

고랭지 영농방법이 비점원오염 물질의 유출과 토양의 물리적 변화에 미치는 영향

The Impacts of Runoff the Nonpoint Source Pollution and Soil Physical Change for Mountainous Management Practice

최 중 대 (강원대) · 강 태 영* (강원대) · 김 도 환 (강원대)
Choi, Joong Dae · Kang, Tae Young · Kim, Do Hwan

Abstract

This study was initiated to build runoff plots, install soil and water quality monitoring systems and collect background data from the plots and soils to assess runoff the nonpoint source pollution and soil physical change in mountainous soils.

Eleven 3 x 15 m runoff plots and monitoring systems were installed at a field of National Alpine Agricultural Experiment Station to monitor soil physical change, and discharge of nonpoint source pollutant. Corn and potato were cultivated under different fertilizer, tillage and residue cover treatments. The soil has a single-layered cluster structure that has a relatively good hydrologic properties and can adsorb a large amount of nutrient.

11 runoff plots were treated and monitored with respect to physical property of the soil, runoff and sediment discharge.

I. 서 론

경사가 7도 이상인 밭은 우리나라의 밭 면적 약 75만 5천ha 중 46만 8천 ha(62%)이다(김성구 1994, 농수산통계연보 1992). 특히 강원도는 경사가 30도 이상의 급경사 밭이 36.6%를 차지하고 있다. 산지 농지에서는 척박해진 토양과 얽힌 토심을 개선하고 비옥도를 높여 농업 생산성을 향상시키기 위해서 객토와 더불어 다량의 화학비료와 유기질비료를 투입하고 경운하는 방식으로 농업이 이루어지고 있다. 적절하게 관리되지 못한 시비방법, 경운방법과 토양관리방법은 강우에 의해 토사유출과 영양물질이 주변 수계에 유입되어 상수원의 수질의 원인으로 작용한다.

따라서 본 연구는 우리나라 고랭지 산지에서 전통적으로 행하여 졌던 시비방법이나 경운방법, 토양의 관리방법이 비점원 오염의 유출과 토양의 물리적인 변화를 구명하여 영농자재의 사용을 최소화하면서도 농업의 생산성을 유지하여 환경친화적인 저투입 지속적 최적영농방법을 개발하기 위한 기초자료의 제공하여 문제를 해결함을 목적으로 한다.

III. 재료 및 방법

1. 유출 시험포

유출 시험포는 우리나라의 산지 농업을 대표할 수 있는 강원도 대관령 소재 농촌진흥청 고랭지 농업시험장의 포장 중에서 선정하였다. 지리적 위치는 북위 37° 40' 25''와 동경 128° 45' 30'' 부근으로 태백산맥의 능경봉(1,123.1m) 줄기에 있으며 영동고속도로 대관령 휴게소에서

1998년 한국농공학회 학술발표 논문집 (1998년 10월 24일)

Table 1. Summary for the experimental plot treatments.

Plot No.	작 물	비료처리	경운처리	피복처리
1	옥수수	화학	등고선과 평행	무피복
2	옥수수	화학+유기질	등고선과 평행	무피복
3	옥수수	유기질	등고선과 평행	무피복
4	옥수수	화학+유기질	무경운	100% 피복
5	옥수수	화학+유기질	등고선과 직각	무피복
6	옥수수	화학	등고선과 평행	100% 피복
7	감 자	화학	등고선과 평행	무피복
8	감 자	화학+유기질	등고선과 평행	무피복
9	감 자	유기질	등고선과 평행	무피복
10	감 자	화학+유기질	등고선과 직각	무피복
11	감 자	화학+유기질	등고선과 평행	흑색비닐

m는 지상으로 나오게 설치하였다.

각 시험포에는 유출수를 수집하는 Gutter와 유량과 수질 시료를 채취하기 위한 Flum을 설치하였다. Flume을 통과한 유출수는 0.25m³ 크기의 플라스틱 저수조에 저장되었다가 배수로를 통하여 배수되게 했다.

유출수의 유량은 측정은 수위계를 이용하여 Flume을 흐르는 유출수의 수심을 측정 후 이를 유량으로 환산 측정하였다.

2. 시험포의 처리내용

시험포는 Table 1.의 내용으로 재배작물의 특성을 고려하여 비료의 종류, 경운방법, 그리고 지표 피복방법으로 구분하여 처리하였다. 각 plot에는 옥수수와 감자를 재배하였으며, 재배는 관행 및 표준 경종법을 따랐다.

시비는 옥수수와 감자 재배 plot의 시비량은 각각 권장시비량인 (20-15-15) 및 (15-18-12)에 준했으며, 요소, 용과린, 염화가리를 사용하여 plot면적에 상응하는 비료량을 시용했다. 유기질 비료는 관행 시비량으로 2000kg/10a을 plot면적을 고려하여 시용했다.

재배작물의 종자처리, 파종, 생육관리, 농약시용, 수확등은 고령지 시험장 관행 및 표준 경종법에 준했다.

3. 토양 물리적 변화 측정

는 남쪽방향으로 약 1.2 km 떨어져 있다. 경사($\tan \theta$)는 0.119 (6.8°)에서 0.133 (7.6°), 그리고 해발표고는 900m 전후로 고령지 산지 농경지의 지형적 특성과 기후적 특징을 가지고 있다.

시험포는 장방형으로 가로 약 25m 세로 60m로 1,500m²(454평) 면적에 Fig 1.과 같이 크기는 가로 3m 그리고 세로 15m (45 m², 혹은 13.6평)로 하여 감자용 5개 옥수수용 6개로 총 11개가 설치되었다. 시험포의 경계는 0.7mm 두께의 합석을 30cm 폭으로 절단하여 설치하였다. 폭 30cm의 경계합석은 15cm는 토양에 묻고 15c

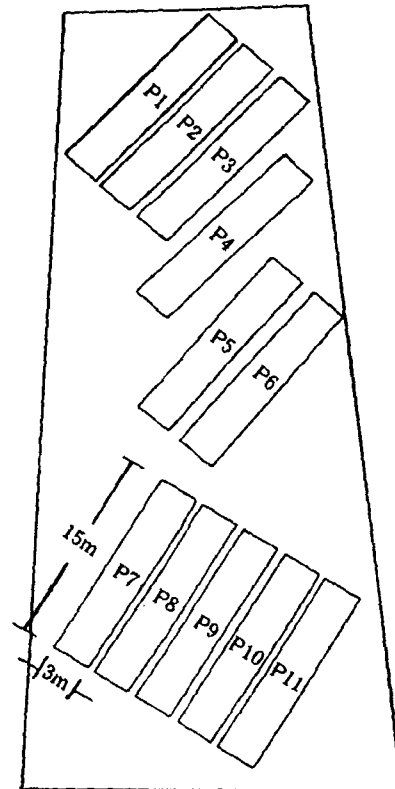


Fig. 1. Lay-out of runoff plots

토양의 물리적 특성은 봄 파종 전과 가을 수확 직전에 각 시험포 별로 측정하였다. 토양의 물리적 특성과약은 현장 토양 침투능 실험과 함수비, 건조밀도등을 측정하였다.

토양침투능 시험과 건조밀도등은 시험포 내에 12인치 실린더를 토양이 교란되지 않도록 하여 토양으로 약 10cm 깊이로 타입하여 일정한 물을 채운 후 침입속도를 측정하는 방법을 사용하였다. 현장에서 흙의 부피를 측정하여 무게를 측정한 후 실험실에서 건조후 토양의 함수비와 밀도등 토양의 물리적 특성을 측정하였다.

4 유출자료 조사

기상 및 강우자료는 시험포 주변에 설치되어 있는 무인기상대에서 수집하였다. 유출량은 flume에 설치한 자동 수위계와 flume 하부에 설치한 대형 플라스틱 수조를 이용하여 측정하였으며, 유수량은 샘플채취시의 SS농도와 수조에 고인물의 SS농도 및 수조의 바닥에 침전한 침전물을 수거하여 측정하였다. 강우시 유출되는 유출수 시간별로는 1.5liter 플라스틱 용에에 담아 얼음으로 충전된 아이스 박스에 담아 즉시 강원대학교 농화학과 실험실로 운반하여 수질 공정 시험법에 의해 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시험포 토양의 물리적 변화

1.1. 함수비

시험포 토양 함수비는 Table 2.에 나타내고 있다. 5, 6번 시험포를 제외한 함수비는 비교적 비슷한 분포를 보였다. 5, 6번 시험포는 교란되지 않은 압밀된 토양에 위치하고 있고 잔돌이 많이 있기 때문인 것으로 생각된다.

Table 2. Top soil (0-10cm) moisture content of the runoff plots

Crop	Plot No.	Moisture content (wt. %)	
		Apr. 13, '97	Aug. 20, '97
C o r n	1	41.97	43.37
	2	42.27	42.58
	3	31.96	36.35
	4	40.61	39.75
	5	28.61	28.31
	6	31.21	28.86
P o t a t o	7	40.95	44.32
	8	40.18	41.86
	9	39.86	43.25
	10	36.19	42.11
	11	35.11	43.26

Table 3. Measured bulk density of 10 cm profile of the runoff plots

Crop	Plot no.	Bulk density (g/cm ³)		
		Sep 14, '96	Aug 20, '97	Apr. 15, '98
C o r n	1	0.90	0.90	0.84
	2	1.02	1.02	0.92
	3	1.01	1.07	1.02
	4	1.07	1.07	1.04
	5	1.02	1.02	1.01
	6	1.09	1.09	1.01
P o t a t o	7	0.90	0.90	0.88
	8	0.91	0.91	0.88
	9	0.97	0.97	0.90
	10	1.00	1.00	0.92
	11	0.89	0.89	0.89

11번 시험포는 검은 비닐시트로 멀칭을 한 시험포이기 때문에 건조기에는 지표부근의 함수비가 다소 높을 것으로 예상되나 본 조사에서는 강우 후 3내지 4일 이내에 측정하여 큰 차이는 보이지 않았다.

1.2 건조밀도

96년과 97년에 측정된 건조밀도에는 큰 변화가 없었으나 압밀된 토양에 설치된 4, 5, 6번 시험포의 건조밀도가 다른 시험포 보다 다소 높은 건조밀도를 보였다. 특히 4번과 6번 시험포는 압밀된 토양에 설치되었고 무경운 재배 시험포로 다른 시험포 보다 높은 건조밀도를 보였다.

Table 4. Computed porosity and depth of water in soil of 10 cm soil profile.

Crop	Plot no.	Porosity(%)			Depth of water(cm/10cm)		
		Sep. 14, '96	Aug. 20, '97	Apr. 15, '98	Sep. 14, '96	Aug. 20, '97	Apr. 15, '98
C o r n	1	65.32	66.35	67.89	3.65	4.02	4.13
	2	61.01	64.50	64.62	3.18	3.97	4.04
	3	61.39	60.37	63.72	2.94	3.54	4.15
	4	58.78	59.86	60.99	3.49	4.15	4.54
	5	60.72	54.20	62.22	2.74	3.23	3.41
	6	58.05	54.16	59.56	2.37	3.33	3.51
P o t a t o	7	65.37	66.19	66.21	3.64	4.21	4.39
	8	64.94	65.17	66.40	3.75	3.83	4.27
	9	62.77	65.56	65.36	3.67	3.70	4.55
	10	61.56	62.01	65.99	3.61	4.30	4.41
	11	66.06	61.97	64.62	3.46	4.52	4.29

1.3. 공극율과 흡수심

시험포의 공극율과 흡수심은 4, 5, 6번 시험포에서 압밀된 토양에 설치된 관계로 비교적 작게 나타났으며 다른 시험포의 공극율은 비슷하였다(Table 4). 흡수심의 경우 건조밀도가 크고 공극율이 작은 시험포에서 비교적 작게 나타났다. 96년 보다는 97년도에 흡수심이 크게 나타난 것은 측정전의 선행강우량 때문이다.

1.4. 침투능

침투능의 크기는 시간이 감에 따라 감소되었다. 시험시작 10분 후의 침투능은 변화가 심하여 비교하기 어려우나 30분과 60분 후의 침투능은 8월에 측정된 침투능이 4월에 측정된 침투능 보다 보편적으로 높게 나타났다.

Table 5. Infiltration test results of the corn runoff plots.

Measured time	Plot No.	Infiltration (mm/hr)	
		Apr. '97	Aug. '97
10 min. after water application	1	140.34	151.72
	2	320.98	273.68
	3	145.65	62.27
	4	66.24	309.55
	5	152.18	120.24
	6	157.56	212.44
30 min. after water application	1	84.22	80.37
	2	226.23	201.06
	3	86.01	40.00
	4	44.15	195.19
	5	88.90	107.84
	6	97.72	172.22
60 min. after water application	1	61.05	62.27
	2	181.45	165.69
	3	61.73	30.48
	4	34.19	146.28
	5	56.12	109.59
	6	72.44	150.96

Table 6. Infiltration test results of the Potato runoff plots.

Measured time	Plot No.	Infiltration (mm/hr)	
		Apr. '97	Aug. '97
10 min. after water application	7	162.37	271.53
	8	142.92	293.73
	9	76.09	243.00
	10	125.88	233.51
	11	288.37	55.69
	30 min. after water application	7	99.29
8	86.73	176.65	
9	44.27	170.11	
10	69.65	165.23	
11	206.26	37.41	
60 min. after water application	7	72.92	117.26
	8	63.29	128.76
	9	31.58	136.16
	10	48.00	133.04
	11	167.34	29.12

2. 시험포의 비점 오염원

2.1. 유출량

Fig. 2. 와 3은 옥수수과 감자 시험포의 유출량 측정자료로 강우량은 5mm/day 이상의 유효강우만 나타냈다. 실험중 집중호우가 적었고 시험포가 비교적 작기 때문에 유출량은 크지 않았다. 강우강도가 낮고 지속적으로 오는 강우의 경우 유출량은 비교적 작았으며 강우량은 작아도 강우강도가 큰 경우 비교적 많은 유출이 나타났다. 유출량은 작물재배시보다 수확후에 크게 나타나는 경향을 보였다.

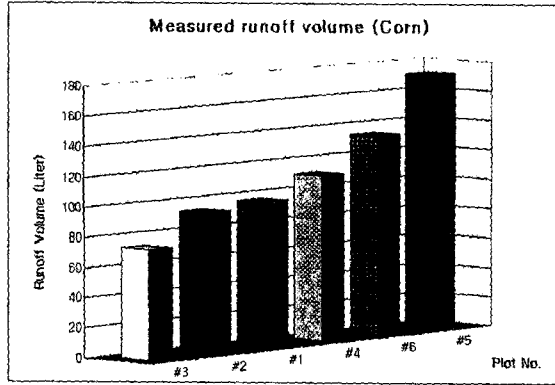


Fig. 3. Measured runoff volume from the Corn plots in 1997

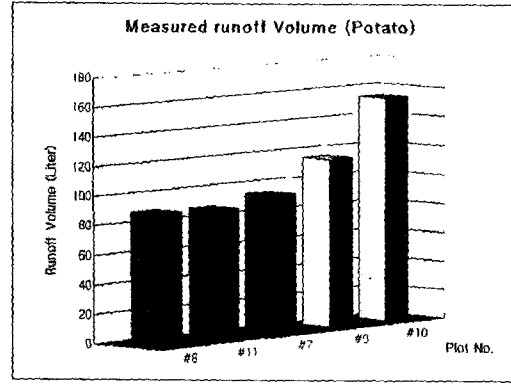


Fig. 4. Measured runoff volume from the Potato plots in 1997

3. 시험포의 유사량 비교

Table 9와 10은 옥수수과 감자 시험포로부터 유사량을 측정된 자료이다. 유사의 포집은 수조에 침전된 토사와 부유물질의 농도로부터 구한 부유물질량을 합하여 구하였다. Table 9는 옥수수 시험포의 유사량을 측정된 자료이다. 유사량의 크기는 경운방법과 residue cover에 따라 많은 차이를 보였으나 시비방법에는 상대적으로 영향이 작은 것으로 나타났다. 등고선에 직각으로 고랑을 조성한 시험포는 평행으로 조성한 시험포에 비하여 유사배출량이 상대적으로 크게 나타났다.

Table 9. Sediment discharge from the corn plots in 1997

Measuring period	Rain-fall (mm)	Plot Number					
		1	2	3	4	5	6
413-63	22	60309	78696	52607	31340	155541	14960
63-626	71	13479	12389	14664	8729	11214	7089
626-722	35	117	105	042	015	149	013
722-86	68	9355	4553	1939	7788	8818	7358
820-93	32	1076	1222	591	195	2023	1208
93-911	15	150	172	141	070	509	127
911-927	142	030	191	051	607	29181	062
Total		84516	96328	70043	48743	207535	30816

Table 10. Sediment discharge from the potato plots in 1997

Measuring period	Rain-fall (mm)	Plot Number				
		7	8	9	10	11
413-63	272	55529	46401	63177	72372	42814
63-626	71	21570	14754	13774	36898	7808
626-722	35	098	016	095	122	092
722-86	68	4615	7296	10800	11480	2491
820-93	32	1150	1602	1430	4408	1084
93-911	15	115	075	099	187	058
911-927	142	209	214	105	293	160
Total		83286	70398	89482	125755	56610

경작지의 대표적인 비점원 오염물질인 유사의 발생은 단순한 토양유실에 그치지 않는다. 유

사와 함께 토립자에 흡착되어 있는 다양한 종류의 영양염류, 화학물질 및 유기물이 동시에 유출되어 토양 양분과 토심 저하되어 생산성이 낮아진다. 또한 유출된 유사는 수자원의 질을 저하시키며 수로와 저수지 등에 퇴적되어 통수능력과 저류능력을 감소시키고 수생 생태계에 악영향을 미친다. 경사농경지로부터 유사의 발생은 토성, 경사장 및 경사도 등 여러 인자들에 의하여 영향을 받는다. 이중에서도 경사도와 경사장이 중요한 변수로 작용하는 것으로 알려져 있다. 본 실험은 실제 고랭지 경사농경지의 경작규모보다 경사도는 낮고 경사장은 짧은 유출시험포에서 수행되었기 때문에 실제의 경작지에서는 더욱 더 많은 유사가 적게 발생했을 것이라 생각된다.

IV. 결론

고랭지 농경지에서 영농방법을 달리하여 유출시험포를 운영하며 토양의 물리적 특성자료를 수집하고, 시험포의 유출 및 유사자료를 수집하고 분석하여 다음의 결론을 구할 수 있었다.

- 1) 측정된 유출시험포의 건조밀도와 공극율은 실험처리에 따라 큰 유의성이 보이지 않았다.
- 2) 유출시험포의 침투능은 봄의 작물재배전보다 늦여름에 측정된 것이 크게 나타났으며 실험처리보다는 토양의 기본적인 성질에 따라 변화를 보였다.
- 3) 유출시험포의 유출량은 경운방법과 토양의 기본적인 성질에 따라 많은 차이를 보였다. 유출량은 등고선 경사면에 직각으로 이랑을 조성한 시험포에서 가장 많았고 등고선 경사면에 평행하게 이랑을 조성한 시험포에서 가장 작았다. 또한 건조밀도가 다소 높은 토양에서 많은 유출량을 보였다.
- 4) 유출시험포의 유사량은 특히 경운방법과 residue cover에 따라 현저한 차이를 보였다. 유사는 등고선 경사에 직각으로 이랑을 설치한 시험포에서 가장 많았으며 residue cover 100%인 시험포에서 가장 작게 나타났다.
- 5) 고랭지 산지 농경지에서 유사의 배출은 경운방법과 residue cover에 따라 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 경운방법 개선과 residue cover의 효율적인 영농방법이 반드시 고려되어야 할 것이다.

<참고문헌>

1. 최중대, 김정제, 정진철, 1997, 산지에서 환경보전형 농업을 위한 토양의 질 평가 -모니터링 시스템의 구축과 기초자료의 수집-, 한국농공학회지 Vol. 39(2) pp. 113-123.
2. 농업기술연구소, 1983. 한국토양총설
3. Davis, R. L. 1993. Evaluating and Designing Riparian Corridors for Water Quality. Integrated Resource Management and Landscape Modification for Environmental Protection, Proceedings of the International Symposium. ASAE Publication 13-93. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085, USA.
4. Flippo, H. N. and D. R. Jackson. 1993. A Bibliography of Selected Nonpoint Source Literature. Susquehanna River Basin Commission. Publication No. 148. 1721 N. Front Street, Harrisburg, PA 17102, USA.
5. Larson, W.E. and F.J. Pierce, 1994. The Dynamics of Soil Quality as a Measure of Sustainable Management, In: Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart (eds.), Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 35. Madison, WI, USA. pp.37-51.