

지리정보시스템을 활용한 연초재배 토양의 비옥도 평가

석영선 · 홍순달 · 안정호¹
충북대학교 농과대학, ¹연초생산협동조합중앙회
(1999년 5월 18일 접수)

Soil Fertility Evaluation by Application of Geographic Information System for Tobacco Fields

Yeong-Seon Seok*, Soon-Dal Hong and Jung-Ho Ahn¹
College of Agriculture, Chungbuk National University, ¹National Leaf Tobacco Grower Cooperatives Federation
(Received May 18, 1999)

ABSTRACTS : Field test was conducted in Chungbuk province to evaluate the soil fertility using landscape and soil attributes by application of geographic information system(GIS) in 48 tobacco fields during 2 years(1996 ; 23 fields, 1997 ; 25 fields). The soil fertility factors and fertilizer effects were estimated by twenty five independent variables including 13 chemical properties and 12 GIS databases. Twenty five independent variables were classified by two groups, 15 quantitative indexes and 10 qualitative indexes and were analyzed by multiple linear regression(MLR) of SAS, REG and GLM models. The estimation model for evaluation of soil fertility and fertilizer effect was made by giving the estimate coefficient for each quantitative index and for each group of qualitative index significantly selected by MLR. Estimation for soil fertility factors and fertilizer effects by independent variables was better by MLR than single regression showing gradually improvement by adding chemical properties, quantitative indexes and qualitative indexes of GIS. Consequently, it is assumed that this approach by MLR with quantitative and qualitative indexes was available as an evaluation model of soil fertility and recommendation of optimum fertilization for tobacco field.

Key word : soil fertility, evaluation index, multiple linear regression, dry weight of tobacco leaves

작물의 생산성을 극대화하기 위한 비료의 과다 사용이 토양 및 수자원의 환경오염 문제와 관련 되면서 환경에 부하를 주지 않고 작물 생산효율을 극대화시키기 위한 농업기술은 끊임없이 발전 되고 있다. 80년대 초반 미국에서 시작된 Low Input Sustainable Agriculture(LISA)라는 농업기

술은 Sustainable Agriculture로 줄여 불리며 지속 보전가능한 농업 혹은 환경친화형 농업 등 여러 가지 용어로 국내 농업에도 영향을 주었다. 이러한 농업기술은 90년대 들어 다시 Precision Agriculture 라는 새로운 용어로 바뀌면서 구체적인 적용방법 으로 Site Specific Management for Agriculture라

*연락처 : 361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동 산 48, 충북대학교 농과대학 연초학과

*Corresponding author : Department of Tobacco Science, Chungbuk National University, 48 Gaeshin-dong Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

는 농업기술 개발에 박차를 가하고 있다. 매우 새롭고 혁신적인 농업기술로 생각될 수 있으나 핵심적인 내용은 환경에 부하를 주지 않고 작물 생산효율을 극대화시키기 위하여 경작지 필지별로 토양에 투입되는 물질 특히 비료물질을 특별 관리하지는 것이다. 즉 경작지 필지별로 비옥도를 정확히 평가하여 작물별로 적절한 시비량을 평가하는 것이 핵심적인 기술이다.

그러나 경작지의 비옥도를 결정하는 토양성질들은 공간변이성과 시간변이성을 나타내며 이러한 변이성들의 정량화는 토양 화학성을 포함한 토양 형태, 지형특성, 미기상 특성 혹은 배수등급등 여러 가지 변이에 따라 매우 복잡해진다(Cambardella 등, 1994). 이러한 복잡한 정보들은 각각의 경작지별로 작물 생산단계별로 제때에 수집되어 종합적으로 처리하고 평가될 수 있을 때 활용될 수 있다. 보다 정밀한 정보를 얻기 위하여 토양시료의 채취방법도 20-30m 간격의 grid 방식이 평가되고 있으나 효율성은 지형위치에 따라 상반되는 경향을 보이고 있다(Franzen 등, 1996; Cambardella 등, 1996). 그러나 현대의 첨단기술 발달에 따른 인공 위성 탐사기술과 컴퓨터 기능의 발전은 복잡한 정보들을 수집 처리하여 종합 평가하고 관리할 수 있는 단계로 접근하고 있다(Khakural 등, 1996a; Girgin 등, 1996).

Khakural 등(1996a)은 지형위치와 경사도 특성은 옥수수와 대두 수량 및 토양비옥도와 밀접하게 관련되었다고 하였으며 이들은 다른 연구(1996b)에서 토양, 지형, 기후특성들을 이용하여 옥수수의 수량 예측을 위한 다중선형 회귀모델에 의한 생산성지표를 개발하여 비교한 결과 실제 수량변이와 유사하게 평가되었다고 하였다. Bruulsema 등(1996)은 질소 시비량에 따른 옥수수의 수량변이성에 대하여 토양 질소의 유효도 지표들과 지형속성 등에 의한 다중선형 회귀모델은 30-61%의 평가를 보였다고 하였다. 또한 이 등(1998)은 전국 주요 연초 경작지 101개 포장시험에서 무비구 수량에 의한 비옥도는 토양 양분 함량만으로 구분할 수 없었으며 질산태 질소함량과 토양도 자료의 퇴적양식, 경사도, 경토심, 토성 및 자갈함량의 6개 요인을 등급 점수화 하는 방법으로 수정 접근하여 양호한

평가결과를 도출하였다.

본 연구는 지형 및 토양도 속성들이 데이터베이스화 되어있는 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 이용하여 토양 화학성들과 함께 연초 경작지 토양의 비옥도 평가를 위한 방법들을 비교하였다.

재료 및 방법

시험포장은 1996년도에 충북 청원군 11개소와 음성군 12개소에 23개 포장을, 1997년도에는 괴산군 12개소와 보은군 13개소에 25개 포장씩 전체 48개 연초 경작지로 다양한 비옥도가 분포되도록 선정하였다. 지리정보시스템으로부터 선정된 포장에 대한 토양속성은 지형특성으로 표고, 경사도, 경사향의 3개 요인들과 토양도 속성으로 토성, 경사도, 유효토심, 배수등급, 발 토양 추천등급, 지형, 모재, 산도, A층 깊이 및 자갈함량의 10개 요인들이다. 선정된 경작지의 토양통은 삼각통외 25개 종류가 포함되었으며 토성은 양토, 미사질양토, 사양토로 분포되었다. 표고는 485m까지 경사도는 11%까지 분포되었고 그 이외의 속성들은 다양한 특성을 보였다. 각 시험포장에 대하여 선발된 토양속성들은 정량적 지표들과 정성적 지표들로 구분하였고 무비구 연초의 건엽중과 질소, 인산, 칼륨 흡수량을 비옥도 요인으로, 그리고 시비구에서 무비구의 건물중과 질소, 인산, 칼륨 흡수량을 공제한 값을 비료 전체효과와 비료 질소효과, 비료 인산효과, 비료 칼륨효과로 고려하여 회귀관계를 분석하였다.

연초의 공시품종은 황색종 NC82로 하였고, 시비수준은 표준시비구와 무비구로 구분하고 4월 15일을 전후하여 정식하였다. 시험구 면적은 각 시험포장에 45m²씩 설정하여 개량밀정 표준재배법에 준하여 재배하였다. 건엽 중은 수확기에 일괄적으로 엽을 수확하여 조사하였다.

선정된 경작지의 토양 화학성과 지리정보시스템의 토양속성은 정량적 지표와 정성적 지표로 구분하고 비옥도 요인 및 비료효과와 상호관계를 분석하여 유효지표를 선발하였다. 또한 이들 토양 속성이 비옥도 요인 및 비료효과에 관여하는 정도를

비교하기 위하여 표준화된 편회귀계수는 SAS 프로그램(SAS Institute 1995)의 REG절차에 부속되는 MODEL 문장 STB 명령에 의하여 분석하였다. 토양의 정량적 지표는 MODEL 문장 STEPWISE 명령으로 다중선형 회귀분석을 수행하여 편회귀계수의 크기에 의하여 유의성 있는 지표를 선발하고 결정계수(R^2)를 추정하였다. 다중선형회귀 분석에 의한 비옥도 요인 및 비료효과의 모델은 선발된 각 변수의 계수 평가치를 반영하여 도출하였다. 그리고 수치로 되어 있지 않은 정성적 토양 성질들은 class로 구분하여 선발된 정량적 지표와 함께 GLM 절차에 부속되는 MODEL 문장 SS3 명령에 의하여 유효도 지표들을 선발하고 결정계수(R^2)와 모델식을 추정하였다. 이는 질소 공급능력에 미치는 정성적 지표들에 대한 분류 집단의 영향력을 계수 평가치로서 분류 집단의 기여도를 분석할 수 있는 평가 방법이다. 또한 평가에 포함된 모든 자료는 다중선형 회귀분석을 수행하기 전에 COLLIN 및 INFLUENCE 명령에 의하여 자료간의 공선성 및 영향 분석을 수행하여 검정하였다.

결과 및 고찰

선정된 경작지 토양의 화학성은 Table 1과 같다. 토양 pH는 4.5-6.2, 유기물 함량은 5.0-26.0g/kg, 유효인산 함량은 95-1103mg/kg, 질산태질소 함량

은 0.75-41.0mg/kg, 잠재적 유기태질소의 평가로 활용되는 KCLA-N (90℃에서 4시간 처리후 생성된 암모니아)의 함량은 11.9-52.3mg/kg의 분포를 보였다. 그리고 토양 중 질소화합물의 2중 결합 특성과 관련되어 지표로 이용되는 NaHCO_3 침출액의 자외선 흡광도(200nm)는 0.769-2.194로 분포되어 선정된 공시포장의 다양한 화학성을 보였으며, 이들을 지형 및 토양도 속성들과 함께 비옥도 요인과 비료효과의 평가에 이용하였다.

연초 수량과 밀접하게 관련되는 수확기의 지상부 건물중은 Table 2와 같다. 96년도에는 무비구의 건엽중이 최소 788kg/ha에서 최대 4006kg/ha로서 약 5배의 차이를 나타냈고 97년도에도 최소 522kg/ha에서 최대 2293kg/ha로서 약 4배의 차이를 보였다. 이러한 결과는 선정된 경작지의 다양한 비옥도 특성을 나타내는 것이며 공시토양의 화학성에서 다양한 분포를 보인 것과 관련되었다. 또한 시비구의 건엽중은 무비구보다 많았으며 96년에는 최소 1625kg/ha에서 최대 2838kg/ha로 약 1.7배의 차이를 보였고 97년에는 최소 1146kg/ha에서 최대 3116kg/ha로 약 2.8배의 차이를 보여 다양한 시비반응을 나타냈다. 또한 각 년도마다 토양중 질소 함량이 높은 2개 포장에서는 무비구의 건엽중이 시비구의 건엽중보다 많아 질소 과다에 의한 생육장애가 인정되었다. 연초의 성장량이 시비구에서 더 적은 결과는 비료가 현재 비효율적

Table 1. Chemical properties of experimental soils

Year	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg)	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/kg)	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Ava. P_2O_5 (mg/kg)	Exch.-K (cmol/kg)	Exch.-Ca (cmol/kg)	Exch.-Mg (cmol/kg)	C.E.C (cmol/kg)	E.C. (cmol/kg)	⁽¹⁾ UV-Abs. at 200nm	⁽²⁾ KCLA-N (mg/kg)
(1996)												
Min.	1.1	1.9	4.5	5.0	128.0	0.1	1.0	0.2	6.7	0.2	1.2	11.9
Max	54.2	22.2	6.2	23.0	730.0	1.0	7.6	5.1	15.8	2.4	2.0	73.2
Average	10.3	8.7	5.4	13.7	459.7	0.6	3.8	1.1	10.6	0.5	1.6	30.1
(1997)												
Min.	6.0	0.5	4.7	9.0	95.0	0.2	0.5	0.3	5.6	0.2	0.8	19.6
Max	75.0	41.0	6.2	27.0	1103.0	1.2	7.1	2.7	14.9	1.1	2.2	230.1
Average	28.7	5.3	5.2	18.3	414.1	0.5	2.5	0.8	9.6	0.6	1.7	68.8

⁽¹⁾ Ultraviolet absorbency of 0.01M NaHCO_3 extract at 200nm

⁽²⁾ The amount of $\text{NH}_4\text{-N}$ mineralized from soil in 2M-KCL solution for 4 hours at 90℃
n=23(1966), 25(1997)

으로 사용되고 있음을 암시하는 것이며 비옥도 검정에 따른 적정시비량 추천방법의 확립이 절실하게 요구된다는 것을 간접적으로 시사하고 있다.

Table 2. Yield and dry weight of tobacco at harvest stage

Year	No Fertilization plot			Fertilization plot		
	Stem	Leaves	Total	Stem	Leaves	Total
----- (kg/ha) -----						
(1996)						
Min.	382	788	1256	844	1561	2653
Max.	1932	4006	5938	2127	2838	4964
Average	938	1585	2523	1494	2209	3703
(1997)						
Min.	204	522	787	525	1146	1808
Max.	1771	2293	3904	2335	3116	5412
Average	780	1284	2064	1625	2059	3684

n=23(1996), 25(1997)

Table 3은 엽중에 흡수된 질소, 인산, 칼륨, 석회, 고토의 량을 나타낸 것이다. 무비구의 엽중에 흡수된 질소량은 96년도에 1.8 - 68.0 kg/ha로 약 30배 이상의 차이를 보였고, 97년도에도 4.7 - 58.2

kg/ha로서 약 10배의 차이를 보여 경작지의 다양한 비옥도를 보였다. 시비구의 질소 흡수량은 96년도에 12.7 - 98.1kg/ha, 97년도에는 16.7 - 60.0 kg/ha로서 다양한 시비반응을 나타냈다. 이는 공시토양의 양분공급능력이 비옥도 특성으로서 매우 다양하다는 것을 시사하고 있다.

무비구 건엽중과 질소, 인산, 칼륨 흡수량은 연초 경작지의 비옥도 요인으로 고려하고 또한 시비구에서 무비구의 건엽중과 질소, 인산, 칼륨 흡수량을 공제한 값을 전체비료, 질소비료, 인산비료 및 칼륨비료 효과로 고려하여 토양속성 지표들과 상관 및 회귀관계를 분석하였다.

2년간의 시험결과를 종합하여 무비구 건엽중과 질소, 인산, 칼륨 흡수량을 비옥도 요인으로 고려하고 시비구에서 무비구의 이들 값을 공제한 값을 비료효과로 고려하여 상관관계를 Table 4에 나타냈다. 비옥도 요인간에는 매년 $r=0.72-0.99$ 의 유의성 있는 상관을 보였고 2년간의 종합 비교에서도 $r=0.67-0.94$ 의 상관을 나타냈다. 또한 2년간 종합된 비료효과간에도 $r=0.46 - 0.88$ 의 유의성 있는 상관관계를 보였으며, 비옥도 요인과 비료효과간에는 비옥할수록 비료효과가 감소하기 때문에 부의 상관을 나타냈다.

Table 5는 연도별 비옥도 및 비료효과 요인과

Table 3. Amount of nutrients uptake by tobacco leaves

Site	No Fertilization plot					Fertilizationplot				
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
----- (kg/ha) -----										
(1996)										
Min.	1.8	2.9	14.4	7.2	2.4	12.7	4.7	31.6	19.3	6.0
Max.	68.0	32.8	87.8	93.7	56.3	98.1	25.3	62.4	108.1	44.0
Average	21.4	8.3	32.1	27.4	10.9	51.9	12.4	46.4	52.2	16.6
(1997)										
Min.	4.7	3.0	14.8	3.4	1.2	16.7	6.3	55.9	16.3	3.8
Max.	58.2	17.0	81.1	41.7	15.4	60.0	23.2	158.9	99.8	21.9
Average	17.8	7.8	39.7	15.8	5.2	34.8	12.1	90.0	63.8	11.4

n=23(1996), 25(1997)

Table 4. Correlation coefficients for the relationship among dry weight, amounts of nutrients uptake, and fertilizer effects(1996-1997)

year		⁽¹⁾ Dry weight	⁽²⁾ N -uptake	⁽²⁾ P -uptake	⁽²⁾ K -uptake	⁽³⁾ Fert. T-effect	⁽³⁾ Fert. N-effect	⁽³⁾ Fert. P-effect
1996	N-uptake	0.723						
	P-uptake	0.940	0.632					
	K-uptake	0.996	0.708	0.951				
	Fert. T.-effect	-0.799	-0.563	-0.778	-0.816			
	Fert. N-effect	-0.174	-0.648	-0.136	-0.171	0.365		
	Fert. P-effect	-0.550	-0.455	-0.596	-0.566	0.771	0.511	
	Fert. K-effect	-0.811	-0.609	-0.800	-0.831	0.992	0.398	0.791
1997	N-uptake	0.769						
	P-uptake	0.884	0.844					
	K-uptake	0.909	0.894	0.867				
	Fert. T.-effect	-0.606	-0.548	-0.592	-0.584			
	Fert. N-effect	-0.378	-0.517	-0.419	-0.396	0.602		
	Fert. P-effect	-0.240	-0.070	-0.250	-0.159	0.681	0.388	
	Fert. K-effect	-0.164	-0.339	-0.285	-0.298	0.599	0.385	0.350
2 years (96-97)	N-uptake	0.670						
	P-uptake	0.919	0.637					
	K-uptake	0.939	0.753	0.889				
	Fert. T.-effect	-0.602	-0.554	-0.570	-0.618			
	Fert. N-effect	-0.252	-0.587	-0.238	-0.277	0.458		
	Fert. P-effect	-0.299	-0.289	-0.310	-0.282	0.734	0.454	
	Fert. K-effect	-0.461	-0.509	-0.496	-0.513	0.877	0.372	0.636

⁽¹⁾Dry weight of tobacco leaves with no fertilization

⁽²⁾The amounts of N, P, and K uptake by tobacco leaves with no fertilization

⁽³⁾Fertilizer total, N, P, and K effect were estimated from differences of dry weight, N, P, and K uptake by tobacco leaves between fertilization and no fertilization plot
n=23(1996), 25(1997)

유의성 있는 상관관계를 보인 토양 화학성을 나타낸 것이다. 유의성 있는 것으로 나타난 토양 화학성은 96년도에는 NO₃-N와 전기전도도가, 97년에는 NO₃-N, NH₄-N 및 KCLA-N가 유의성 있는 상관관계를 보였다. 따라서 2년간의 종합적 검토에서 비옥도 요인과 유의성 있는 상관관계를 보인 화학성은 무기태 질소와 잠재적으로 무기화 될 수 있는 유기태 질소 등으로 토양의 질소공급능력과 밀접한 관계가 있는 지표들이었다. 이는 노지재배 토양

(Bundy 등, 1993; Durieux 등, 1995; Fox 등, 1978, 1993; Hong 등, 1990)과 시설재배 토양(곽 등, 1996; 송 등, 1996; 홍 등, 1998)에 대한 토양의 질소공급능력의 평가결과들과 동일한 경향을 보였다. 이는 토양 화학성중 질소는 작물의 생산성에 가장 크게 영향을 미친다는 결과를 시사하는 것이다. 그러나 비옥도 및 비료효과 요인과 유의성 있는 상관관계를 보인 화학성은 년차간에 일관된 경향을 보이지 않았다. 이는 토양의 화학성

지리정보시스템을 활용한 연초재배 토양의 비옥도 평가

Table 5. Correlation coefficients for the relationship among dry weight, amounts of nutrients uptake, fertilizer effects, and chemical properties of soils

year		⁽¹⁾ Dry weight	⁽²⁾ N -uptake	⁽²⁾ P -uptake	⁽²⁾ K -uptake	⁽³⁾ Fert. T-effect	⁽³⁾ Fert. N-effect	(3)Fert. P-effect	⁽³⁾ Fert. K-effect
1996	NO ₃ -N	0.894**	0.670**	0.912**	0.863**	-0.809**	-0.363	-0.785**	-0.838**
	pH	0.192	0.285	0.149	0.190	-0.285	-0.272	-0.482*	-0.291
	O.M.	-0.007	-0.058	-0.011	0.012	-0.319	-0.224	-0.413*	-0.281
	E.C.	0.787**	0.615**	0.820**	0.797**	-0.820**	-0.402	-0.823**	-0.840**
	⁽⁴⁾ UV-Abs>	0.490*	261.000	0.473*	0.521*	-0.513*	-0.059	-0.348	-0.522*
1997	NO ₃ -N	0.337	0.490*	0.510**	0.453*	-0.087	0.067	0.148	-0.307
	NH ₄ -N	0.341	0.614**	0.466*	0.462*	-0.313	-0.150	0.123	-0.295
	⁽⁴⁾ UV-Abs	0.033	0.218	0.187	0.177	-0.100	-0.012	-0.165	-0.454*
	(5)KCLA-N	0.340	0.549**	0.418*	0.360	-0.452*	-0.346	-0.104	-0.235
2 years (96-97)	NO ₃ -N	0.567**	0.592**	0.662**	0.608**	-0.600**	-0.208	-0.470**	-0.732**
	NH ₄ -N	0.349*	0.371*	0.431**	0.418**	-0.127	-0.104	0.127	-0.089
	E.C.	0.442**	0.456**	0.548**	0.489**	-0.503**	-0.118	-0.421**	-0.667**
	⁽⁴⁾ UV-Abs	0.231	0.216	0.330*	0.314*	-0.246	-0.023	-0.198	-0.396**
	(5)KCLA-N	0.419**	0.313*	0.488*	0.402**	-0.247	-0.201	-0.014	-0.133

⁽¹⁾Dry weight of tobacco leaves with no fertilization

⁽²⁾The amount of nutrients uptake by tobacco leaves with no fertilization

⁽³⁾Fertilizer total and N, P, K effects were estimated from differences of dry weight and N, P, K uptake by tobacco leaves between fertilization and no fertilization plot.

⁽⁴⁾Ultraviolet absorbency of 0.01M NaHCO₃ extract at 200nm

⁽⁵⁾The amount of NH₄-N mineralized from soil in 2M-KCl solution for 4 hours at 90°C
n=23(1996), 25(1997)

만으로 작물의 생산성을 예측하는 것이 쉽지 않다는 것을 시사하며 또한 작물 생산성은 토양의 다른 환경요인들이 크게 영향을 미치고 있다는 것을 시사한다.

Table 6은 비옥도 및 비료효과 요인들에 대한 화학성을 포함한 정량적 지표의 기여도를 비교하기 위하여 2년간의 종합결과에 대하여 표준화 편회귀계수를 조사하여 나타낸 것이다. 표준화 편회귀계수의 크기로써 각 평가요인에 대한 기여도를 비교해 볼 때, 무비구 건엽중과 양분흡수량 및 시비구와 무비구의 건엽중 차이로 평가한 비료 전체효과에 대하여 NO₃-N는 상대적으

로 가장 높은 값을 보여 상관계수의 평가와 동일한 경향을 보였다. 그러나 평가된 모든 지표들의 편회귀계수 절대치는 1.5 이내로서 큰 차이 없이 유사한 값을 보였다. 이는 시설재배 토양의 비옥도 평가에서 무기태 질소의 편회귀계수가 다른 화학성에 비하여 수백배 이상의 높은 결과(홍 등, 1998)와 뚜렷한 차이를 나타냈다. 따라서 노지 재배조건에서 화학성의 단일지표로서 토양 비옥도를 구분 평가하려고 시도했던 접근방법은 낮은 신뢰성 때문에 기후 및 지리적 조건에 따라 제한적으로 활용될 수밖에 없었다(Franzen 등, 1996).

Table 6. Standardized partial regression coefficients of soil attributes for the dependent variables yield and nutrients uptake by tobacco leaves(1996-1997)

Factor	Yield	N -uptake	P -uptake	K -uptake	Fertilizer T-effect	Fertilizer N-effect	Fertilizer P-effect	Fertilizer K-effect
NO ₃ -N	1.208	0.792	1.347	1.157	-0.494	-0.156	0.070	-0.530
NH ₄ -N	0.165	0.319	0.227	0.398	0.396	0.045	0.430	0.415
pH	0.241	0.168	0.058	0.197	-0.469	-0.186	-0.526	-0.191
O.M.	0.037	-0.390	0.113	-0.086	-0.008	0.062	-0.219	-0.016
Available P ₂ O ₅	0.210	0.073	0.314	0.190	-0.114	0.062	-0.223	0.053
Exchangcable K	-0.306	-0.033	-0.348	-0.306	0.427	0.261	0.190	0.304
Exchangcable Ca	-0.071	-0.296	0.117	-0.082	-0.015	0.132	0.580	-0.165
Exchangcable Mg	0.489	0.285	0.513	0.369	-0.208	-0.185	0.003	-0.223
K/(Ca+Mg) ^{0.5}	0.063	0.064	0.148	0.116	-0.465	-0.083	0.052	-0.473
Electricalconductivity	-0.939	-0.376	-0.923	-0.823	0.111	0.085	-0.552	-0.025
CEC	-0.247	0.189	-0.399	-0.180	-0.018	-0.249	-0.533	0.070
⁽¹⁾ UV Absorbency	0.247	0.191	0.091	0.289	-0.396	-0.201	-0.199	-0.366
⁽²⁾ KCLA-N	0.171	0.036	0.180	-0.055	-0.325	-0.269	-0.123	-0.178
Slope	0.144	0.011	0.046	0.143	0.021	-0.029	0.045	0.122
Altitude	0.174	-0.139	0.246	0.067	0.106	0.401	0.565	-0.054
Depth of Ap horizon	-0.066	0.000	-0.022	-0.042	0.013	-0.183	-0.105	0.066
Gravel content in Ap	0.053	0.277	0.031	0.115	0.041	-0.376	-0.376	0.127

⁽¹⁾ Ultraviolet absorbency of 0.01M NaHCO₃ extract at 200mm

⁽²⁾ The amount of NH₄-N mineralized from soil in 2M-KCl solution for 4 hours at 90 °C

상관 및 표준화 편회귀계수 분석에서 비옥도 및 비료효과를 유효하게 평가할 수 있는 단일지표가 선발되지 못하였기 때문에 화학성을 포함한 지형 및 토양속성들을 정량적 및 정성적 지표로 구분하여 다중선형회귀 분석을 수행하였고 그 결정계수를 Table 7에 나타냈다. 다중선형회귀 분석은 SAS의 REG stepwise 절차에 의하여 분석하였으며 P값이 0.15 이하인 유의성있는 지표들을 선발하였다. 비옥도 및 비료효과의 평가는 단일지표에 의한 단순회귀 보다는 여러 가지 유의성 있는 지표에 의한 다중선형회귀 분석에서 더 높은 결정계수(r^2)를 보이며 신뢰도가 크게 높아졌다. 다중선형회귀 분석에 의한 결정계수는 화학적 지표들로 평가한 경우보다 여기에 정량적 토양속성인 작토층 깊이와 작토층의 자갈함량을 추가한 경우에, 그리고 정성적 지표까지 추가함에 따라 점진

적으로 높아졌다.

실례로 2년간의 종합결과에서 무비구 건엽중에 대한 평가의 결정계수는 NO₃-N의 단일지표가 0.321인데 비하여 정성적 지표들을 포함한 다중선형회귀는 0.787로 크게 높았다. 이와 같이 배수 등급, 유효토심, 발 토양 추천등급 및 모재 등의 정성적 지표들이 평가에 포함될 때 결정계수가 크게 높아진 결과는 수치화 되어 있지 않아서 평가에 포함시키지 않은 범주형 자료들도 비옥도에 민감하게 관여하고 있음을 반영하는 것이다. 이러한 결과는 이 등(1998)이 연초경작지의 비옥도를 질산태 질소 함량과 5개 토양도 자료들의 등급점수로 평가한 결과와 유사한 것이며 평가결과의 도출방법이 보다 객관적이라 생각된다. 또한 이러한 접근방법은 최근 정밀농업을 위한 필지별 특별관리 기술에서 토양 화학성 이외에 지

Table 7. Coefficients of determination (r^2) of regression by selected indexes of soil and landscape attributes for the dependent variables of dry weight amounts of N uptake, and fertilizer N effects by tobacco

Year	Factor	Tobacco Leaves			
		Simple Regression	Multiple Regression		
			⁽¹⁾ Chemical	⁽²⁾ Quantitative	⁽³⁾ Qualitative
		----- r^2 -----			
1996	⁽⁴⁾ Dry weight	0.721	0.894	0.901	----
	⁽⁵⁾ N-uptake	0.449	0.668	0.668	----
	⁽⁶⁾ Fert. T. -effect	-0.672	0.816	0.861	----
	⁽⁶⁾ Fert. N-effect	-0.162	0.362	0.362	----
1997	⁽⁴⁾ Dry weight	0.116	0.571	0.863	----
	⁽⁵⁾ N-uptake	0.377	0.747	0.747	----
	⁽⁶⁾ Fert. T. -effect	-0.204	0.597	0.689	----
	⁽⁶⁾ Fert. N-effect	-0.120	0.295	0.362	----
2y ears (96-97)	⁽⁴⁾ Dry weight	0.321	0.466	0.466	0.787
	⁽⁵⁾ N-uptake	0.350	0.553	0.572	0.694
	⁽⁶⁾ Fert. T. -effect	-0.360	0.362	0.362	0.745
	⁽⁶⁾ Fert. N-effect	-0.043	0.043	0.043	0.529

⁽¹⁾Chemical indexes were chemical properties of soils

⁽²⁾Quantitative index was considered as quantitative attributes of chemical properties, depth of Ap horizon, and gravel content of Ap horizon

⁽³⁾Qualitative indexes of drainage class, available soil depth, recommended class for upland use, and parent material were selected as class variables and estimated with quantitative indexes by multiple linear regression.

⁽⁴⁾Dry weight of tobacco leaves with no fertilization.

⁽⁵⁾The amounts of N uptake by tobacco leaves with no fertilization.

⁽⁶⁾Fertilizer total and N effects were estimated from differences of dry weight and N uptake by tobacco leaves between fertilization and no fertilization plot.

n=23(1996), 25(1997)

형 및 토양속성을 포함하여 평가되는 연구결과 (Khakural 등, 1996; Bruulsema 등, 1996; Wibawa 등, 1993)와 유사하였다.

따라서 토양의 비옥도를 평가함에 있어 비옥도에 관여하는 여러 가지 환경요인들을 평가에 포함시킬 수 있는 다중선형회귀 분석은 단일지표에 의한 평가보다 바람직할 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서 비옥도에 관여하는 요인으로서 대표

토양통의 토양도 자료뿐만 아니라 지형자료를 포함하고 있는 지리정보시스템을 평가에 적용시키는 다중선형회귀 분석방법은 가능한 모든 자료들을 평가에 수용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 때문에 보다 광범위한 지역에 이러한 접근방법을 확대 적용한다면 전국 발 토양에 적용할 수 있는 비옥도 평가모델을 개발할 수 있을 것이다.

정성적 지표들은 Table 8과 같이 경사향은 9개,

Table 8. Classification of non-numerical data for class analysis of multiple regression

Class	Aspect	Soil Texture	Drainage Class	Available Soil Depth	Slope
a	Flat	Clay, Silty Clay	Excessively	0-20cm	0-2%
b	North	Clay Loam, Silty Clay Loam	Moderately Well	20-50cm	3-7%
c	North East	Sandy Clay, Sandy Clay Loam	Well	50-100cm	8-15%
d	East	Silt, Silty Loam	Imperfectly	100-150cm	16-25%
e	south East	Loam	Poorly	150cm<	26-40%
f	south East	Sandy Loam, Loamy Sand	Very Poorly		41%<
g	south West	Sand			
h	West				
i	North West				

Class	Recomm. class	Topography	Parent Materials	Acidity	Altitude
a	1	Foot Slope of Mountain	Alluvium	Strong Base	0-5m
b	2	Mountain Hillock	Dilluvium	Weak Base	50-100m
c	3	Mountain Hillock	Colluvium	Neutral	101-150m
d	4	Hillock	Residual	V. Weak Acid	151-200m
e	5	Valley	Alluvium, Colluvium	Weak Acid	201-250m ²
f		Valley Fans		Strong Acid	251-300m
g		Alluvial Fans		V. Strong Acid	301-350m
h		Dilluvium			351-400m
I		Plain			401-450m
j		Floodplain			451-500m
k					501m

토성은 7개, 배수등급은 6개, 유효토심은 5개 집단으로, 그리고 다른 지표들도 유사한 방법으로 분류하여 선발된 정량적 지표들과 함께 SAS의 GLM절차 MODEL 문장에 각각의 정성적 지표들을 Class로 지정하여 SS3 방법으로 분석하였다.

다중선형회귀 분석에 의한 평가 모델식은 Table 9와 같다. 무비구 연초 건엽중을 평가하기 위한 정량적 지표들의 다중선형회귀 모델식은 유효도 지표로 선발한 각각의 지표 값에 평가 계수를 곱하여 결정하였다. 정량적 지표 이외에 정성적 지표들이 포함된 평가 모델은 정량적 지표들은 동일한 방법으로 적용하고 정성적 지표들은 선택한 각 지표의 분류된 집단에 대한 평가 계수를 가중치로 반영하는 것이다.

정성적 지표들을 포함한 모델식은 복잡해 보이지만 컴퓨터에 프로그램으로 입력해 두면 실제 이용자는 유의성있는 지표로 확인된 화학성만 분석하고 지리정보시스템의 데이터베이스를 활용한 모델로 평가한다면 비옥도 등급이나 비료효과에 대한 결과 도출이 용이할 것이다. 평가의 실제 활용면에서 정성적 지표들은 분류된 집단들의 분산 변이도가 균형있게 분포될 때 선발된 지표의 집단들에 부여된 평가 계수의 신뢰도는 높아질 것이다.

이러한 평가 모델 방법에 따른 작물의 무비구 생산력과의 상호관계를 비교하기 위하여 무비구 건엽중과 평가된 지표들과의 관계는 Fig 1에서와 같이 유의성이 가장 높았던 토양중 질산태 질소의 단일

Table 9. Estimation equation of multiple linear regression by quantitative and qualitative indexes of soil and landscape attributes for the dependent variables of dry weight and fertilizer effect of tobacco (1996-1997)

Factor		r ²	Equation
⁽¹⁾ Dry weight	⁽³⁾ Quant.	0.491	Y=0.41491+0.006563(x1)-0.31393(x10)+0.0018(x13)
	⁽⁴⁾ Qualit.	0.787	Y=0.248505+0.00962(x1)+0.001947(x2)-0.601606(x10)+0.000378(x13)+Est of G1-G5(x20)+Est of G1-G4(X21)+Est. of G1-G5(X22)+Est. of G1-G5(x24)
			⁽⁵⁾ Estimate of x20; G1=0.162905, G2=0.21275, G3=0.14732, G4=0.12462, G5=0
			⁽⁵⁾ Estimate of x21; G1=-0.276231, G2=0.01793, G3=-0.249667, G4=0
			⁽⁵⁾ Estimate of x22; G1=-0.05936, G2=0.058701, G3=0.077238, G4=0, G5=0
			⁽⁵⁾ Estimate of x24; G1=0.22395, G2=0.183845, G3=0.18228, G4=0.20667, G5=0
⁽²⁾ Fert. T-effect	⁽³⁾ Quant.	0.360	Y=0.54658-0.005761(x1)
	⁽⁴⁾ Qualit.	0.745	Y=0.60471-0.007173(x1)+0.0065339(x2)+0.090387(x10)-0.006814(x13)+Est. of G1-G5(x20)+Est. of G1-G4(X21)+Est. of G1-G5(X22)+Est. of G1-G5(x24)
			⁽⁵⁾ Estimate of x20; G1=0.58634, G2=-0.205837, G3=-0.197064, G4=-0.538956, G5=0
			⁽⁵⁾ Estimate of x21; G1=0.62776, G2=0.25869, G3=0.34038, G4=0
			⁽⁵⁾ Estimate of x22; G1=-0.11243, G2=0.19525, G3=0.43496, G4=0, G5=0
			⁽⁵⁾ Estimate of x24; G1=-0.111795, G2=123402, G3=-0.38728, G4=-0.12709, G5=0

⁽¹⁾Dry weight of tobacco leaves with no fertilization

⁽²⁾Fertilizer total effect was estimated from difference of dry weight of tobacco leaves between fertilization and no fertilization plot.

⁽³⁾Quantitative index was considered as quantitative attributes of chemical properties, depth of Ap horizon and gravel content of Ap horizon.

⁽⁴⁾Qualitative indexes of drainage class, available soil depth, recommended class for upland use, and parent material were selected as class variables and estimated with quantitative indexes by multiple linear regression.

⁽⁵⁾Estimate value of each group for classified group of soil and landscape attributes on dry weight and fertilizer effect of tobacco.

x1=NO₃-N, x2=NH₄-N, x3=pH, x4=O.M., x5=Ava.-P₂O₅, x6=Exch.-K, x7=Exch.-Ca, x8=Exch.-Mg, x9=K/(Ca+Mg)^{0.5}, x10=E.C. x11=CEC, x12=UV-abs., x13=KCLA-N, x14=Slope, x15=Altitude, x16=depth of A-horizon, x17=Gravel content in A-horizo, x18=aspect, x19=soil texture, x20=drainage class, x21=available soil depth, x22=recomm, Class(upland), x23=topography, x24=parent material, x25=soil acidity. n=23(1996), 25(1997)

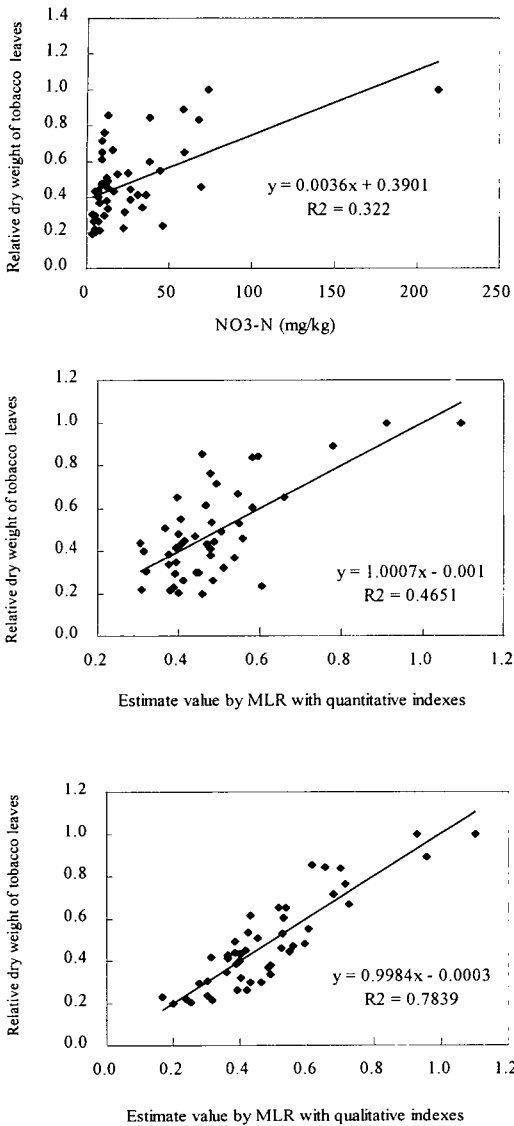


Fig. 1. Relationship between relative dry weight of tobacco leaves with no fertilization and value by multiple linear regression(MLR) with quantitative and qualitative indexes of soil and landscape attributes.

지표보다는 정량적 지표들에 의한 평가가 그리고 정량적 지표들과 함께 정성적 지표들까지 평가 모델에 포함시켰을 때, 점진적으로 증진되는 관계를 보여주고 있다

이상의 결과로 미루어 다양한 지형 및 기후 특성을 가진 노지 밭 토양 조건에서 경작지 비옥도를 단일 화학성으로 평가한다는 것은 낮은 신뢰도 때문에 실제 활용에 제한적이다. 따라서 작물의 생산성에 관여하는 여러 가지 환경요인들을 평가에 포함시킬 수 있는 다중선형회귀 모델은 보다 신뢰성 있게 비옥도를 평가를 할 수 있는 합리적인 평가방법으로 확인되었다.

결 론

충북 청원군, 음성군, 보은군, 괴산군의 4개 군에서 비옥도가 다양하게 분포되도록 48개 연초 경작지(96년 23개, 97년 25개)를 선정하여 지형 및 토양속성들이 데이터베이스로 구축된 지리정보시스템을 활용하여 비옥도를 평가하기 위하여 1996년부터 1997년까지 2년간 포장 시험을 수행하였다.

비옥도 요인과 비료효과는 13개 토양 화학성과 12개 지리정보시스템의 속성이 포함된 25개 독립변수들로 평가하였고, 15개의 정량적 지표와 10개의 정성적 지표로 구분하여 SAS의 REG와 GLM model로 다중선형 회귀분석을 수행하여 비옥도 및 비료효과에 대한 모델은 정량적 지표의 경우 각 지표에 대한 평가계수를 가중치로 적용하고 정성적 지표의 경우 분류된 각 집단에 대한 평가계수를 가중치로 적용하여 평가모델을 개발하였다.

무비구 연초 건엽중은 매년 최저치와 최고치간에 약 5배의 차이를 보여 공시포장간의 다양한 비옥도 특성을 나타냈다. 비옥도 및 비료효과에 대한 독립변수들의 다중선형회귀계수는 단일 지표에 의한 단순회귀보다 높았으며, 화학적 지표 이외에 정량적 및 정성적 GIS 지표를 포함시킬 때 결정계수(R2)는 점진적으로 높아졌다. 따라서 토양의 비옥도에 관여할 수 있는 정량적 및 정성적 지표들을 이용한 다중선형회귀 분석방법은 연초 경작지 토양의 비옥도 및 적정시비량 결정을 위한 추천할 만한 모델로 생각된다..

참 고 문 헌

곽한강, 송요성, 연병열, 허범량 (1996) 시설재배작

- 물의 질소소비량결정을 위한 토양질소의 공급력 측정방법 비교. *한국토양비료학회지* 29(3) : 282- 287.
- 송요성, 광한강, 허범량, 이상은 (1996) 시설재배토양에 축적된 질산태질소의 유효도. *한국토양비료학회지* 29(4) : 347-352.
- 이운환, 홍순달, 정훈채, 김용연 (1998) 황색종 연초경작지 비옥도 검정방법. 토양검정과 시비처방에 관한 심포지움. 제주대학교 아열대원예산업 연구센터 : 61-74.
- 홍순달, 강보구, 김재정 (1998) 시설재배지 토양 검정에 의한 배추의 적정 시비량. *한국토양비료학회지* 31 (1) : 16-24.
- Bundy, L. G. and T. W. Andraski (1993) Soil and plant nitrogen availability tests for corn following alfalfa. *J. Production Agriculture* 6(2) : 200-206.
- Bruulsema, G. L. Malzer, P. C. Robert, J. G. Davis, and P. J. Copeland (1996) Spatial relationships of soil nitrogen with corn yield response to applied nitrogen. *Precision Agriculture. Proceedings of the 3rd international conference, ASA/CSSA/SSSA* : 505-512.
- Cambardella C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, D. L. Karlen, R. F. Turco, and A.E. Konopka (1994) Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58 : 1501-1511.
- Durieux, R. P., H. J. Brown, E. J. Stewart, J. Q. Zhao, W. E. Jokela, and F. R. Magdoff (1995) Implication of nitrogen management strategies for nitrate leaching potential: Role of nitrogen source and fertilizer recommendation system. *Agronomy J.* 87(5) : 884-887.
- Fox. R. H. and W. P. Piekielek (1978a) Field testing of several nitrogen availability indexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 : 747-750.
- Fox, R. H. and W. P. Piekielek (1978b) A rapid method for estimating the nitrogen supplying capability of a soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 : 751-753.
- Franzen D. W., L. J. Cihacek, and V. L. Hofman (1996) Variability of soil nitrate and phosphate under different landscapes. *Precision Agriculture. Proceedings of the 3rd International Conference, ASA/CSSA/SSSA* : 521-529.
- Gianello C. and J. M. Bremner (1988) A rapid steam distillation method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19(4) : 1551-1568.
- Girgin B. N. and B. E. Frazier (1996) Landscape position and surface curvature effects on soils developed in the Palouse landscape. *Precision Agriculture. Proceedings of the 3rd International Conference, ASA/CSSA/SSSA* : 271.
- Hong, S. D., R. H. Fox, and W. P. Piekielek (1990) Field evaluation of several chemical indexes of soil nitrogen availability. *Plant and Soil* 123 : 83-88.
- Khakural B. R., P. C. Robert, and D. J. Mulla (1996a) Relating corn/soybean yield to variability in soil and landscape characteristics. *Precision Agriculture. Proceedings of the 3rd International Conference, ASA/CSSA/SSSA* : 117-128.
- Khakural B. R., P. C. Robert, and A. M. Starfield (1996b) Predicting corn yield across a soil landscape in west central Minnesota using a soil productivity model. *Precision Agriculture. Proceedings of the 3rd International Conference, ASA/CSSA/SSSA* : 197-206.
- SAS Institute (1995) SAS/STAT User's guide; Release 6.11 Edition. SAS Institute, Inc, Cary, NC, USA.
- Vanotti, M. B. and L. G. Bundy (1994) Corn nitrogen recommendations based on yield

response data. *J. Production Agriculture*
7(2) : 249-256.

Wibawa, Winny D., Duduzile L. Dluclu, Larry J.
Swenson, David G. Hopkins, and William

C. Dahnke (1993) Variable fertilizer applic-
ation based on yield goal, soil fertility, and
soil map unit. *J. Production Agriculture*
6(2) : 255-261.