

# 감자역병 예측모델을 위한 맞춤형보용 방제모듈 개발에 대한 고찰

심명선<sup>1</sup> · 임진희<sup>1\*</sup> · 김점순<sup>2</sup> · 유성준<sup>3</sup>

<sup>1</sup>세종대학교 바이오자원공학과, <sup>2</sup>RDA 국립식량과학원 고품지농업연구센터, <sup>3</sup>세종대학교 컴퓨터공학과

## Development of customized control modules for the model forecasting the occurrence of potato late blight

Myung Syun Shim<sup>1</sup>, Jin Hee Lim<sup>1\*</sup>, Jeom-Soon Kim<sup>2</sup>, Seong Joon Yoo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Bioresources Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

<sup>2</sup>Highland Agriculture Research Center, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Pyeongchang 232-955, Korea

<sup>3</sup>Department of Computer Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

Received on 16 January 2014, revised on 19 March 2014, accepted on 20 March 2014

**Abstract** : Potato late blight occurrence is caused by various environmental factors, and the progress can be regularly predicted so that several predictive models have been developed. The models predict the timing of the disease occurrence, but they do not include the methods of the disease control. Effective fungicide control, economic threshold, prediction models were investigated in the study to reflect on customized control modules for the model forecasting the occurrence of potato late blight.

**Key words** : Fungicide control, Economic threshold, *Phytophthora infestans*

### I. 서론

*Phytophthora infestans*는 가장 널리 알려진 *Phytophthora* 속의 종이며, 감자에 역병을 유발한다(Choi et al., 2011). *P. infestans*는 감자의 잎과 줄기를 통해 침투하여 식물체를 죽이거나 괴경을 썩게 하기 때문에 감자의 재배에 있어 가장 문제시되는 식물병이며, 전세계의 모든 감자 재배지대에서 발생하는 가장 치명적인 병중의 하나이다(Giddings and Berg, 1919; Park et al., 2011). 한국에서도 씨감자 생산지인 강원도 고랭지 지역 및 남부 감자 재배지역에서 역병이 많이 발생하여 수확량 감소에 큰 영향을 미치고 있다(Hahm et al., 1978). 감자역병은 서늘하고 습할 때 발생하는데 그 피해로는 줄기와 잎의 고사로부터 심하면 괴경 부패를 일으키며, 몇 일 사이에 감자 포장 전체가 고사할 수 있다(Choi, 2007). 잎의 병징은 하엽에서 황색 또는 진 녹색 반점이 나타나고 병이 진전되면 흑갈색 병반으로 변

하는데, 저온 다습한 환경이 계속되면 잎 뒷면에 서릿발 같은 하얀 균사를 형성하고 서서히 이러한 병반을 만들게 된다(Lee et al., 1994; Jang and Kim, 1998). 감자역병은 초발생 이후 2주 이내에 전포장의 90% 이상이 감염되어 엄청난 수량 감소를 가져오는 것으로 알려져 있는데, 관행 재배지에서는 감자역병의 발생을 억제하기 위하여 반복적으로 농약을 살포하여 병해에 의한 피해를 최소화하고 있다(Ryu et al., 2005).

그러나, 역병은 환경조건에 의해 발생 및 진전이 규칙적으로 이루어져 역병의 발생 예측이 가능하다. 현재 여러 역병 예측 모델들이 개발되어 적용되고 있으며, 이는 관행적인 약제살포에 비하여 약제살포회수의 경감에 의한 경제적 이득뿐만 아니라 농생태계 보호에도 크게 기여하고 있다. 본 연구에서는 감자역병의 감시, 예보 및 확산 방지를 위해 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형 통보 서비스를 제공하고자 하였다. 감자 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈을 제시하기 위해 감자역병의 효율적 살균제 방제, 경제적 방제수준, 예측모형 등에 관한

\*Corresponding author: Tel: +82-2-3408-4374

E-mail address: jinheelim@sejong.ac.kr

연구들을 조사하고 이후에 관련 내용들을 개발중인 맞춤형보용 방제모듈에 반영하고자 하였다.

## II. 감자역병의 효율적 살균제 방제

감자역병은 온도가 낮고 습도가 높을 때 많이 발생하며, 15°C 내외에서 포장형성이 잘 되고 18~20°C에서 발병이 증가한다. 감자의 병징은 잎·줄기·괴경에 나타나는데, 줄기에는 암갈색의 줄무늬가 생기면서 지상부 전체가 말라죽게 되며, 잎에는 아랫잎에서 황색 또는 진한 녹색 반점이 나타나고 병이 진전되면 흑갈색 병반으로 변하며, 괴경에는 겉표면에 불규칙하게 색이 변한 부분이 생기고 감자 속으로 퍼져나가게 된다(RDA, 2011). 방제법은 씨감자를 소독(유기수은제)하거나 무병지에서 재배한 감자를 씨감자로 써야 하며, 상습발생지에서는 돌려짓기를 하고 약제살포(구리제·지네브제) 또는 저항성 품종 재배 등을 한다(Son, 2004).

감자역병은 여러 경종적 방제 방법이 있지만 가장 효과적인 방법은 약제 살포에 의한 화학적 방제이다. 전 세계적으로 많이 사용되던 이러한 침투성 살균제는 감자식물체 내에서 이행되어 종래의 살균제보다 위험성이 적고 살포 회수도 감소시킬 수 있었으나 약제 저항성균 출현으로 방제효과가 크게 감소되었다(Son, 2004). Phenylamide계의 살균제인 metalaxyl은 시판된 이후 역병 방제에 큰 공헌을 하였으나, 1980년 중반 네덜란드와 아일랜드 등 유럽국가의 감자포장에서 저항성균이 출현하였고(Dowley and O'Sullivan, 1981; Delp, 1988; Daggett et al., 1993), 한국에서도 metalaxyl 저항성균의 출현에 대해 계속적으로 보고되었다(Hahm et al., 1991; Choi et al., 1992; Lee et al., 1994). 이런 저항성 문제에 대하여 다른 작용기작을 가진 새로운 살균제들이 필요하게 되었고, metalaxyl 저항성균을 방제하기 위하여 morpholin계의 살균제 그리고 병원균의 생합성을 저해하는 dimethomorph와 thiazolecarboxamide계의 살균제인 ethaboxam 등이 개발되어 역병 방제에 널리 사용되었다(Choi, 2007).

역병은 발생 후에는 방제가 매우 어려우므로, 장마, 집중호우 등이 예보되면 비가 오기 전후로 7~10일 간격으로 살포하면 역병방제에 효과적이다(Son, 2004). 특히, 가을 감자 재배시 역병은 어떤 피해보다도 더 크기 때문에 예방위주로 철저히 관리해야 하며, 역병 발생이 예상되는 10월 초부터 10일 간격으로 무조건 예방약제를 살포하면 좋은

수량과 품질을 생산할 수 있다. 고령지 씨감자 재배지대는 역병에 감수성인 수미품종을 주로 재배하고, 여름철 서늘하고 다습한 환경조건(평균기온은 12~24°C, 상대습도 90% 이상)이 지속되기 때문에 우리나라에서 역병에 의한 피해 위험이 가장 높은 곳이다(NAAS, 2011). 감자역병은 지상부 고사와 괴경 부패를 초래하여 수량감소에 큰 영향을 미치므로 방제를 위해 이 지역의 일반 농가는 3~5회, 씨감자 재배 농가는 8~10회의 약제를 살포한다.

현재 개발중인 감자 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈을 제시하기 위해 *Phytophthora infestans*에 효과적인 살균제 및 효율적인 방제방법들에 대해 알아보았다. 선행연구의 결과들을 바탕으로 적합한 살균제의 선택 및 예방위주의 방제를 통해 농약 사용량을 절감할 수 있는 방제모듈의 구축이 필요하다.

## III. 감자역병 경제적 방제수준

화학적 방제는 단기간에 큰 효과를 볼 수 있는 장점이 있으나 농생산물에 남아있는 잔류독성, 토양 및 관개수 오염 등 환경보호 측면에서 많은 문제점이 있다. 그러므로, 친환경농업육성법이 제정되면서 국가 정책적으로 화학비료와 유기합성 농약의 사용량을 줄이기 위한 다양한 시책들이 추진되었는데, 특히 농약사용량을 2004년 대비 2013년까지 40%를 절감하고자 하는 친환경농업의 정책목표를 실현하기 위하여 2010년까지 병해충 잡초 100종에 대한 요방제 수준(방제가 필요한 발병 수준)을 설정하였다(NAAS, 2010). 요방제 수준의 개념은 해충 방제 방법으로 경제적 피해 허용 수준(ET, economic threshold)을 도입하였으며(Stern et al., 1959), 병해충 방제에 투입되는 비용을 감안하여 경제적으로 작물에 피해를 줄 수 있는 가장 낮은 해충 밀도(EIL, economic injury level)를 정립하여 대상작물에 실제 방제 시작시점을 제시한다(Kim et al., 2006). 오이 흰가루병, 벼 깨시무늬병, 가지 흰가루병, 토마토 흰가루병 등 다양한 식물병에 대한 요방제 수준은 연구자에 따라 또는 식물병의 특성에 따라 경제적 피해허용수준(Kim et al., 2006), 경제적 방제수준(Yeh, 2008; Ko, 2010; Kim, 2010), 수량 감소가 전혀 없는 병 발생 수준(Kim, 2010) 등과 같이 제시되었다.

감자에 대해서는 콜로라도 감자 잎벌레(Lognan et al., 1980; Ferro et al., 1983), 복숭아 흑진딧물(Petitt and

Amilowitz, 1982)과 선충(Crow et al., 2000)에 대한 경제적 방제수준이 설정되어 있고, 버티실리움 시들음병에 의한 수량 감소 예측(Francl et al., 1987)과 아일랜드에서 감자 역병에 의한 수량 감소(Dowley et al., 2008)에 대한 보고가 있다. 국내에서도 감자역병에 의한 피해 정도를 평가하고 화학농약 사용 및 경제적 피해를 최소화할 수 있는 경제적인 방제수준을 설정하고자 연구가 수행되었는데, 고령지의 경제적 방제수준은 2009년 수미 1.8, 대서 0.8, 하령 0.4로 설정되었다(NAAS, 2011). 수미는 식물체의 복엽 50매 중 발병된 복엽수가 2매가 될 때 방제를 시작하면 관행방제에 비해 2회 이상 약제살포 회수를 줄일 수 있고, 대서와 하령은 한 장의 복엽이라도 감염을 확인하는 즉시 방제를 해야 하는 것으로 보고되었다. 이때, 감자역병의 초발생일을 이동평균법으로 예찰하였으며(Ahn et al., 1998), 방제를 위해 소요되는 시간과 손실을 최소화하기 위해 80% 수준에서 방제하는 것으로 하였다(Pedigo et al., 1986).

농약 사용으로 인한 부작용을 최소화하기 위해 경제적 방제수준 설정이 선행되어야 하며, 경제적 방제수준 설정은 병해충 종합관리에 있어서 방제의사 결정하는데 중요한 요소이다(Stern et al., 1959; Allen and Rajotte, 1990). 그러나 병방제의 경제적 방제수준의 개념은 아직 초보적인 단계에 있다(Kim et al., 2006; Yeh et al., 2008). 감자 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈을 제시하기 위해서는 선행연구의 감자역병 경제적 방제수준을 반영하여 농약 사용량을 절감할 수 있는 방안이 필요하다.

#### IV. 감자역병 예측모델

선진 외국에서는 감자역병이 기상환경 조건에 의하여 초발생 예측이 가능하여 컴퓨터 예찰시스템에 의한 병방제가 수행되고 있으며, 이는 관행적인 방제에 비하여 약제살포회수의 경감과 농생태계 보호에 기여하고 있다(MacKenzie, 1981; Hwang, 1985; Stevenson, 1993). 식물병의 예찰이 가능하다는 것은 특정 재배 작물병을 관리해야 하는 농업인들에게 농약 살포시기를 결정하는데 아주 유용하게 이용될 수 있다(Hwang, 2000). 식물병 예찰체계는 구성하고 있는 정보의 형태나 방법에 따라서 경험적인 접근방법(holistic approach, empirical modeling)과 체계분석적인 접근방법

(system analytical approach, simulation modeling)으로 나눌 수가 있다(Shrum, 1978; Campbell and Madden, 1990). 경험적인 접근방법은 기상자료와 병 발생량 또는 병 원균의 생태에 관한 실험자료에 기초하여 작성되며, 대표적인 예로 BLITECAST 등이 있다(Krause et al., 1975; Hwang, 2000).

감자역병의 병발생과 기상환경과의 관계에 대하여 많은 연구가 진행되었고 그 결과로 여러 예측모델이 소개되었다. Hyre(1954)는 평균기온이 25°C 이하이고 최저기온 7.2°C 이상인 날이 5일 이상이고, 10일 적산 강수량이 30 mm 이상인 조건이 10일간 계속되었을 때 병발생 호적일로 하고 그 후 1-2주 사이 병이 발생할 것으로 예측하였고, Wallin (1962)은 상대습도 90% 이상 지속시간과 그 기간 동안의 일일 평균기온과의 관계를 severity values (SV)라는 임의의 수치를 사용하여 감자출아 후부터 이를 적산하고, 적산 SV가 18-20이 되는 날로부터 7-13일 사이에 병이 발생할 것으로 예측하였다. 이후에 개발된 'BLITECAST'라는 역병 예찰시스템은 Hyre와 Wallin의 시스템을 선별 및 조합한 것으로 기상요소를 가공한 SV에 의하여 역병을 예찰하고 방제스케줄을 수립하였고(Krause et al., 1975), 일일 상대습도 90% 이상 지속시간과 평균기온과의 관계를 등급화한 SV를 감자출아 후부터 일일단위로 합산하여 적산 SV가 18일 되는 날 이후 7-13일 사이에 병이 발생할 것으로 예측하였다(Ahn, 1998).

'BLITECAST'는 비교적 정확한 예찰은 가능하나 상대습도 90% 이상 지속시간, 매시간 단위의 상대습도 등 예찰정보생산에 필요한 많은 기본정보를 요구하므로, 기상관측장치가 설치되어 있지 않은 국내 농가현장의 경우에는 정확하게 측정할 수 없는 한계가 있다(Ahn, 1998). 고령농업시험장에서는 '이동그래프법'에 의하여 감자역병 예찰을 실시하여 왔는데(Hahm et al., 1978), 이동그래프법은 상대습도가 85% 이상, 일일평균 기온을 7일간 적산하여 평균값이 12°C 이상, 강수량의 7일 적산치가 30mm 이상 등 세 조건을 모두 만족시키는 기간이 7일간 연속되면 예보를 실시하여 7일후에 병이 발생할 것으로 예측하였다. 그러나, '이동그래프법'은 예찰조건이 정확하게 부합되지 못하면 예찰이 전혀 불가능하다는 한계를 지니고 있어, 이를 보완한 '이동평균법'이 개발되었다(Ahn, 1998). 이는 일일평균 기온을 7일간 적산하여 평균한 값이 12°C 이상, 상대습도 5일 이동평균치 79% 이상 등 온도와 습도 조건 모두가 7일

간 연속되면 1~2주 사이에 병이 발생할 것으로 예측하였다. '이동평균법'에 의해 일부 조기에 예측되는 사례도 발생하였으나, 그래도 적중률이 비교적 높고 일반 기상정보로도 쉽게 예찰 가능하다는 장점이 있다. 또한, '이동평균법'의 경우 관행적으로 약제를 살포하는 기존의 방법에 비해 최소 3~4회 정도 살포회수를 줄일 수 있는 것으로 보고되었다.

그러므로, 예찰자의 입수가 가능한 기상자료의 종류에 따라서 'BLITECAST' 또는 '이동평균법'을 선별 혹은 조합하여 예찰하는 것이 권장되고 있다. 이와 같이, 감자역병에 대한 여러 예측모델들이 소개되었으나 예측된 감자역병 발생일에 맞춘 구체적 방제방법들에 대한 내용들은 포함되어 있지 않았으므로, 감자 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈을 개발하여 예측된 감자역병 발생일에 맞춰 적합한 방제방법들을 제시할 필요가 있다.

## V. 고찰

역병은 환경조건에 의해 발생 및 진전이 규칙적으로 이루어져 역병의 발생 예측이 가능하여 현재 여러 감자역병 예측 모델들이 개발되어 적용되고 있다. 그러나, 이들은 감자역병 발생일을 예측하여 방제시기를 제시하고 있으나 구체적 방제방법들에 대한 내용들은 포함하고 있지 않다. 그러므로, 본 연구에서는 감자 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제 모듈에 반영하기 위해 감자역병의 효율적 살균제 방제, 경제적 방제수준, 예측모형 등의 연구들에 대해 조사하였다.

감자역병균(*P. infestans*)에 효과적인 살균제들에 대해 알아보고, 효율적인 방제방법들에 대해 조사하였다. 최근에는 metalaxyl 저항성균을 방제하기 위하여 morpholin계의 살균제이며 병원균의 생합성을 저해하는 dimethomorph와 thiazolecarboxamide계의 살균제인 ethaboxam 등이 개발되어 역병 방제에 널리 사용되고 있고, 역병 발생 후에는 방제가 매우 어려우므로 비가 오기 전후로 7~10일 간격으로 살포하는 것이 권장되었다. 특히, 가을감자 재배시 역병 발생이 예상되는 10월초부터 10일 간격으로 예방약제를 살포하여 좋은 수량과 품질을 유지할 수 있는 것으로 보고되었다. 고려지의 경제적 방제수준은 2009년 수미 1.8, 대서 0.8, 하령 0.4로 설정되었으며, 수미는 식물체의 복엽 50매 중 발병된 복엽수가 2매가 될 때 방제를 시작하면 관

행방제에 비해 2회 이상 약제살포 회수를 줄일 수 있으며 대서와 하령은 한 장의 복엽이라도 감염을 확인하는 즉시 방제를 해야 하는 것으로 보고되었다. 감자역병에 대한 여러 예측모델들이 소개되었는데, 'BLITECAST'는 비교적 정확한 예찰은 가능하나 기상관측장치가 설치되어 있지 않은 경우에는 정확하게 측정할 수 없고, '이동그래프법'은 예찰 조건이 정확하게 부합되지 못하면 예찰이 전혀 불가능하다는 한계를 지니고 있으며, '이동평균법'은 조기에 예측되는 문제점도 발견되었으나 적중률이 비교적 높고 간단하다는 장점이 있으며, 관행적으로 약제를 살포하는 기존의 방법에 비해 적어도 3~4회 정도 회수를 줄일 수 있는 것으로 보고되었다. 예찰자의 입수가 가능한 기상자료의 종류에 따라서 'BLITECAST' 또는 '이동평균법'을 선별 혹은 조합하여 예찰하는 것이 권장되고 있다. 이러한 예측모델들은 감자역병 발생일을 예측하여 방제시기를 제시하고 있으나 구체적 방제방법들에 대한 내용들은 포함하고 있지 않으므로, 감자역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈을 제시하기 위해서는 예측된 감자역병 발생일에 맞춰 위의 선행 연구들의 적합한 방제방법들이 반영되어 구체적으로 제시될 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [10044889, 원예 작물의 전염병(역병) 발생 감시, 예보 및 확산 방지를 위한 실시간 웹기반 원예 전염병(역병) 감시/예측 시스템 개발]

## 참고 문헌

- Ahn JH, Hahm YI, Park EW. 1998. Development of 'Moving Average Method' for prediction of initial appearance of potato late blight. *Korean Journal of Plant Pathology* 14:34-40.
- Allen WA, Rajotte EG. 1990. The changing role of extension entomology in the IPM area. *Annual Review of Entomology* 35:379-397.
- Campbell CL, Madden LV. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley and Sons, Inc.
- Choi KS. 2007. Field evaluation of fungicides for controlling potato late blight and monitoring of fungicide resistance. Master Thesis, Konyang University, Daejeon, Korea.
- Choi GJ, Kim BS, Chung YR, Cho KY. 1992. Occurrence of

- metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora infestans* in potato fields in Korea. *Plant Pathology Journal* 8:34-40.
- Choi YH, Choi GJ, Kim BS, Jang KS, Yoon MY, Park MS, Kim JC. 2011. Control of late blight of tomato and potato by oilgochitosan. *Research in Plant Disease* 17:129-135.
- Crow WT, Weingartner DP, McSorley R, Dickson DW. 2000. Damage function and economic threshold for *Belonolaimus longicaudatus* on potato. *Journal of Nematology* 32:318-322.
- Daggett SS, Gotz E, Therrien CD. 1993. Phenotypic changes in population of *Phytophthora infestans* in potato and tomato leaves. *Phytopathology* 83:319-323.
- Delp CJ. 1988. Fungicide resistance in North America. APS Press.
- Dowley LJ, O'Sullivan E. 1981. Metalaxyl resistant strains of *Phytophthora infestans* de Bary in Ireland. *Potato Research* 24:417-421.
- Dowley LJ, Grant J, Griffin D. 2008. Yield losses caused by late blight in potato crops in Ireland. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 47:69-78.
- Ferro DN, Morzuch BJ, Margolies D. 1983. Crop loss assessment of the Colorado potato beetle on potatoes in Western Massachusetts. *Journal of Economic Entomology* 76:349-356.
- Francl LJ, Madden LV, Rowe RC, Riedel RM. 1987. Potato yield loss prediction and discrimination using preplant population densities of *Verticillium dahliae* and *Pratylenchus penetrans*. *Phytopathology* 77:579-584.
- Giddings NJ, Berg A. 1919. A comparison of the late blights of tomato and potato. *Phytopathology* 9:209-210.
- Hahm YI, Hahn BH, Fornckowiak JD. 1978. Forecasting late blight of potatoes at the alpine area in Korea. *Korean Journal of Plant Protection* 17:81-87.
- Hahm JH, Kim YJ, Hwang BK. 1991. Induction of resistance to metalaxyl of *Phytophthora capsici* by chemical mutagenesis. *Plant Pathology Journal* 7:915-919.
- Hwang BK. 1985. *Plant Medicine*. Tamgudang.
- Hwang EH. 2000. A forecasting model of *Phytophthora* Blight incidence in red pepper and it's computer system. Ph.D Thesis, Andong National University, Andong, Korea.
- Hyre RA. 1954. Progress in forecasting late blight of potato. *Plant Disease Report* 38:245-253.
- Jang BH, Kim HJ. 1998. *Encyclopedia potato intercession*. Sunjin Munhwasa.
- Kim JH. 2010. Research report of egg plant powdery mildew control level settings required. Research report of major pest weed control level settings required (2009).
- Kim JY, Hong SS, Lee JG, Park KY, Kim HG, Kim JW. 2006. Determinants of economic threshold for powdery mildew on cucumber. *Research in Plant Disease* 12:231-234.
- Ko SJ. 2010. Research report of tomato powdery mildew control level settings required. Research report of major pest weed control level settings required (2009).
- Krause RA, Massie LB, Hyre RA. 1975. BLITECAST: A computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Report* 59:95-98.
- Lee WH, So MS, Choi IY. 1994. Fungicide-resistance and mating type of *Phytophthora infestans* causing potato late blight. *Plant Pathology Journal* 10:192-196.
- Logan PA, Casagrande RA. 1980. Predicting colorado potato beetle density and potato yield loss. *Environmental Entomology* 9:659-663.
- MacKenzie DR. 1981. Scheduling fungicide applications for potato late blight with BLITECAST. *Journal of Plant Disease* 65:394-399.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010. Research report of major pest weed control level settings required (2009). 282 pp.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2011. Research report of major pest weed control level settings and economic damage analysis.
- Park YE, Cho HM, Cho JH, Cho KS, Kim HJ, Landeo J. 2011. Evaluation of late blight resistance and agronomic characteristics of short-day adapted potato germplasm. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 29:474-481.
- Pedigo LP, Hutchins SH, Higley LG. 1986. Economic injury level in theory and practice. *Annual Review of Entomology* 31:341-368.
- Petitt FL, Amilowitz Z. 1982. Green peach aphid feeding damage to potato in various plant growth stages. *Journal of Economic Entomology* 75:431-435.
- RDA (Rural Development Administration). 2011. Develop a small but strong agricultural operations manual for improving agricultural income by item (Potato).
- Ryu KY, Jee HJ, Choi DH, Cheon JU, Kim JT, Kim BS. 2005. Disease progress and yield loss of potato late blight caused by *Phytophthora infestans* in organic farming fields. *Research in Plant Disease* 11:122-127.
- Shrum RD. 1978. Forecasting of epidemics. *Plant Disease* 2: 223-238.
- Son CI. 2004. The occurrence of potato late blight, control of the actual and future prospects. Bachelor's thesis Korea University, Seoul, Korea.
- Stern VM, Smith RF, van den Bosch R, Hagen KS. 1959. The integrated control concept. *Hilgardia* 29:81-101.
- Stevenson WR. 1993. IPM for potatoes: A multifaceted approach to disease management and information delivery. *Journal of Plant Disease* 77:309-311.
- Wallin JR. 1962. Summary of recent progress in predicting late blight epidemics in United States and Canada. *American Journal of Potato Research*. 39:306-311.
- Yeh WH, Park HH, Nam YJ, Kim SA, Lee JH, Shim HS, Kim YK, Lee YH, Lee YH. 2008. Establishment of economic threshold by evaluation of yield component and yield damages caused by Rice Leaf Blast (*Magnaporthe grisea*). *Research in Plant Disease* 14:21-25.