실시간 토양 유기물 센서와 DGPS를 이용한 질소 시비량 지도 작성 시스템 개발+

Development of a Mapping System for N-fertilizer Amount Using Real-time Soil Organic Matter Sensor and DGPS

조성인* 최상현* 김유용*
정회원 정회원 정회원
S.I.Cho S.H.Choi Y.Y.Kim

1. 서론

화학 비료의 과다 사용을 막기 위해 토양검정을 통한 이화학적 성분 등 지력을 사전에 정확히 파악하여 재배작물의 양분 요구량에 맞게 비료를 공급해 주는 것이 경제적 손실을 막고 토양환경을 보전하는 지름길이라는 판단된다. 따라서 경작지 내의 국소적 변이를 고려하여 지역적으로 서로 다른 비료의 양을 처방하는 정밀시비가 요구되고 있다. 정밀 시비를 위해서는 경작지내의 국부적인 토양 변이를 정확하고 신속하게 측정할 수 있는 센싱 기술이 필요하며, 이러한 데이터를 저장하며, 적절하게 가공, 처리할 수 있는 전자 지도 작성 기술을 필요로 하고 있다. 이러한 기술의 개발은 작물이 자라는데 필요한 토양 내 양분의 분포를 실시간(real-time) 계측과 처방이 가능하므로 최적의 농작업을 할 수 있도록 도움을 주며, 생산성을 향상시키고 일부 환경문제를 해결할 것이다. 이러한 이유로 본 연구에서는 필드에서 사용할 수 있는 실시간 유기물 센서의 개발과 유기물 센서를 이용하여 유기물 지도와 질소 시비량 지도를 작성하는 것을 목표로 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 속성데이터 획득 시스템

질소 시비량 지도 작성을 위해 토양 유기물 함량 값과 위치 정보가 필요하다. 그래서 그림 1과 같이 속성데이터 획득 시스템을 구성하였다. 위치 정보를 획득하기 위해 GPS 수신기(Canada Novatel)와 라디오 모뎀(GLB)으로 구성된 사의 DGPS(Differential Global Position System)를 사용하였으며, 토양 유기물 함량 정보를 획득하기 위해 Control Development 사의 NIR Optical Spectrograph Card 제품을 사용하였다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

+ 본 연구는 농림부 첨단과제 지원사업(과제번호98-3012)에 의하여 수행되었음.

실시간 토양 유기물함량 계측 시스템은 그림 2와 같다. 광원으로부터 토양 시료로, 시료로부터 NIR 분광기로 광을 전달하기 위해 probe와 광섬유를 사용하였다. 그리고 Probe를 고정시키고 외부 광원을 차단하기 위해 probe holder를 제작하였다. probe holder는 토양 반사도를 지표면으로부터 10~15cm 정도 깊이에서 측정하도록 하였으며, probe가 토양과의 접촉을 피하기 위해 측정 토양으로부터 3cm 높이에서 측정하도록 설계하였다.

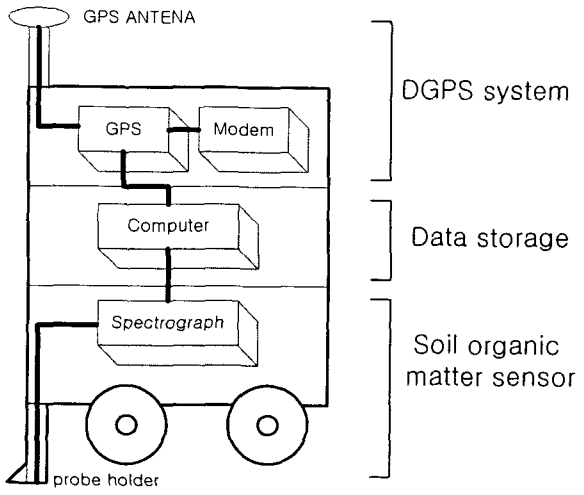

Fig. 1 Data acquisition system for electronic mapping

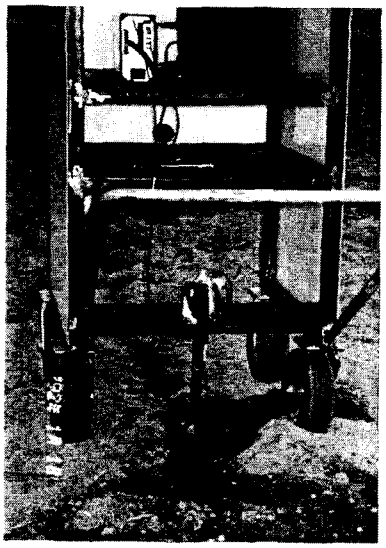

Fig. 2 Real-time soil organic matter sensor

나. 토양 유기물 함량 계측 모델 개발

(1) 토양 샘플 획득과 반사도 측정

분광 분석기(900nm~1700nm)를 이용하여 토양 유기물 함량 측정가능성을 평가하기 위하여, 토양 sampling 오거를 사용하여 서울 대학교 부속 농장과 강원도 평창 지역, 대관령 지역에서 각각 20점, 40점, 39점을 토양 표면으로부터 10cm~15cm 깊이에서 채취하였다. 채취한 토양의 반사도를 10회 측정하였으며, Walkeley-Black 방법을 이용하여 유기물 함량을 분석하였다. 채취한 토양의 유기물 함량 분포는 표 1에 나타내었다.

Table 1 Soil samples and distribution of soil organic matters

	Suwon(S.N.U)	Pyungchang	Daekwanryung
No. of samples	20	40	39
Distribution of soil OM	1.56~3.33%	2.45~3.74%	0.88~10.14%

서울 대학교 부속 농장과 대관령 지역에서 구축한 토양 유기물함량 계측 시스템을 이용하여 각각 55개, 58개의 토양 반사도를 측정하고 토양 샘플을 채취하였다. 그림 2와 같이 Penetrator 형태의 유기물 센서는 측정 위치에 멈추어 토양 반사도를 반복하여 10회 측정하였다. 그리고 토양의 반사도를 측정하면 그곳의 토양을 채취하였으며, Walkeley-Black 방법을 사용하여 실제 유기물 함량을 측정하였다. 표 2는 토양의 유기물 분포를 나타내고 있다.

Table 2 Soil samples and distribution of soil organic matters

	Suwon (S.N.U)	Daekwanryung 1	Daekwanryung 2
No. of soil samples	55	9	49
Distribution of soil OM	1.97~3.33%	0.07~0.75%	4.22~7.96%
Texture	Sandy loam	Loamy sand	Sandy loam

(2) 유기물 함량 계측 모델

일반적으로 스펙트럼에는 성분의 농도와 관련된 정보이외에 노이즈(noise)가 포함되고 있다. 산란이 많은 곳은 제거하였으며, 1050~1600nm에서의 반사도를 사용하였다. 노이즈 성분을 감소시키기 위해 10번씩 측정한 반사도를 평균(averaging)하여 흡광도로 바꾸었으며, 10nm 간격으로 평활화(smoothing)하였다. 또한 일차미분 이차 미분을 이용하여 데이터를 변환하였다.

유기물 함량 계측 모델을 개발하기 위하여 PLS, PCR(Principal Component Regression) 분석방법을 사용하여 전처리 과정을 거친 데이터들을 분석하였다. PCR 및 PLS 예측 모델 개발을 위한 최적 인자의 수는 cross-validation법에 의한 최소 PRESS법을 이용하여 최적인자 수를 결정하였다. Matlab(ver 5.3, Mathwork, USA)을 이용하여 알고리즘을 개발하였으며, PCR, PLS 분석을 위해 PLS_Toolbox(ver 2.0, Eigenvector Research, USA)를 이용하였다.

다. 전자지도 작성

전자지도 작성을 위해 Visual C++ 6.0을 사용하였다. 시비량 지도 작성 알고리즘은 그림 3과 같다. MS Access로 구축된 데이터베이스에 저장되어 있는 위치데이터와 유기물함량 정보를 이용하여 point 지도를 작성한다. 그리고 분포도지도 작성을 위해 30cm 간격의 grid point로 지도를 제구성하며, 각 point는 kriging 방법을 사용하여 보간하여 값을 부여하였다. 이 분포도 지도와 표 3의 시비식을 이용하여 격자 형태의 시비량지도를 작성하였다.

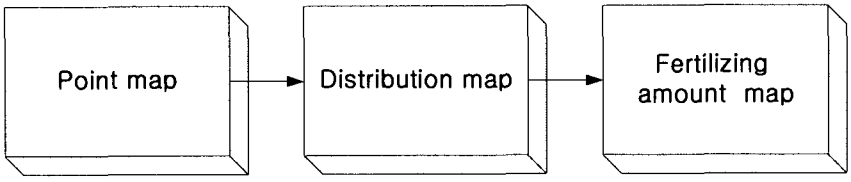

Fig. 3 The algorithm for N-fertilizer amount map

Table 3 N-fertilizer amount using soil OM (kg/10a) ('96 농과원)

Plants	General fertilizer amount	Recommneded fertilizing equation Y: N fertilizing amount X: soil OM content	Fertilizer amount for each soil OM content		
			1.6 이하	1.6~2.5	2.5이상
Radish	28.0		33.6	28.0	22.4
Potato	10.0	Y = 26.169- 1.564 X	23.8	22.2	20.7
Sesame	2.9	Y = 17.596- 5.530 X	8.8	2.9	0
Cabbage	32.0	Y = 44.082- 5.881 X	35.8	30.3	24.7
Lettuce	20.0		24.0	20.0	16.0
Corn	17.4	Y = 23.319- 2.206 X	21.3	19.3	17.2
Garlic	25.0	Y= 22.761 - 1.564 X	19.6	18.0	16.5
Onion	25.0		18.2	15.2	12.2

3. 결과 및 고찰

가. 토양 유기물 함량 계측 시스템 개발

근적외선 분광분석기를 이용하여 토양 유기물 함량 측정 가능성을 알아보기 위해 기초연구를 수행하였다. 예측을 위해 50개의 데이터, 검증에 49개의 데이터를 임의로 선택하여, PLS, PCR 통계 분석을 이용하여 토양 유기물 함량에 대한 예측과 검증을 하였다. 표 4와 같이, PLS 흡광도 분석결과는 R^2=0.89, SEP=0.84로, 분광분석기를 이용하여 토양유기물 측정 센서 개발의 가능성을 보여주고 있다. 흡광도 데이터의 분석과 흡광도의 일차미분 데이터의 분석이 비슷한 결과를 보이고 있으나 흡광도의 일차미분 데이터의 분석의 경우 SEC, SEP가 약간 증가한 것을 볼 수 있다.

Table 4 Calibration and validation results by PLS and PCR Analysis

		No. of PLS factor	Calibration		Validation			
			R^2	SEC	R^2	SEP	bias	C.V.
PLS	absorbance	6	0.8993	0.8403	0.8937	0.8414	0.1363	18
	1st derivative	4	0.8959	0.9095	0.8780	0.9786	-0.1267	23
	2nd derivative	5	0.8384	1.0429	0.8254	1.1060	0.1848	25
PCR	absorbance	10	0.8999	0.8282	0.8928	0.8676	0.1079	19
	1st derivative	20	0.8989	0.8044	0.8854	0.9053	0.4561	19
	2nd derivative	19	0.8163	1.1405	0.8044	1.1455	-0.2902	25

실시간 토양 유기물 함량 계측시스템을 이용하여 113개의 토양 반사도 데이터를 획득하였으며, 토양 샘플을 획득하여 유기물 함량 계측 센서를 검증하였다. 예측을 위해 65개의 데이터를 사용하였으며, 검증에 48개의 데이터를 사용하였다.

분석 결과는 표 5에 나타내었다. 전처리 과정을 거친 흡광도의 스펙트럼의 일차미분 데이터를 이용하여 PLS 분석을 하였을 경우, R^2=0.85, SEP=0.72로 가장 좋은 결과를 보였다. 그래서 흡광도 스펙트럼의 일차미분 데이터를 이용한 모델을 토양 유기물 함량 계측 모델로 선정하였다.

Table 5 Calibration and validation results by PLS and PCR analysis

		No. of PLS factor	Calibration		Validation			
			R^2	SEC	R^2	SEP	bias	*C.V.*
PLS	absorbance	9	0.8359	0.8416	0.8416	0.9798	0.2475	27
	1st derivative	5	0.8306	0.8367	0.8539	0.7210	-0.1275	19
	2nd derivative	8	0.9232	0.5767	0.7754	0.9918	0.0046	25
PCR	absorbance	14	0.7793	0.9506	0.7662	0.8987	0.0185	26
	1st derivative	10	0.8069	0.9435	0.8036	0.7871	-0.4206	22
	2nd derivative	26	0.7700	0.9992	0.7329	1.0039	0.2329	25

나. 전자 지도 작성

(1) 토양 유기물 함량 지도 작성

속성데이터 획득 시스템을 이용하여 토양 유기물 함량과 위치데이터를 획득하였다. 실험 장소는 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농장에서 실시하였다. 1.5m 간격으로 50점의 데이터를 획득하였으며, 이 데이터들은 전자 지도용 데이터베이스에 저장하였다.

그림 4는 농장의 데이터 획득 시스템을 사용하여 획득한 토양 유기물 함량 지도이다. 그리고 그림 5는 채취한 샘플을 분석한 결과를 이용하여 작성한 토양 유기물 함량 지도이다. 두 지도의 MAE(Mean Absolute Error)는 0.59이였다.

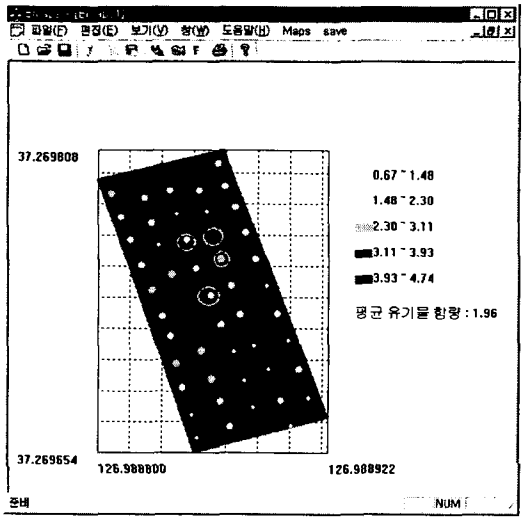

Fig. 4 Point map of soil OM mapped by measured data

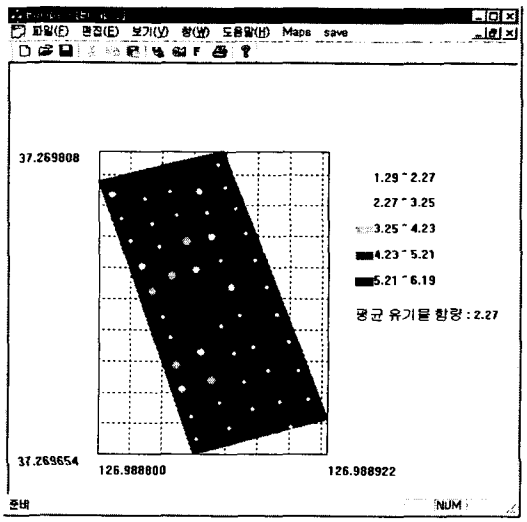

Fig. 5 Point map of soil OM by actual data

그림 6과 7은 그림 4와 5의 유기물 지도를 보간하여 작성한 유기물 함량 분포도지도이다. 분포도지도 작성을 위해 30cm 간격으로 격자점을 나누었다. 각 점들은 kriging 방법에 의해 보간하였으며, 등급 간격을 1.6으로 하여 지도를 작성하였다. 두 지도의 MAE는 0.44이였다.

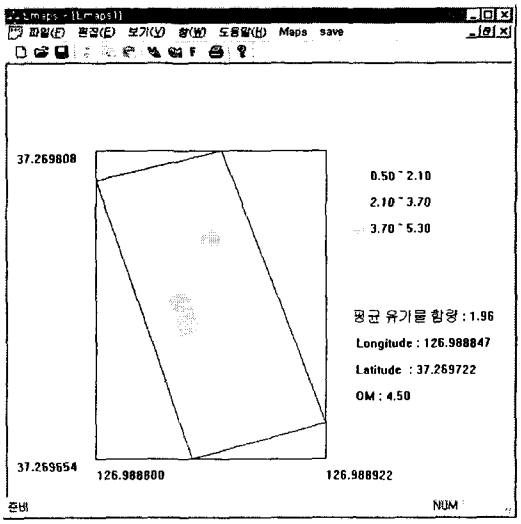

Fig. 6 Distribution map of soil OM by measured data

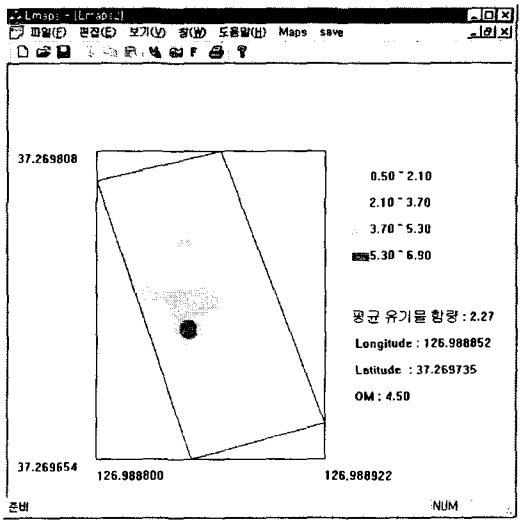

Fig. 7 Distribution map of soil OM by actual data

(2) 시비량 지도 작성

유기물 함량 분포 지도를 이용하여 작성된 농장의 질소 비료 시비량 지도를 작성하였다. 시비식에는 무밭의 시비식(표 3)을 사용하였다. 격자 크기를 결정하기 위하여 격자 크기를 1, 2, 3m로 설정하여 분석을 하였다. 표 6에서 보는바와 같이 격자 크기를 1m로 하였을 경우 정확하게 예측한 곳이 71.6%, 5.6kg/10a의 에러를 가진 곳이 17.4%, 11.2kg/10a의 에러를 가진 곳이 11%이였다. 2m의 격자 크기 역시 11.2kg/10a의 오차 범위가 10%나 되어 격자크기로 적합하지 않았다. 3m의 격자크기는 정확도가 58.3%로 낮으나 11.2kg/10a의 오차 지역이 없어, 격자크기는 3m로 결정하였다.

Table 6 Accuracy of mapping with grid size

Error amount (kg/10a)		0	5.6	11.2
Grid size	1 m	71.6 %	17.4 %	11 %
	2 m	65 %	25 %	10 %
	3 m	58.3 %	41.7 %	0 %

그림 8과 9는 작성된 시비량 지도이다. 무 밭의 표준 질소비료 시비량은 28 $kg/10a$이며, 계산된 평균 시비량은 29.6 $kg/10a$이었다. 그리고 총 시비량은 4.51kg 이였다.

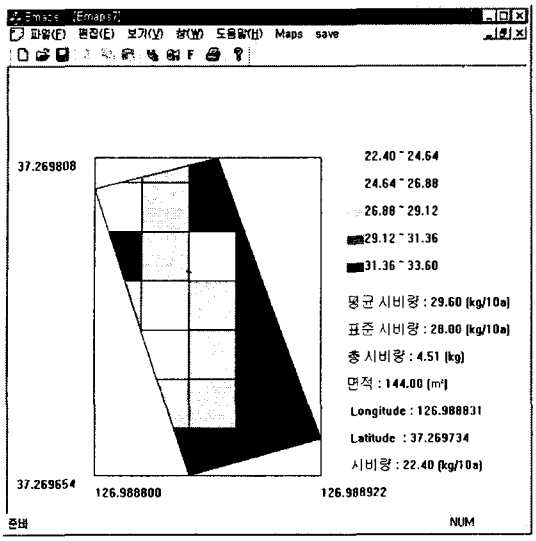

Fig. 8 N-fertilizer amount map by measured data

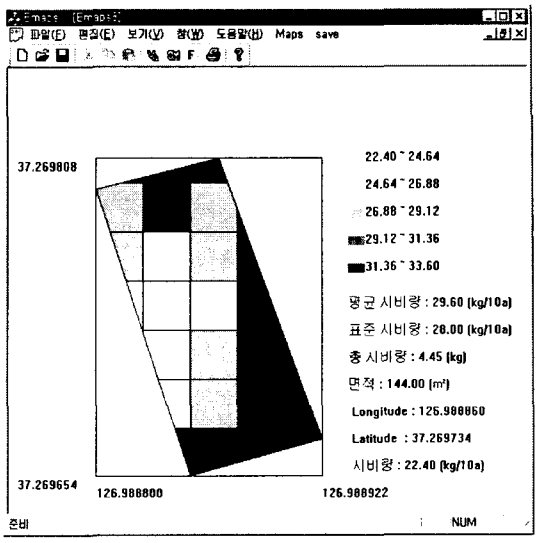

Fig. 9 N-fertilizer amount map by actual data

다. 시비량 지도 작성 성능 평가

시비량 지도의 작성 성능 평가를 위해 작성된 지도에 의한 시비량과 획일적인 방법에 의한 시비량을 실제값을 이용하여 작성된 지도의 시비량과 비교하였다. 시비량은 모두 22.4, 28, 33.6 kg/10a의 3단계로 분류되어 있으며, 획일적인 방법의 시비량은 28kg/10a이다.

분석 결과는 표 7과 같이, 획일적인 방법에 의한 시비는 정확한 시비가 30.5%에 그쳤으며, 69.5%가 ±5.6kg/10a 만큼 오차를 보였다. 반면 작성된 지도에 의한 시비량은 정확한 시비가 58.3%로 증가하였다. 그러나 오차가 있는 시비는 41.7 %가 존재하였다.

Table 7 Comparison of the fertilizer amount

Error amount (kg/10a)	-5.6	0	+5.6
Fertilizing by electronic map	25 %	58.3 %	16.7 %
Conventional fertilizing	44.5 %	30.5 %	25 %

작성된 시비량 지도를 이용하여 $\frac{58.3-30.5}{30.5}\times 100=91(\%)$의 시비량 정확도 향상을 가져왔다. 따라서 전자지도를 이용한 정밀농업의 가능성을 찾을 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 정밀시비를 위한 전자지도 작성 시스템을 개발하고, 질소 시비량 지도를 작성하였다. 개발된 토양 유기물 함량 계측 센서는 0.07%~7.96%까지의 토양 유기물 함량을 R^2= 0.85, SEP=0.72, bias=-0.13으로 계측할 수 있었으며, 작성된 시비량 지도를 이용한

시비는 58.7%의 정확성을 보였다. 시비량 지도에 의한 정밀시비는 획일적인 시비의 정밀시비 30.5%에 비해 91%의 정확성 향상을 보였다. 그러나 개발된 센서의 오차로 인하여 유기물 함량 등급 분류 간격이나 격자 간격 면에서 세분화된 지도는 작성할 수 없었다. 좀 더 정확하고 세분화된 시비량 지도 작성을 위해서는 오차 범위가 작은 정밀한 센서의 개발이 요구된다. 또한 토양 유기물 센서뿐만 아니라 다른 토양 상태를 계측할 수 있는 센서들이 개발된다면 다양하고 정확한 시비량 지도를 작성할 수 있을 것으로 판단된다. 작성된 전자지도는 농작업의 의사결정에 도움을 주며, 빠른 처방이 가능할 것이다.

5. 참고문헌

1. 강인성. 1999. 지리정보시스템을 이용한 소구획 경작지내의 토양 유기물 및 pH의 변이 분석. 서울대학교 석사학위 논문.
2. 조성인, 배영민, 양희성. 2000. 근적외선 반사도를 이용한 토양 유기물 함량 측정. 한국농업기계학회 동계학술대회.
3. Kravchenko, A. and D. G. Bullock, 1999, A Comparative Study of Interpolation Methods for Mapping Soil Properties, Agron. J. Vol.91:393-400
4. Shibusawa, S., H. Sato, S. Hirako, A. Otomo and A. Sasao. 2000, A Revised Soil Spectrophotometer. Bio-Robotics II.: 225-230.
5. Sudduth, K.A. and J.W. Hummel, 1993, Portable, Near-Infrared Spectrophotometer for Rapid Soil Analysis, Transactions of the ASAE. Vol. 36(1): 185-193.
6. Verma, A.K., R. A. Cooke, M. C. Hirschi and J. K. Mitchell, 1998, GIS and GPS Assisted Variable Rate Appllication of Agri-Chemicals, Journal of Geographic information and Decision Analysis. Vol.2(1):17-22
7. Wollenhaupt, N. C., R. P. Wolkowski and M. K. Clayton, 1994, Nutrient Management-Mapping Soil Test Phosphorus and Potassium for Variable-Rate Fertilizer Application, J. Prod. Agri. Vol. 7:441-448