

소구획 경지에서의 벼 수확량 지도 작성

Yield Mapping of a Small Sized Paddy Field

정 선 옥*	장 영 창**	이 동 현*	박 우 품*	임 정 호***
정희원	정희원	정희원	정희원	
S.O.Chung	Y.C.Chang	D.H.Lee	W.P.Park	J.H.Lim

1. 서론

정밀농업에 필요한 여러 요소기술 중에서 수확량과 포장속성간의 상호관계 분석 및 처방은 다년간의 실험결과가 요구되는 광범위한 기술로 정밀농업을 위한 가장 기초적인 부분이라고 할 수 있다. 이에 따라 외국에서는 현재 포장변이의 검출에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 수확량 모니터링 시스템(yield monitoring system) 개발, 토양관련 실시간 센서개발, 원격탐사(remote sensing) 기법을 이용한 토양성분 분석에 관한 연구가 수행되고 있다. 특히 수확량 모니터링 시스템을 개발하고 수확량지도를 작성하는 것은 수확량의 변이정도를 측정하고 분석하여 처방하고자 하는 대상포장에 대한 정밀농업 전략을 세울 수 있기 때문에 가장 먼저 실용화되고 있는 부분이다.

우리 나라와 재배작물 및 농지규모가 유사한 일본에서도 정밀농업에 관한 연구가 증가되고 있다. Noguchi 등(1998)은 정밀농업 연구를 전 국가적인 차원에서 계획, 추진해야 한다고 주장하고 해외의 전문가를 초청하여 일본의 실정에 적합한 정밀농업 형태를 찾고자 하였다. 우리 나라에서는 농촌진흥청 농업과학기술원을 중심으로 정밀농업의 기초 연구로서 전국 토양도에 관한 연구가 수행되고 있다(1998, 김유학). 농업기계분야에서 정밀농업에 관한 연구는 매우 초보적인 단계에 있으며 장영창 등(1998)이 농업기계의 관점에서 정밀농업의 연구현황과 전망을 살펴보았다.

우리나라에서는 아직 체계적인 정밀농업 연구와 실용화가 이루어지지 않고 있는 실정으로 정밀농업의 구현을 위하여 국내 수확기에 적합한 수확량 모니터링 시스템을 개발하는 것이 연구의 큰 출발점이 될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 해외에서 시판되고 있는 수확량 모니터링 시스템을 국내에서 사용되고 있는 콤바인에 장착하여 소규모 논에서 벼의 수확량 지도를 작성하고 오차원인을 분석함으로써 국내 수확기에 대한 적용 가능성과 수확량 모니터링 시스템의 개발방향을 제시하고자 하였다.

2. 수확량 모니터링 시스템 구성

수확량 모니터링 시스템은 일반적으로 수확량 센서, 함수율 센서, 속도센서, 예취부 작동 유무 감지 센서, 디스플레이부, 자료저장 및 계산처리부, 전원부로 이루어진다. 또한 메모리장치로 자료를 일정

* 농촌진흥청 농업기계화 연구소

** 서울대학교 농업생명과학대학 농업개발연구소

*** 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

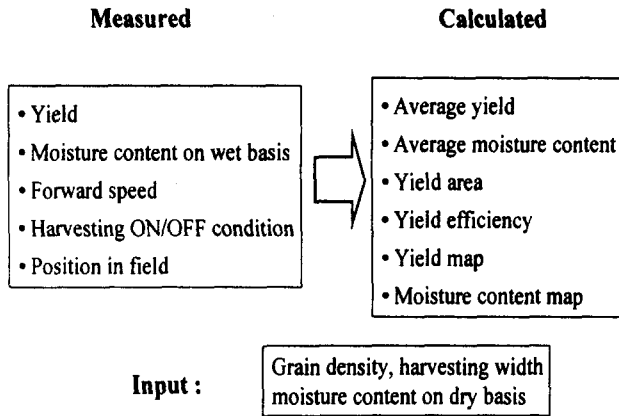


Fig. 1 The measured inputs and the calculated outputs of the yield monitoring system.

간격으로 저장할 수 있어 수확 후에 실내에서 그 자료를 분석할 수 있다. 수확작업을 한 후 수확량 및 함수율 지도를 얻고자 할 경우에는 지구측위시스템(DGPS)과 연결하고 각 센서로부터 들어온 값을 처리한 후 측위 자료와 결합하여 메모리에 저장하고 디스플레이 모니터에 출력하는 기능을 총괄하는 중앙처리장치가 필요하다. 본 연구에서는 미국에서 도입한 Grain-Trak을 이용하여 소규모 논에서의 수확량 모니터링 시스템을 구성하였으며 그림 1에는 수확량 모니터링 시스템에 입력되는 항목과 출력되는 항목을 요약하였다.

가. 수확량 센서

일반적으로 수확량 센서는 수확된 작물이 탱크로 이송되는 부분에 장착되어 작물의 부피나 질량을 측정한다. 본 연구에서 사용된 수확량 센서는 스트레인게이지를 이용한 방식으로 스트레인게이지가 부착된 두 개의 갈퀴(fork)가 달려있어 갈퀴에 곡물이 부딪히는 힘의 크기를 검출함으로써 수확량을 계산한다. 원래는 버킷형식의 곡물이송 엘리베이터에 맞도록 설계된 센서이지만 우리나라에서 사용되는 콤바인은 일반적으로 스크류식 엘리베이터를 채택하고 있어 곡물이 탱크로 이송될 때 흩뿌려지므로 곡물의 양을 검출하기 어렵다. 따라서 곡물이송터널을 부착함으로써 곡물이 탱크로 흩뿌려지는 현상을 줄였다.

나. 함수율 센서

함수율에 따라 벼의 수확량은 크게 변하기 때문에 습량기준으로 측정된 수확량은 함수율 보정을 통하여 건조시의 수확량으로 환산된다. 함수율을 측정하는 방법 중에서 수확을 하면서 계속적으로 흐르는 곡물의 함수율을 측정하는 데는 수분의 전기적 특성을 이용한 방법이 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는 정전용량식 함수율센서를 이용하였고 예비실험을 통하여 곡물이 탱크로 유입되기 직전의 터널 끝에 장착하였다. 또한 터널 부분의 단면적을 줄여서 함수율 센서를 통과하는 곡물이 항상 전극판을 덮을 수 있도록 하였다.

다. 속도 및 예취부 작동유무 감지센서

콤바인 궤도의 축을 연장하여 자석과 마그네틱 센서를 장착하고, 콤바인의 1펄스당 주행거리는 630mm로 설정하여 마그네틱 센서로 검출되는 신호의 1펄스 검출시간과 1펄스당 이동거리를 기초로 속도를 계산하였다. 작업속도를 측정하는 것은 포장효율을 계산하는 것 이외에 수확량 측정과 지도 작

성에 큰 의미를 가진다. 연산처리부에서는 미리 입력한 콤바인 작업폭과 작업속도로 작업면적을 구하고 수확량 센서에서 측정된 값을 나누어 평균 수확량을 구하게 된다. 계산주기동안 측정된 수확량(Q), 콤바인 작업폭(w), 주행속도(v), 계산주기(t)로부터 평균수확량(q)은 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$q = \frac{Q}{w \cdot v \cdot t} \quad (\text{식 1})$$

콤바인이 수확을 하고 있는 동안에는 예취부를 내리게 되고 단순히 주행을 할 경우에는 예취부를 올리게 된다. 또한 탈곡통으로 들어오는 벼를 검출하면 수확을 하고 있는지의 여부를 알 수 있다. 본 연구에서는 예취부의 작동 유무를 감지하기 위하여 속도센서와 같이 자기방식의 센서를 이용하였다. 예취부 몸체에 자석을 설치하고 고정부분에 마그네틱 센서를 부착하여 예취부의 위치에 따라서 자석의 유무를 검출하고 예취부의 작동유무를 판단하였다. 특히 콤바인의 견어올림장치가 예취부와 함께 상하운동을 한다는 점에 착안하여 견어올림장치 상단에 센서를 장착하였다.

3. 수확량지도 작성 알고리즘 및 오차

수확량 모니터링 시스템 및 지도작성 소프트웨어의 일반적인 오차발생은 ① 예취폭이 수확기간동안 일정하지 않기 때문에 발생하는 예취폭 결정의 오차, ② 예취된 후 탈곡, 선별과정을 거쳐 수확량 센서에 도달하는데 걸리는 시간지연, ③ DGPS가 가지는 위치오차, ④ 콤바인 내에서 곡물흐름이 일정하지 못하기 때문에 생기는 수확량의 변이, ⑤ 콤바인의 곡물 손실량, ⑥ 센서정밀도 및 교정상태, 시스템 응답특성이 주원인이다(Blackmore et al, 1996, Stafford et al, 1996). 수확량지도는 포장내의 수확량 변이를 시각적으로 표현함으로써 작업자가 변이를 쉽게 파악할 수 있도록 해주며 토성, 작물생육상태에 대한 지도와 결합할 수 있는 기초가 된다.

수확지점의 위치와 수확량은 점(point)형태의 자료로 얻어지며 자료의 오차를 고려하여 스무딩(smoothing) 알고리즘이 사용되고 있다. 그러나 이러한 자료를 수확량 지도에 그대로 표시할 경우에는 작업자가 전체 포장에 대한 수확량 변이를 판단하기 어려울 뿐 아니라 어떠한 원인에 의해 수확량 자료의 일부를 수집하지 못할 때에는 지도작성이 곤란하게 된다. 수확량지도를 작성할 때 점 형태로 얻어지는 자료를 보완하기 위한 대표적인 방법으로 크리징(kriging) 보간법, 거리 역비례(inverse squared) 보간법, 포텐셜 지도법(potential mapping)이 사용되며 본 연구에서는 검출된 자료를 이용하여 수확량 지도를 작성할 때 이를 보완하는 알고리즘을 고려하였다.

4. 공시기 및 시험방법

본 연구에서는 공시 콤바인으로 대동 3조 콤바인(R1-301)을 사용하였고 수확량 지도를 작성하기 위하여 수확량 모니터링 시스템과 DGPS를 결합하였다. 수확한 면적은 0.1ha이었고 벼의 품종은 '일품'으로 수확당시 함수율 18.1%에서 가비중이 601.1kg/m³이었다. 실험은 수원시 권선구 임북동에 위치한 농업기계화 연구소 시험포장에서 1998년 10월 19일에 수행되었으며 토양강도가 경반에서 15kg/cm², 수

분함량이 32%로 나타나 콤바인이 슬립이 심하지 않은 상태로 주행할 수 있는 조건이었다.

실험은 수확량 모니터링 시스템의 교정작업과 수확량 지도작성을 위한 작업으로 나누어 수행하였다. 교정작업의 경우 곡물탱크에 곡물이 만충될 때까지 수확한 후 곡물의 무게를 측정하고 임의로 곡물을 5번 채취하여 Lystar 수분측정기로 곡물 함수율을 측정하였다. 이 값과 수확량 모니터링 시스템에서 제시된 값을 비교하여 교정값을 입력하였다. 교정작업은 2회를 수행함으로써 시스템의 정밀도를 높이고자 하였다. 수확량 지도를 얻기 위한 수확작업은 일반적인 작업형태인 회행 후 왕복작업 방법으로 수행하였다.

수확량 지도는 3가지 방법으로 작성하였다. 먼저, 구입한 수확량 모니터링 시스템의 자체 프로그램을 사용하여 지도를 그린 후 알고리즘의 타당성을 검토하였고 그 다음 데이터 변환과정을 거쳐 얻어진 결과로 보간된 2차원 및 3차원 지도를 구하였다. 또한 포장 내 수확량 변이를 얻기 위한 적정 단위구획의 크기를 구하기 위하여 단위구획의 면적을 변화시키면서 수확량 지도의 변화를 분석하였다. 수확량 모니터링 시스템에서 제공하는 자료는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 위도, 경도, 수확량(kg/hr), 함수율(%)만 사용하였다. 이 자료로부터 거리 반비례 보간법, 포텐셜 맵핑을 위한 값을 계산하였고 DGPS좌표계(위도, 경도)의 위치자료로부터 (x, y)좌표계의 위치자료를 구하였다.

5. 결과 및 고찰

수확량 모니터링 시스템에서 계측된 총 수확량은 1150kg으로 나타났으며 저울을 이용하여 실제 측정된 수확량 1184kg과 비교할 때 총 수확량의 오차는 2.9%로서 구성된 시스템은 비교적 정확하게 수확량을 측정할 수 있는 것으로 판단되었다. 또한 평균함수율은 18.1%로 계측되어 함수율 측정기로 측정된 벼 함수율 평균치와 차이가 없었다.

가. 수확량 지도(오차처리 전)

그림 7은 수확량 모니터링 시스템과 함께 제공되는 지도작성 프로그램을 이용하여 얻은 습량기준 수확량 지도로써 지도의 범례는 해당지점의 수확량을 나타내고 있으며 단위는 kg/ha이다. 그림에서 원으로 둘러 쌓인 부분에서는 실제로 수확작업을 하지 않는 콤바인이 진입하는 구간임에도 수확량이 표시되었으며, 직사각형으로 표시된 부분에서는 수확작업이 수행된 부분인데도 비어 있다. 또한 왕복주행 구간에서 진입하는 부분은 수확량이 중복되어 표시되었다. 이러한 경향은 함수율 지도에서도 마찬가지로 나타났다. 지도상에 이러한 부분이 나타나는 원인은 수확량 모니터링 시스템에서 자료를 저장하는 방법과 수확량 모니터링 시스템 설정값을 전체 포장에 대하여 일률적으로 적용하기 때문인 것으로 판단되었다.

본 연구에서 구성된 시스템은 예취부 작동유무 센서에서 예취부가 작동하고 있다는 신호가 들어오면 자료를 저장하기 시작하고 예취부가 작동하지 않는다는 신호가 들어오면 자료를 저장하지 않기 때문에 수확하기 2~3초 전에 예취부를 내리면, 예취부 작동신호가 메인 프로세서에 전달되고 메인 프로세서는 이때부터 DGPS 위치와 각 센서의 값을 저장하게 되어 진입부분에서 수확량 자료가 나타나게

된다. 또한 자료가 연속적으로 저장되는 것이 아니라 일정한 주기로 저장되기 때문에 예취부가 들어올려지기 바로 전의 자료는 DGPS 위치신호를 놓치게되어 저장되지 않기 때문에 직사각형 모양의 빈 공간이 생기게 된다. 이런 현상은 포장 크기가 충분히 큰 경우에 문제가 되지 않으나 소구획 포장에서는 올바른 형태의 수확량 지도를 얻을 수 없게 된다. 특히 수확량이 중복되어 나타난 부분은 수확이 많이 된 것처럼 보이게 된다. 수확량 지도로부터 포장의 외곽부의 네 변을 따라 수확량이 전체적으로 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 이 부분은 수확작업 시에 설정치 1.2m 작업 폭을 모두 사용하지 못하였기 때문에 발생한 오차이다.

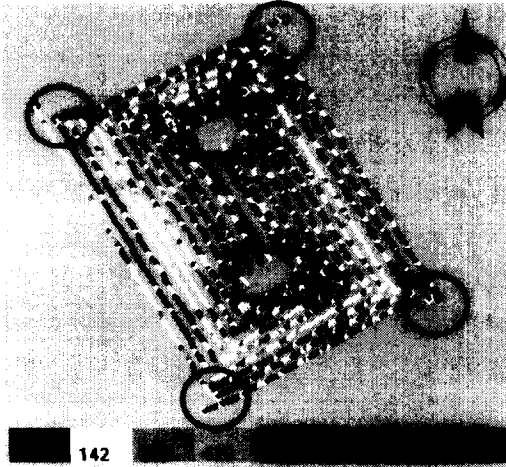


Fig. 7 A yield map of an experimental paddy field on wet basis.

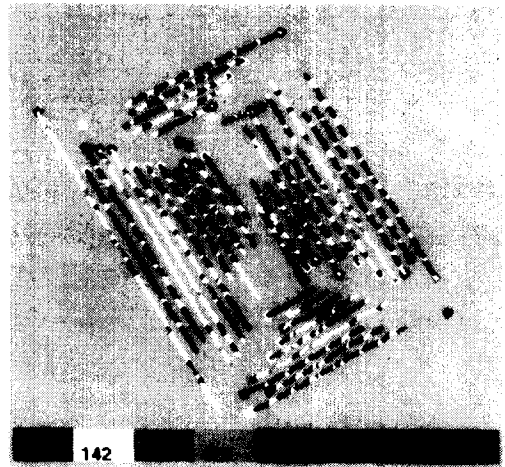


Fig. 9 A yield map of an experimental paddy field after error correction.

나. 수확량 지도(오차처리 후)

그림 9는 중복된 부분, 회전하면서 자료가 일정하게 입력되지 못한 부분을 삭제하고 다시 재구성된 오차처리후의 수확량 지도이다. 또한 그림 9는 경도, 위도, 습량기준으로 되어 있는 자료를 x좌표, y좌표, 건량기준 수확량, 함수율로 변환하고 거리에 대한 지수는 1로 하여 거리 역비례법으로 보정한 지도이다. 그림에서 자료의 빈 공간이 많이 나타나지만 그림 7의 수확량 지도보다는 실제에 더욱 가까운 지도이다.

수확량 지도를 점의 형태로 작성하는 것보다는 자료를 보간하여 등고선의 형태로 작성하는 것이 시각적으로 포장내 수확량 변이를 파악하는데 용이하다. 하지만 센서에서 측정된 모든 값을 그대로 보간하는 것은 일부 특정치의 영향으로 수확량 지도의 일부가 과장되어 표시될 수 있다. 그림 10은 이러한 현상을 보완하고 스무딩(smoothing) 효과를 얻기 위해 수확량 자료를 포텐셜 맵핑을 이용하여 보간하고 2차원 등고선 및 3차원 입체지도로 나타낸 결과이다. 수평좌표는 미터단위이고 수직좌표는 kg/ha단위이다. 그림 10에서 보는 바와 같이 수확량 센서가 내재하는 측정오차를 고려하더라도 실험포장이 비교적 소규모였음에도 수

확량은 위치에 따라 매우 다르게 나타났다. 본 연구에서는 시비량 변이 등과 같은 실험포장의 기초자료가 충분하지 못하여 수확량 변이의 원인을 분석할 수는 없었으나 향후 이의 분석이 필요할 것으로 판단되었다.

다. 수확량 지도의 단위구획 결정

수확량 지도에 있어서 단위구획의 크기를 증가시키면서 수확량을 보간할 경우 포장내 변이는 계속 줄어들고 상세한 수확량의 변이를 얻을 수 없게 된다. 따라서 포장 내 수확량의 변이를 크게 표현하면서 보간할 수 있는 단위구획의 크기를 결정하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 적정 단위구획의 크기에 대한 기준을 수확량 자료가 저장되는 한 주기동안의 이동한 거리로 설정하였다. 따라서 수확량 지도 작성의 최소 단위구획은 수확기 주행속도와 자료저장주기 및 유효 수확폭의 곱으로 구해진다. 본 실험에서 콤바인 평균 주행속도는 0.50 m/sec였고 최대 주행속도는 0.78m/sec로 측정되었다. 또한 자료 저장주기는 3초로 설정하여, 수확량 변이를 유지하면서 신뢰할 수 있는 단위구획의 크기는 콤바인의 최대 주행속도를 고려하여 3.6m²로 결정하였다.

그림 11은 단위구획의 크기를 3.6m²로 했을 때의 수확량 지도를 보여주고 있다. 그림 10과 비교할 때 수확량 변이는 보다 완만하게 나타나고 있으며 단위구획 내에서 얻어진 자료를 평균함으로써 나타난 결과이다. 그러나 단위구획을 기준으로 수확량 변이를 추적하는 것이 가능함을 보여준다.

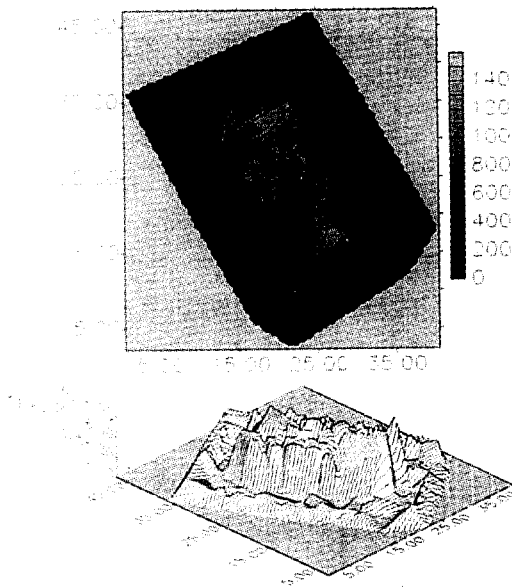


Fig. 10 A contour and 3-dim yield map on the interpolated yield data.

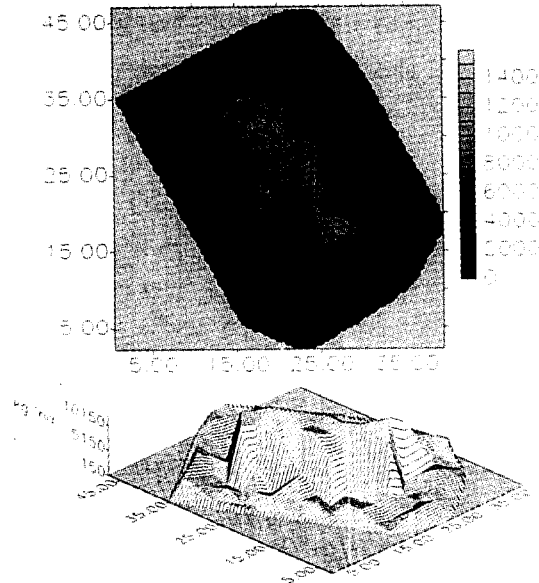


Fig. 11 A contour and 3-dim yield map with respect to a basic yielding grid(3.6m²).

우리 나라와 같은 소구획 농지를 대상으로 하여 수확량 모니터링 시스템에 저장된 자료를 변환하고 수확량 지도를 구성하는데는 아직도 해결해야 할 문제가 많은 것으로 판단되었다. 특히 일정하지 못한 작업 폭으로 인하여 수확량이 적은 것으로 맵핑되는 문제와 예취부를 작동하기 시작하여 곡물 수확량이 정상상태로 센서에 도달할 때까지의 지연시간 동안의 수확량 자료처리 문제 등이 향후 연구에서 해결되어야 할 것으로 판단되었다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 해외에서 시판되고 있는 수확량 모니터링 시스템을 국내에서 사용되고 있는 콤바인에 장착하여 소규모 논에서 벼의 수확량 지도를 작성하고 오차원인을 분석함으로써 국내 수확기에 대한 적용 가능성과 수확량 모니터링 시스템의 개발방향을 제시하고자 하였으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 질량측정 수확량 센서와 정전용량식 함수율 센서를 오우거로 곡물을 이송하는 국산 콤바인에 적용하여 0.1ha규모의 소구획 농지에 대한 수확량 및 함수율 변이를 측정하는 것이 가능하였다.

나. 총 수확량은 1150kg으로 측정되어 실제 수확량 1184kg과는 2.9%의 차이를 보였으며 평균함수율은 18.1%로 측정되어 휴대용 함수율측정기로 측정한 값과 차이가 없었다.

다. 예취부의 위치를 감지하여 예취작업의 유무를 결정하기 때문에 수확작업을 시작하는 지점과 수확작업이 끝나는 지점 주변에서 수확량이 측정되지 못하거나 중복되어 나타났다.

라. DGPS와 결합하여 점으로 이루어진 수확량 지도와 함수율 지도를 구성하고 자료의 포텐셜 맵핑 보간과정을 통하여 보다 실제적인 수확량 지도를 작성할 수 있었다.

마. 수확기의 작업시 최대 주행속도와 유효작업폭, 자료의 저장주기를 고려하여 포텐셜 맵핑의 단위구획 크기를 정하였다.

참 고 문 헌

1. Kim, Y. H., B. G. Jung and C. S. Lee. 1998. Modeling of efficient fertilizer application for precision farming._____.
2. Noguchi, N. et al. 1998. Proceeding of symposium for precision farming in japan.
3. 장영창, 정선옥. 1998. 정밀농업의 연구 동향과 전망. 한국농업기계학회지. 23(3) : 305-314.
4. Blackmore, B. S. and C. J. Marshall. 1996. Yield mapping ; Errors and algorithms. Proceeding of 3rd international conference on precision agriculture. 403-415.
5. Stafford, J. V., B. Ambler, R. M. Lark. and J. Catt. 1996. Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. Computers and electronics in agriculture 14:101-119.