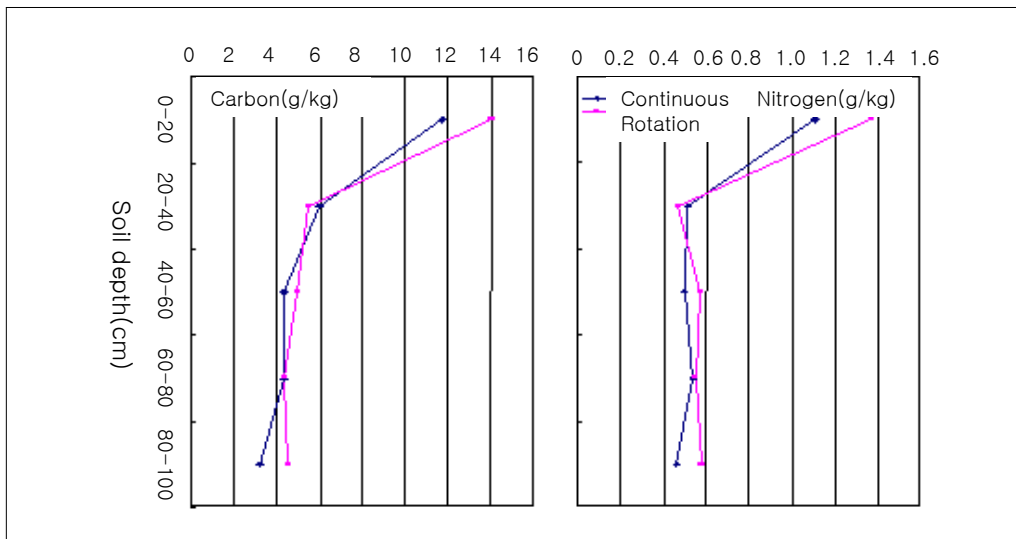


Fig. 2. Soil depth distribution of carbon and nitrogen

표 7에서 보는 바와 같이 파 재배시 유기농업 윤작 처리구의 용적밀도 및 공극율은 각각 1.35Mg/m^3 및 48.9%로 관행농업 연작 처리구에서

1.42Mg/m³ 및 46.6% 에 비해 개선되었으며, 고추 재배에서도 같은 경향을 나타낸 것으로 보다 윤작의 실천이 토양 물리성 개선에 효과적이었음을 알 수 있었다. 그러나 토양물리성 개선할 목적으로 유기자원을 과다 시용할 경우 양분의 과잉이 우려되기 때문에 녹비작물을 윤작하여 토양에 환원하는 것이 비옥도 유지 및 물리성 개선에 보다 바람직한 방법이라 판단되었다.

Table 7. Bulk density and porosity of soil with different cropping system

Treatments	Bulk density(Mg/m ³)	Porosity(%)
C.F I	1.42	46.6
O.F. I	1.35	48.9
C.F. II	1.37	48.1
O.F. II	1.28	51.5
O.F. III	1.26	52.4
O,F. IV	1.28	51.7

토양미생물 전체를 대표하는 정량적 지표이며, 토양의 가급태 양분량의 지표로서 활용되는 토양미생물체량을 분석한 결과는 그림 3과 같다.(양창술 등, 2001) 윤작처리구에서 미생물체 탄소 106.5~164.4 mg/kg 및 미생물체 질소 16.2~26.7 mg/kg으로 연작처리구보다 높았다. Anderson and Domsch(1989) 는 단작체계의 토양보다 윤작을 실천함으로써 토양 유기태탄소에 대한 미생물체탄소량의 비율이 더욱 높다고 한 보고와 일치하는 결과를 나타냈다. 따라서 윤작을 실천하는 것은 토양미생물체량을 증가시킴으로써 토양 양분을 보다 용이하게 작물이 이용할 수 있는 방법이라 생각된다.

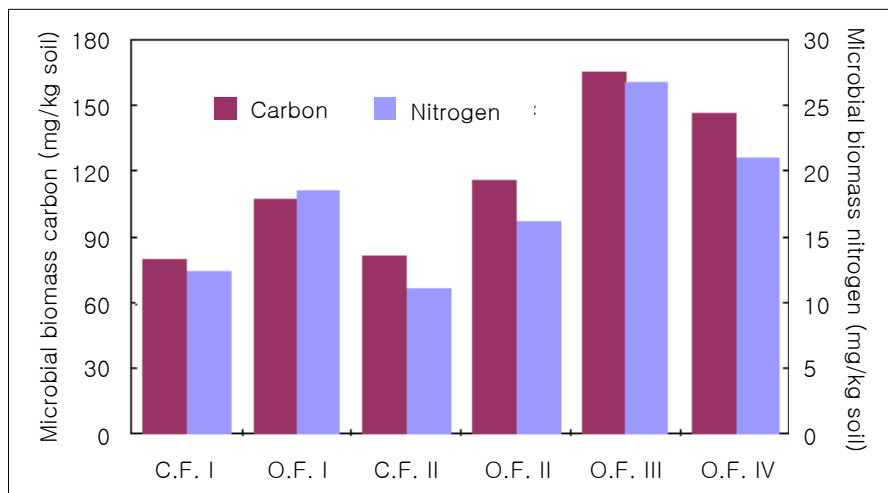


Fig 3. Microbial biomass carbon and nitrogen in the soil after experiment

3. 잡초 제어에 미치는 녹비작물의 윤작도입 효과

그림 4와 5에서 보는바와 같이 파 재배 전에 호밀을 환원한 처리구에서 호밀을 환원하지 않은 처리구에 비해 52%의 잡초발생을 경감시킬 수 있었다. Barns와 Putnam (1986)은 호밀이 잡초의 생체중을 93%까지 감소시키고 잡초의 발아 및 생육을 억제한다는 연구결과와 호밀을 피복한 후 30~60일 까지 80% 이상의 잡초발생 억제효과가 있었다는 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다.(농촌진흥청, 1996) 고추의 경우 본 시험에서는 뚜렷한 잡초발생 경감효과는 없었다. 이것은 고추재배시 흑색비닐을 멀칭하였기 때문에 녹비작물 윤작에 따른 잡초제어 효과는 미미하였던 것으로 판단되었다.

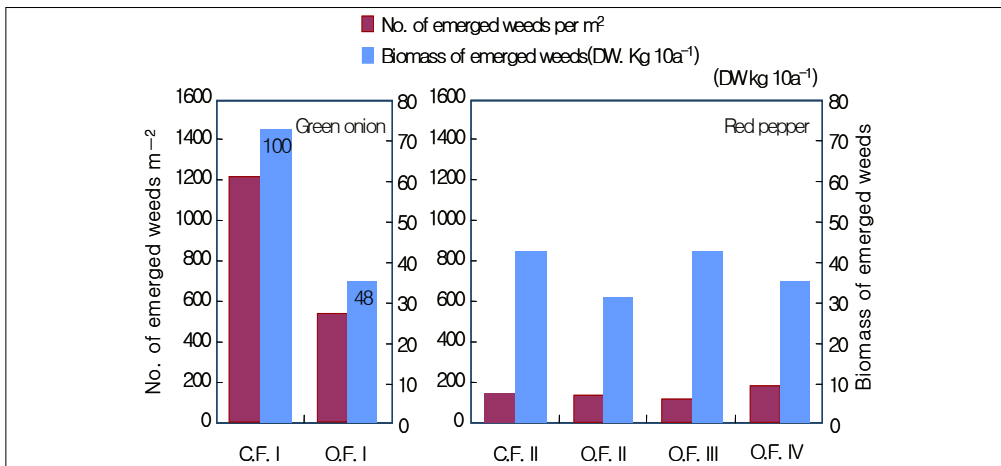


Fig. 4. Number and biomass of emerged weeds



Fig. 5. Emerged weeds after return of rye in green onion plots

파 재배를 위하여 녹비로서 호밀을 환원한 후에 발생된 잡초의 초종과 우점도 및 종다양성 지수는 표 8에서 보는바와 같다. 호밀환원구 및 비환원구에서 각각 14종 및 11종이 발생되었으며, 두처리 모두 중요도는 쇠비름, 빈도는 중대가리풀이 가장 높았다. 호밀 환원구에서 잡초 발생수는 적었으나

종다양성을 나타내는 Shannon 지수는 0.606으로 높았다. 따라서 유기농업에서 호밀을 윤작하여 토양에 환원함으로서 잡초의 발생량을 줄이고 종다양성은 증가시킬 수 있다.

Table 8. Comparison of Weed species, dominance value and diversity index of emerged weeds in return and non-return of rye plots

Non-return of rye					Return of rye				
Species of weeds	D.W. (g)	No. of weeds	Impo.	Freq.	Species of weeds	D.W. (g)	No. of weeds	Impo.	Freq.
<i>Centipeda minima</i>	18.90	1,075	19.3	66.0	<i>Centipeda minima</i>	1.99	416	4.2	57.5
<i>Cyperus nipponicus</i>	6.82	201	7.0	12.3	<i>Rorippa islandica</i>	5.51	100	11.7	13.8
<i>Potulaca oleracea</i>	35.80	132	36.6	8.1	<i>Cyperus nipponicus</i>	0.70	84	1.5	11.6
<i>Mollugo pentaphylla</i>	3.42	77	3.5	4.7	<i>Potulaca oleracea</i>	32.20	67	68.5	9.3
<i>Rorippa islandica</i>	11.10	71	11.4	4.4	<i>Mollugo Pentaphylla</i>	1.00	22	2.1	3.0
<i>Aigitaris ciliaris</i>	12.40	35	12.7	2.1	<i>Cyperus amuricus</i>	1.83	17	3.9	2.3
<i>Cyperus amuricus</i>	5.24	30	5.4	1.8	<i>Taraxacum mongolicum</i>	0.77	4	1.6	0.6
<i>Taraxacum mongolicum</i>	1.93	5	2.0	0.3	<i>Digitaria ciliaris</i>	0.83	4	1.8	0.6
<i>Acalypha australis</i>	1.97	2	2.0	0.1	<i>Eclipta prostrata</i>	0.16	3	0.3	0.4
<i>Mazus pumilus</i>	0.02	1	0.02	0.1	<i>Oxalis corniculata</i>	0.06	2	0.1	0.3
<i>Eclipta prostrata</i>	0.25	1	0.3	0.1	<i>Acalypha australis</i>	1.85	2	3.9	0.3
					<i>Amaranthus lividis</i>	0.02	1	0.04	0.1
					<i>Euphorbia supina</i>	0.05	1	0.1	0.1
					<i>Mazus pumilus</i>	0.02	1	0.04	0.1
Total	97.9	1,631				47.0	724		
Shannon's index		0.524					0.606		

* D.W. : dry weight, Impo. : Impotence, Freq. : Frequency

잡초가 흡수한 양분의 양을 분석한 결과 표 9에서 보는바와 같이 호밀을 환원하지 않은 처리구에 비해 약 31% 정도 경감시킬 수 있었다. 따라서 호밀을 재배하여 녹비로 사용하면 잡초의 발생량을 줄일 수 있으므로 잡초에 의하여 수탈되는 양분도 줄일 수 있다.

Table 9. Nutrient uptake of weeds

Nutrients	Non-return of rye	Return of rye
N	0.7	0.4
P ₂ O ₅	0.7	0.4
K ₂ O	3.6	2.6
Total	5.1(100)	3.5(69)

어떤 잡초종에 대하여 타감효과가 있는지 밝혀내기 위하여 호밀과 헤어리베치를 파종하여 생육시킨 용기 내에서 몇가지 잡초종자에 대한 발아력을 검정한 결과는 표 10에서와 같다. 호밀을 파종했던 용기내에서는 어저귀, 참방동사니 및 바랭이가 0~20%의 발아율을 나타내어 이들 초종에 대한 발아

억제 효과가 있었다. 그러나 헤어리베치의 뿌리에서는 이들 잡초종자에 대한 뚜렷한 발아억제 효과를 발견할 수 없었다. 농촌진흥청(1996)은 대표적인 타감작용으로 알려진 호밀에서 syringic acid와 salicylic acid 등과 같은 phenol 화합물에 의하여 타감작용을 나타내는 것이라 보고하였다. 따라서 호밀의 뿌리에서 이들 화합물이 분비되었기 때문에 특정 잡초에 대하여 발아를 억제시킨 것으로 추측되었다.

Table 10. Effect of hairy vetch and rye root exudate on germination of weeds

Weeds	Germination rate of weed seeds(%)		
	Rye	Hairy vetch	Distilled water
<i>Abutilon theophrasti</i>	0	55 (90)*	61 (100)
<i>Persicaria nodosa</i>	0	0	0
<i>Amaranthus hybridus</i>	57 (81)	82 (117)	70 (100)
<i>Portulaca oleracea</i>	0	0	0
<i>Cyperus iria</i>	0	10 (48)	21 (100)
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	9 (150)	4 (67)	6 (100)
<i>Digitaria ciliaris</i>	20 (47)	30 (70)	43 (100)
<i>Echinochloa crus-galli</i>	53 (85)	60 (97)	62 (100)

* Relative germination rate compared with distilled water

4. 진딧물 제어를 위한 천적 방사효과

노지 고추재배시 천적 방사에 의한 진딧물 제어효과를 구명하기 위하여 진딧물 및 천적의 밀도를 조사한 결과는 표 11에서와 같다. 관행농업구에서 농약을 살포하기 전인 6월 9일에 조사된 진딧물의 수는 50엽당 571마리에서 농약을 살포한 후 급격히 감소하였다. 그러나 6월 9일 콜레마니 진디벌 머미를 벵커플랜트에 방사한 이후에도 밀도는 1,642~2,233마리로 오히려 증가하였다. 그러나 콜레마니 진디벌, 풀잠자리 무당벌레 등 천적의 밀도는 증가하였다. 이는 천적의 먹이가 되는 진딧물의 발생이 많아지므로 천적의 밀도도 증가하였던 것으로 해석되며, 노지조건에서 천적의 효과는 크지 않았다.

Table 11. Changes of number of *Aphidae* and natural enemy in red pepper plots

Treatments	Date	<i>Aphidae</i> (No./50 leaves)	Natural enemy(No. /50 leaves)				Total
			<i>Coccinellidae</i>	<i>Neuroptera</i>	<i>aphidius</i> <i>colemani</i> mummy	Others	
C.F. II	6/9	571	-	0.7	6	0.3	7
	6/28	22	-	-	9	0.3	9.3
	7/28	-	-	0.7	-	0.7	1.4
O.F. II	6/9	820	9	2.7	2	-	13.7
	6/28	1,642	5.7	-	53	0.7	59.4
	7/28	6	-	2.7	9	0.7	12.4
O.F. III	6/9	1,094	13.7	13.3	7	-	34
	6/28	2,233	2.3	-	73	0.7	76
	7/28	23	-	2.0	2	0.7	4.7
O.F. IV	6/9	275	-	5.3	3	2.0	8.3
	6/28	1,816	1.0	-	49	-	50
	7/28	48	-	0.7	4	-	6.7

* Natural enemy : Eggs, Larva, Adult

5. 토양서식 미소동물상에 미치는 녹비작물 윤작도입 효과

그림 6은 윤작을 도입한 유기농업체계에서 응애류의 밀도를 조사한 것으로 파의 경우 윤작을 실천하여도 응애류의 밀도에는 영향이 없었으나 고추의 경우 관행농업구에 비해 윤작을 실천한 유기농업구에서 유의한 증가경향을 보였다.

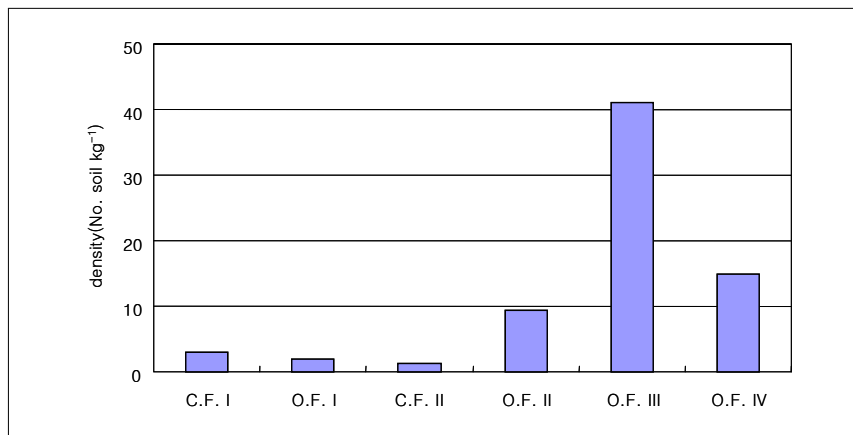


Fig. 6. Number of *tetranychidae* in soil with different cropping systems

표 12는 토양서식 미소동물의 종다양성을 나타낸 것으로 고추재배지의 경우 관행농업구는 0.681이었으나 유기농업구에서는 0.961~1.901로 높았다. 특히 헤어리베치를 윤작한 처리구에서 높은 종다양성 지수를 나타내었다. 관행농업 보다는 유기농업에서, 연작재배지 보다는 윤작재배지에서 토양 미소동물의 개체수를 증가시킨다는 Maeder 등(2002)의 보고와 같이 유기농업에서 윤작을 도입함으로써 토양서식 미소동물의 밀도는 물론 종다양성에도 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

Table 12. Species diversity of soil microfauna in soil with different cropping systems

Treatments	C.F. I	O.F. I	C.F. II	O.F. II	O.F. III	O.F. IV
Species diversity(H')	1.345	0.828	0.681	1.901	1.004	0.961

6. 녹비작물 윤작도입에 따른 양분수지의 변화

양분수지는 비료의 사용, 관개수, 강우 및 생물고정에 의하여 input된 양분과 작물의 흡수, 용탈, 유거 휘산 및 탈질에 의하여 output된 양분의 차이로 산출된다. 산출된 양분수지는 양분의 이용효율을 높이고 환경의 오염을 최소화하기 위한 근거를 제공한다(농업과학기술원, 2004). 유기농업체계에서 녹비작물을 윤작할 경우 양분수지 분석을 통하여 양분의 효율적인 관리가 가능하도록 질소, 인산 및 칼리의 양분공급량과 작물흡수량에 의하여 산출한 양분수지 결과를 표 13에서 표 15까지 제시하였다.

과 재배시 질소수지의 경우 관행농업구는 물론 유기농업구에서 대부분 음의 값을 나타내어 공급량이 적었던 것으로 나타났다. 그러나 호밀을 윤작한 처리구에서 흡수량이 적어 양의 값을 나타내었다. 이것은 질소기아 현상으로 작물이 질소를 충분하게 흡수하지 못한 결과로 해석되었다.

Table 13. Nitrogen balance according to rotation of green manure crops

Treatments	Input(kg/10a)			Output(kg/10a)	Balance (A+B-C)
	Application amount*(A)	Green manure(B)	Total (A+B)	Crop uptake(C)	
C.F. I	21.9	-	21.9	2.2	19.7
O.F. I	10.4	7.2	17.5	2.4	15.1
C.F. II	21.1	-	21.1	23.7	-2.5
O.F. II	7.5	11.1	18.6	20.8	-2.2
O.F. III	14.4	7.0	21.4	17.4	4.0
O.F. IV	4.7	15.1	19.8	21.3	-1.4

인산 수지는 고추의 경우 대체로 유기농업구에서 0 에 근접하였다는 것을 알 수 있다. 그리고 관행농업구에 비해 인산의 투입량을 39~74%까지 절감한 반면 흡수량에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 또한 토양 검정을 하였기 때문에 관행농업구에서도 인산수지가 크게 높지는 않았다. 따라서 녹비작물을 윤작하여 토양에 녹비로 사용할 경우 최근 문제시 되는 농경지내 인산집적의 문제를 해결하는 대안이 될 수 있다는 것을 시사한다.(2003. 농업과학기술원)

Table 14. Phosphate balance according to rotation of green manure crops

Treatments	Input(kg/10a)			Output(kg/10a)	Balance (A+B-C)
	Application amount (A)	Green manure(B)	Total (A+B)	Crop uptake(C)	
C.F. I	16.8	-	16.8	0.7	16.1
O.F. I	1.6	5.0	6.6	0.8	5.8
C.F. II	9.6	-	9.6	5.3	4.4
O.F. II	1.2	3.2	4.4	4.7	-0.3
O.F. III	2.3	4.9	7.1	4.3	2.8
O.F. IV	0.7	4.4	5.1	4.9	0.2

고추재배시 칼리수지는 녹비작물 윤작을 통하여 투입량은 34~58%로 경감시킬 수 있었으나 작물의 흡수량이 높아 수지는 대부분 음의 값을 나타내었다. 따라서 윤작을 실천함과 동시에 별도의 칼리 관리가 필요할 것으로 판단되었다.

Table 15. Potassium balance according to rotation of green manure crops

Treatments	Input(kg/10a)			Output(kg/10a)	Balance (A+B-C)
	Application amount (A)	Green manure(B)	Total (A+B)	Crop uptake(C)	
C.F. I	25.4	-	25.4	4.6	20.8
O.F. I	2.5	12.2	14.8	4.8	9.9
C.F. II	26.7	-	26.7	38.4	-11.7
O.F. II	1.8	7.2	9.0	37.1	-28.1
O.F. III	3.5	11.9	15.4	31.0	-15.5
O.F. IV	1.1	9.7	10.9	36.6	-25.7

7. 헤어리베치 품종의 국내 적응성 평가

헤어리베치는 두과 녹비작물 중 비교적 내한성이 강하여 우리나라의 중북부 지역 및 높은 산간 고냉지에서도 재배가 가능하며(서종호, 2000), 질소함량이 높아 토양에 환원한 후 분해가 용이하여 작물의 생육초기부터 양분을 공급할 수 있으며,(2004. 이상민) 경사지의 토양유실 방지를 위한 적합한 작물로(2001. 작물시험장) 최근 사료작물, 녹비작물 및 토양피복작물로 이용이 증대되고 있다. 그러나 국내에서는 종자생산이 이루어지지 않고 있으며 대부분 외국에서 수입되어 활용되고 있으며, 국내 환경조건에 대한 적응력이 검증되지 않은 채 소규모 수입상을 통하여 무분별하게 공급되기 때문에 우리나라의 환경조건에 적합한 품종이 선발되어야 할 필요가 있다. 따라서 국내에 수입되는 몇 가지 품종을 대상으로 우리나라 겨울조건을 견딜 수 있는 품종을 선발하였다.

그림 7은 헤어리베치가 월동한 후 생존율을 조사한 것으로 *Hungvillosa*와 *Ostsaat* 품종의 월동력이 우수한 것으로 나타났다. 헤어리베치는 일명 winter vetch, Russian vetch, Siberian vetch 라고도 불려지듯 내한성이 강한 작물로 알려져 있었으나(서종호, 2000) Oregon common, TTF1, Minnie, Welta 등은 월동후 생존율이 50% 이하로 국내 적응력이 매우 약한 것으로 조사되었다.

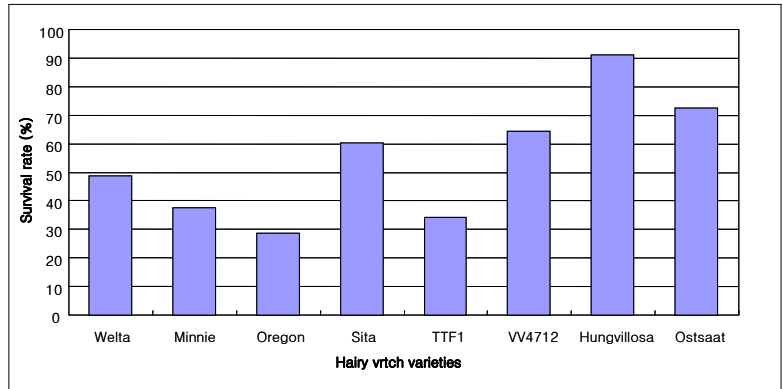


Fig 7. Survival rate of hairy vetch varieties after wintering

겨울철 혹한기를 견뎌 낸 몇 가지 헤어리베치 품종의 수확기 지상부 생체량은 그림 8에서 보는바와 같다. Hungvillosa와 Otsaat 품종이 수확기의 생체량 또한 가장 많았다. 이것은 월동 후 생존율이 높았기 때문인 것으로 판단된다.

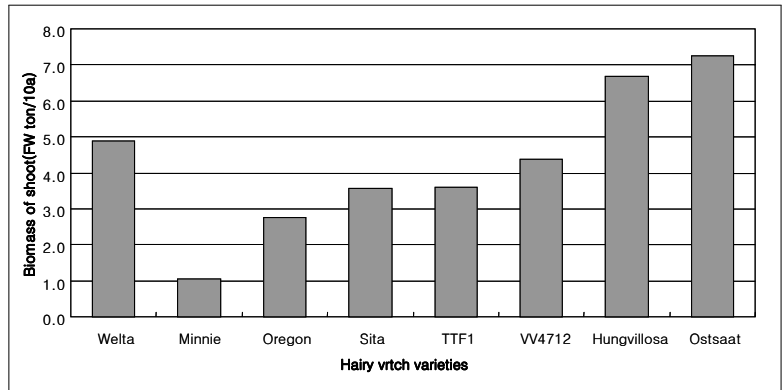


Fig. 8. Shoot biomass of hairy vetch varieties at harvesting stage

그림 9는 월동한 후 봄에 생존한 헤어리베치의 초기 생육단계의 모습이며 (좌), 수확기의 지상부 생육상황의 모습(우)을 보여주는 것이다. 헤어리베치 품종에 따른 국내 겨울조건에서의 생존 가능여부를 잘 보여주고 있다.



< Early growth stage >

< harvesting stage >

Fig. 9. Growth of hairy vetch varieties in spring after wintering

헤어리베치 품종별 수확기 지상부의 양분함량은 표 16에서와 같다. 품종별로 큰 차이는 없었으나 질소는 2.25~2.73%, 인산은 0.58~0.87%, 칼리는 3.83~5.31% 정도 함유하였다. 헤어리베치의 질소함량은 서종호(2000)는 약 4% 이었고, Ebelhar 등(1984)은 3.6~4.1%라고 한 보고와 비교했을 때 낮은 함량을 나타내었다.

Table 16. Nutrient contents of hairy vetch varieties (Dry weight basis)

Varieties	Water	----- % -----									
		N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
		---- mg/kg ----									
Otsaat	72.7	2.56	0.87	5.31	1.44	0.48	0.01	2,319	18	99	97
Hungvillosa	75.2	2.52	0.66	5.21	1.88	0.47	0.01	1,645	21	102	137
VV4712	72.2	2.61	0.66	5.16	2.16	0.50	0.01	1,117	22	111	187
TTF1	65.8	2.73	0.60	4.01	2.20	0.38	0.01	850	21	102	161
Welta	73.1	2.70	0.71	5.35	2.01	0.58	0.01	1,447	24	121	218
Minnie	60.9	2.26	0.58	3.83	2.18	0.47	0.01	953	23	83	166
Oregon	67.2	2.66	0.64	4.34	2.25	0.49	0.01	710	23	128	153
Sita	70.3	2.25	0.76	4.56	1.79	0.51	0.01	1,138	22	119	134
Average	69.7	2.54	0.69	4.72	1.99	0.49	0.01	1,131	22	108	157

그림 10은 수확된 헤어리베치를 전량 원래 재배하였던 토양에 다시 환원하고 경시적으로 토양 중 무기태질소함량의 변화를 조사한 결과이다. 전년도 가을 파종 당시 및 6월 3일 환원 당시의 토양 중 무기태 질소 함량은 거의 없었으나 환원 후 5일 이후부터 급속하게 증가하는 양상을 보였으며, Biomass가 많았던 Hungvillosa와 Otsaat 품종에서 가장 높았다. 그리고 환원 후 19일 쯤에는 무기태질소 함량이 급격히 감소하였다. 이것은 재배된 토양이 사질토로서 배수가 매우 쉬운 조건이었으며, 무기태질소의 대부분이 질산태질소로서 강우에 의한 지하용탈이 심하였기 때문으로 추측되었다.

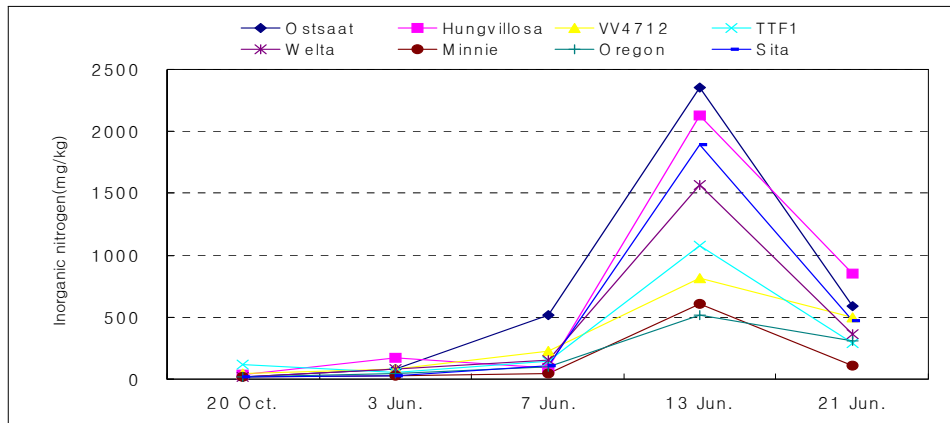


Fig. 10. Temporal changes of mineralized inorganic nitrogen from hairy vetch incorporated into the soil

8. 녹비작물의 양분공급 능력

녹비작물의 양분공급량은 대부분 지상부의 양분함량만을 대상으로 평가되어 왔으나, 지상부 뿐 만아니라 지하부에서 공급되는 양분의 양을 평가하여만 올바른 양분관리가 가능할 것이기 때문에, 호밀과 헤어리베치를 대상으로 지상부 및 지하부의 양분공급효과를 평가하였다.

표 17은 헤어리베치 및 호밀의 지상부 및 지하부 biomass 및 지하부에 대한 지상부의 비율을 나타낸 것이며, 그림 11은 지하부 뿌리의 수확기 모습을 나타낸 사진이다. 지하부에 대한 지상부의 비율은 헤어리베치가 1.91로 호밀 0.88에 비해 크게 높아 헤어리베치는 지상부에서, 호밀은 지하부에서 차지하는 비율이 더 높았다.

Table 17. Shoot/root ratio of green manure crops at harvesting stage

Green manure crops	Shoot		Root		S/R ratio (DW basis)
	F.W.	D.W.	F.W.	D.W.	
	----- g/plant -----				
Hairy vetch	61.6	17.2	47.1	9.0	1.91
Rye	50.0	21.3	90.3	24.3	0.88



Fig. 11. Root of rye(left) and hairy vetch(right) at harvesting stage

지상부 및 지하부의 biomass 및 양분함량을 고려하여 투입가능한 양분의 양을 산출한 결과는 표 18에서와 같다. 헤어리베치의 경우 총질소 공급량은 17.0kg/10a로 호밀 7.7kg/10a에 비해 약 2배 가량 높았다. 총인산 및 칼리 공급량은 호밀과 헤어리베치 모두 대등한 수준을 보였다. 또한 질소의 경우 호밀 및 헤어리베치 모두 지하부에 비하여 지상부에서 약 3배 가량 높았다. Mitchell 등(1977)은 호밀과 헤어리베치의 뿌리 질소량은 전체의 9% 정도이며, 헤어리베치에서 옥수수에 공급된 질소의 90%는 지상부에서 유래한 것이라 보고하였으며, 김 등(1997)은 두과작물 뿌리에 의한 옥수수의 생육초기 무기태질소의 공급효과는 적었다는 결과를 비교했을 때 본 시험의 경우는 녹비작물의 뿌리를 통하여 공급할 수 있는 양분의 양이 많은 편이었다. 근권토양의 물리성을 개선하기 위해서는 지하부의 비율이 높은 호밀이 적합하며, 작물양분을 공급하기 위해서는 공중질소를 고정하고, 지상부의 비율이 높으며, 양분함량이 많은 헤어리베치가 적합할 것으로 판단되어 영농목적에 맞도록 녹비작물의 종류를 선택할 필요가 있다.

Table 18. Supply possible amount of nutrient by application of hairy vetch and rye as green manure (Unit : kg/10a)

green manure crops	Dry weight		N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	Shoot	Root	Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
Rye	490	557	5.8	1.9	7.7	6.2	1.7	7.8	17.3	4.6	21.9
Hairy vetch	433	227	12.7	4.3	17.0	7.5	1.0	8.6	20.7	2.2	22.9

적 요

유기농업 고추 및 파 재배를 위하여 겨울철 휴작기에 호밀 및 헤어리베치를 윤작하고 수량 및 토양비옥도, 녹비작물의 양분공급능력을 평가한 결과를 요약하면 다음과 같다. 유기농업 체계에 윤작을 도입하여 고추를 재배한 경우 수량은 관행농업 연작처리구 대비 유기농업 윤작처리구에서 64~77%로 나타났으며, 호밀을 환원한 처리구에서 수량이 감소하였으나 파 재배의 경우 유기농업 윤작처리구에서 13% 증수하였다. 토양이화학성 및 생물학적 특성 변화는 관행농업 연작처리구보다 유기농업 윤작처리구에서 토양탄소함량이 증가하였으며, 인산의 함량은 감소하여 인산이 집적된 토양에서 윤작을 도입하는 것이 바람직하였다. 또한 용적밀도는 관행농업구가 1.37~1.42Mg/m³이었으나 유기농업구는 1.26~1.35Mg/m³으로 물리적 성질이 개선되었다. 미생물체 탄소 및 질소량은 관행농업 연작처리구에 비해 윤작을 도입한 유기농업구에서 높았다. 호밀을 토양에 환원하지 않은 처리구에 비해 호밀을 환원하였을 경우 잡초발생량을 52% 경감시켰으며, 어저귀, 참방동사니, 바랭이와 같은 초종에서 발생억제효과가 뚜렷하였다. 고추재배시 유기농업 처리구에서 응애류의 밀도가 높았으며, 미소동물의 종다양성 지수도 관행농업 0.681에 비해 윤작처리한 유기농업구에서 0.961~1.901로 높게 나타났다. 녹비작물 윤작시 질소 및 인산 수치는 고추의 거의 0에 근접하였으나 칼리는 대체로 투입량에 비해 탈취량이 많아 별도의 칼리관리가 필요하였다. 녹비작물인 헤어리베치와 호밀의 지하부에 대한 지상부 비율을 조사한 결과 각각 1.91, 0.88로 호밀의 지하부 건물량이 높았다. 녹비작물의 양분공급 가능량은 질소, 인산, 칼리 각각 호밀은 7.7, 7.8, 21.9kg/10a, 헤어리베치는 17.0, 8.6, 22.9kg/10a이었다. 따라서 양분공급을 위해서는 헤어리베치를 윤작하고, 토양의 물리성을 개선하기 위해서는 호밀을 윤작하는 것이 바람직하였다. 헤어리베치 품종 중 겨울철 월동후 생존율 및 지상부 수량성이 좋은 Hungvillosa 및 Otsaat 가 녹비작물로서 가치가 높았다.

인용문헌

- 김동암, 김종덕, 이광녕, 신동은, 정재록, 김원호. 1997. 콩과목초잔주의 옥수수에 대한 질소공급효과. 한국초지학회지 17(3) : 293-304.
- 농업과학기술원. 1999. 작물별 시비처방기준.

- 농업과학기술원. 1999. 친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비·액비 제조와 이용.
- 농업과학기술원. 2003. 농업환경변동조사사업.
- 박양호, 이연, 김석철, 노재승, 박광래, 이주영. 2004. 발작물에 대한 양분의 종합관리. 농업과학기술원 농업환경연구. pp 430-458.
- 서종호. 2000. 헤어리베치 녹비사용에 따른 토양질소 증진 및 후작 옥수수의 질소비료 절감효과. 서울대학교 박사학위 논문.
- 양창술, 김종식. 2001. 토양미생물실험법. 월드사이언스.
- 이상민. 2005. 2004 농업과학기술 연구개발 결과 농촌지도사업 활용자료, 유기물의 무기화량 및 탄소분해율에 따른 합리적인 유기물 관리방법. 농촌진흥청. pp. 530.
- 이상범, 임동규, 권순익, 고문환, 성기석. 2003. 토양서식 미소동물 분리를 위한 개량된 Tullgren 장치. 한국토양비료학회 추계학술회의. pp 97.
- 이호진, 서종호. 2001. 환경친화형 소재개발 및 이용확대 심포지엄, 친환경 작물재배기술 및 소재개발, 농촌진흥청 UNDP 친환경농업사업단. pp 87-119.
- Anderson, J. P. E., and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21 : 471-479.
- Barnes, J. P. and A. R. Putnam. 1986. Evidence for allelopathy by residues and aqueous extracts of rye(*Secale cereale*. L). *Weed Sci.* 34 : 384-390.
- Brookes, P. D., A. Landman, G. Pruden, and D. S. Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* 17 : 837-842.
- Ebelhar, S. A., W. W. Frye and R. L. Blevins. 1984. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. *Agron. J.* 76 : 51-55.
- Gallardo, A., and W. H. Schlesinger. 1990. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation extraction methods in warm-temperate forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 22 : 927-932.
- Mitchell W. W., and M. R. Tell. 1977. Winter-annual clover crops for no-tillage corn production. *Agron. J.* 69 : 569-573.
- Paul Maeder, Andreas Fliessbach, David Dubois, Lucie Gunst, Padruot Fried, Urs Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science.* 296, 1694-1697.
- Soil Science Society of America. 1994. Methods of soil analysis part. Microbiological and biochemical properties.
- Vance, E. D., P. C. Brookes, and D. S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19 : 703-707.