한국식물병리학회지 14(2) : 150-156(1998)
Korean J. Plant Pathol. 14(2) : 150-156(1998)

배추 순무모자이크바이러스(TuMV)병 진전도 예측모형식 작성

안재훈* · 함영일
고령지농업시험장

Modeling for Prediction of the Turnip Mosaic Virus (TuMV) Progress of Chinese Cabbage

Jae-Hoon Ahn* and Young-Il Hahm
Alpine Agricultural Experiment Station, RDA, Pyongchang 232-950, Korea

ABSTRACT : To develop a model for prediction of turnip mosaic virus(TuMV) disease progress of Chinese cabbage based on weather information and number of TuMV vector aphids trapped in Taegwallyeong alpine area, data were statistically processed together. As the variables influenced on TuMV disease progress, cumulative portion(CPT) above 13°C in daily average temperature was the most significant, and solar radiation, duration of sunshine, vector aphids and cumulative temperature above 0° C were significant. When logistic model and Gompertz model were compared by determining goodness of fit for TuMV disease progress using CPT as independent variable, regression coefficient was higher in the logistic model than in the Gompertz model. Epidemic parameters, apparent infection rate and initial value of logistic model, were estimated by examining the relationship between disease proportion linearized by logit transformation equation, $\ln(Y/Y_f-Y)$ and CPT. Models abale to describe the progression of TuMV disease were formulated in $Y=100/(1+128.4 \cdot \exp(-0.013 \cdot CPT \cdot (1-(1/(1+66.7 \cdot \exp(-0.11 \cdot day))))))$. Calculated disease progress from the model was in good agreement with investigated actual disease progress showing high significance of the coefficient of determination with 0.710.

Key words **: Chinese cabbage, model, meteorology, TuMV.**

배추는 생육적온이 비교적 낮아 20°C 전후의 서늘한 기후를 좋아하는 저온성작물로서 하계 고온기에는 강원도 대관령 등 고랭지에서 주로 재배된다. 그러나 고랭지에서도 평난지와 같이 환경조건에 따라서 순무모자이크바이러스(Turnip mosaic virus : TuMV)에 의한 모자이크병 등 병발생이 빈발하여 연차간에 심한 수량차이를 보이고 있다.

식물 바이러스병의 발생 및 진전에는 환경조건, 특히 온도가 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데(10), 환경조건이 바이러스에 직접 작용하기보다는 매개충의 밀도와 식물체의 성숙저항성, 생리적인 나이 등 식물의 생장정도와 긴밀하게 관련되어 발병에 중대한 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(6, 22). TuMV 역시 식물체가 어릴수록 감염되기 쉬우며 병진전이 빨라 피해도 심한 반면 생육이 진전될수록 감염되기 어려운데 특히 결구기 이후에는 병진전도가 느려지고 피해도 적게된다(3, 24). 또한 TuMV와 같은 충매전염바이러스는 상처를 통한 즙액전염도 하지만 자연상태하에서는 주로 진딧물 특히 복숭아혹진딧물, 무테두리진딧물 등의 매개진딧물에 의하여 전염을 하므로 병발생 및 진전은 진딧물의 밀도와 밀접한 관련이 있다(7). 이와같이 모자이크병은 매개진딧물, 배추생장정도 등과 상호관련성이 깊고 이들은 개별적 혹은 복합적으로 일정한 환경, 특히 기상조건의 영향을 받아 병발생 및 진전이 이루어지는데 이들의 관계를 정량적으로 해석하기 위해서는 모형화기법이 유용하게 이용되고 있다(8, 28).

식물병의 일반적인 진전형태는 병초발생후 일정기간 동안 완만한 증가를 보이다가 어느 시기 이후 급격히 증가하여 일정 수준 이후에는 병진전속도가 둔화되거나 줄어드는 형태 즉 sigmoid 형태를 나타낸다. 이러한 곡선을 수리적으로 표현하기 위하여 logistic 모형과 Gompertz 모형이 많이 이용되는데 이때 환경조건, 기주(품종)저항성 등에 의하여 변하는 병의 진전속도가 중요한 변수로 작용한다(17, 26).

병의 진전도를 예측할 수 있는 모형식 작성을 위해서는 어떤 환경조건을 어떻게 가공하여 독립변수로 이용할 것인가를 결정하는 것이 중요하다. 일반적으로 병의 발생 및 진전에 중대한 영향을 미치는 기상환경을 누적시킨 자료를 독립변수로 하고 품종저항성, 방제방법 등 진전속도에 영향을 미칠 수 있는 요인을 parameter로 설정

*Corresponding author.

하여 모형식을 작성하게 된다(23).

바이러스병 예측모형식 작성에 관한 연구는 감자 바이러스를 중심으로 많이 수행되어 왔는데(5, 22), Bertschinger 등(5)은 감자 바이러스 병을 예측할 수 있는 시뮬레이션 모형을 작성한 바 있다. 즉 매일의 온도요인을 가공 · 누적시킨 생장도일(degree-days)을 독립변수로 하는 logistic 함수를 근간으로, 식물체의 생장정도에 따라 변하는 바이러스 감수성을 고려한 병진전도 모형식을 작성하였다. 그러나 배추 모자이크병을 예측할 수 있는 모형작성에 관한 연구 보고는 찾아볼 수 없다.

농업생산시스템의 정보화를 위해서는 병해충을 상시 · 조기 예측할 수 있는 각종 모형개발이 필요한 실정이다(11). 본 연구는 여름배추의 주생산지인 강원고랭지역을 대상으로 이 지역의 기상정보와 진딧물 비래상황을 이용하여 배추 모자이크병의 발병정도를 예측할 수 있는 모형작성을 목적으로 시도되었다.

재료 및 방법

이론식 및 모형선발. 작물생장 및 병해충의 동태를 예측할 수 있는 모형식작성을 위해서는 적합한 이론식 선발과 parameter 추정에 이어 모형의 실용성 검증 및 보완작업이 필요하다. Sigmoid 형태의 병진전곡선에서 진전속도를 계산하기 위해서는 곡선의 직선화가 필수적이다. 본 연구에서는 병진전정도를 잘 표현하는 것으로 알려진(4, 26) logistic 모형과 Gompertz 모형을 근간으로 어느 모형이 바이러스병의 진전정도를 잘 설명하는지를 비교하여 모자이크병의 진전도 예측에 적합한 모형식을 작성하였다.

시간 t에 따라서 변화하는 병진전정도 Y는 다음과 같은 logistic 함수로 표현될 수 있다.

$$Y=(Y_f/(1+\exp(-(b_0+b_1 \cdot t)))) \cdots\cdots (1)$$

단, Y_f는 Y의 최고치이고, b_0와 b_1은 곡선의 절편 및 기울기를 나타내는 parameter이다. (1) 식을 변환하면 다음과 같이 된다.

$$(Y_f-Y)/Y=\exp(-(b_0+b_1 \cdot t)) \cdots\cdots (2)$$

(2) 식에 자연대수를 취하여 logit 변환함수로 바꾸면

$$\ln(Y/(Y_f-Y))=b_0+b_1 \cdot t \cdots\cdots (3)$$

한편, Gompertz 모형식에 의하여 시간 t에 따라 변화하는 병진전정도 Y는 다음과 같이 된다.

$$Y=\exp(-b_0(\exp(b_1 \cdot t))) \cdots\cdots (4)$$

b_0와 b_1는 parameter이다. (4) 식은 다음과 같이 1차함수로 변환될 수 있다.

$$-\ln(-\ln(Y))=-\ln(b_0)+b_1 \cdot t \cdots\cdots (5)$$

배추 모자이크병의 진전곡선을 1차식으로 변환하기 위하여 선발된 변환함수, 즉 (3) 식의 $\ln(Y/(Y_f-Y))$ 및 (5) 식 $-\ln(-\ln(Y))$를 종속변수로 하고 시간 t를 독립변수로 하여 통계처리를 실시하였다. 통계적으로 작성된 회기식의 결정계수를 비교하여 logistic 함수와 Gompertz 모형식 중 어느 모형식이 모자이크병 진전도예측에 적합한지를 검토하였다.

바이러스 발병 및 진전에 중요한 요인으로 작용하는 감수성은 식물체의 생장정도에 따라 logistic 형태로 감소하는 것으로 보고되어 있는데(5), 본 연구에서는 정식후부터 일수에 따라서 변화하는 모형식을 작성하여 감수성정도를 나타내는 sub-model로 이용하였다.

즉, 식물체의 바이러스 감수성

$$Sur=(1-(1/(1+sub_0 \cdot \exp(-sub_1 \cdot day)))) \cdots\cdots (6)$$

최적변수 선발. 이론식의 시간변수 "t"대신에 들어갈 적절한 변수를 선발하기 위하여 모자이크병의 진전정도에 영향을 미칠 것으로 추정되는 여러 요인, 즉 당해년도의 기상환경요소와 진딧물 밀도를 대상으로 통계처리를 실시하였다. 통계처리는 모형의 최적회귀를 위한 독립변수 선택방법으로 현재 가장 유용하게 쓰이고 있는 변량증감법(stepwise method)을 이용하였다(18). 온도, 일사량(Total solar radiation; ST), 강수량(Precipitation; PR), 일조시수(Duration of sunshine; HS) 등의 기상요소를 정식후부터 적산하여 통계자료로 이용하였다. 특히 온도조건은 바이러스병의 발병에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데, 본 연구에서는 생장도일(degree-days), 즉 일일기온중 생장에 유효한 부분만을 누적시킨 thermal time (14)을 이용하였다. 이때 중요한 것은 기준온도인데 적산온도 계산시 많이 이용되는 0℃(Cumulated temperature above 0℃; TC)와 진딧물 활동최저온도로 알려진(21) 13℃(Cumulative portion above 13℃ in daily average temperature : CPT)를 base temperature로 하여 그 이상의 부분을 적산한 자료도 함께 취급하여 어떤 요인이 모자이크병 발병에 중요한 영향을 미치는지를 조사하였다.

비래진딧물은 고령지농업시험장 구내에 황색수반을 설치, 매일 오전 10시경에 채집, 해부현미경하에서 종류별로 분류하였으며 복숭아혹, 목화, 감자수염, 싸리수염, 무테두리진딧물 등의 매개진딧물(12, 20)과 총진딧물을 대상으로 하여 채집 조사하였다(9). 진딧물은 多重共線性 문제 때문에 사전조사에서 매개진딧물에 비하여 유의성이 낮았던 총진딧물을 제거하고 통계처리를 실시하였다.

모자이크병의 발병정도는 1993부터 1996년도까지 4개

년에 걸쳐서 대관령 지역 배추포장에서 TuMV에 감수성인 '고냉지여름배추' 품종을 주대상으로 100주를 기본주수로 하여 4반복으로 달관조사하였다. 기상자료는 강릉지방기상청 대관령기상관측소의 자료를 이용하였고 통계처리는 SAS program package를 이용하였다.

모형검증. 작성된 예측모형의 적용 가능성을 알아보기 위하여 '고냉지여름배추'를 공시하여 1997년 농진청 고령지농업시험장 대관령포장(해발 800 m)에서 파종기를 5월 10일, 6월 10일, 7월 11일로 달리하여 시험을 실시하였다. 시설내에서 200공 pot에 파종, 본엽 3-4엽기에 노지정식하여 7월 31일, 8월 26일, 10월 5일 각각 수확하였다. 시험구는 가로 375 cm, 세로 900 cm로 하고 재식거리는 75×45 cm로, 10 a당 시비량은 N 32 kg, P_2O_5 8 kg, K_2O 20 kg을 기비 및 분할시비하였고, 퇴비 2,000 kg과 붕사 15 kg을 전량 기비로 시용하였다. 시험구배치는 난괴법 3반복으로 하였다. 배추포장에서의 실제 병발생정도와 모형식에서 예측된 결과를 비교검토하였다.

결과 및 고찰

기상 및 진딧물. 1993년도부터 1996년도까지 대관령지역의 온도, 강수량, 일사량, 일조시수 등 기상상태와 비래진딧물 자료를 정리한 결과가 Table 1에 나타나 있다. 모자이크병의 발병에 중대한 영향을 미치는 것으로 알려진 (1,9) 7월의 0°C이상 순별평균기온은 1994년도에 21.7-22.6°C로 다른 해에 비하여 현저히 높았고, 1993년도에는 다른 해에 비하여 생육기간중 낮은 결과를 보였다. 13°C이상 평균기온 역시 이와 비슷한 결과였다. 강수량은 1994년도에 가장 적었던 반면 1993년도에 가장 많이 기록되었다.

바이러스를 매개하는 비래진딧물은 연차간에 변이가 심하게 나타났는데 총진딧물과 매개진딧물 모두 1993년도에는 다른 해에 비하여 현저히 적었으나 1994년도에는 많이 채집되어 이들이 바이러스 감염에 중대한 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 또한 진딧물 비래형태는 대부분의 연도에서 6월 중하순과 8월 상중순에서 peak를 나타내고 있는데 이는 장마 등의 기상조건과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 이런 현상은 백(20)의 보고내용과 거의 일치되고 있는데 총진딧물 뿐만 아니라 virus 매개 진딧물에서도 같은 양상을 나타내고 있다.

모자이크병 진전도. 1993년부터 1996년까지 배추 모자이크병의 진전도가 Fig. 1에 나타나 있다. 조사된 모든 해에서 발병되었는데 초발생시기는 7월 하순부터 8월 상순경이었다. 병진전정도는 연차에 따라서 변이폭이 심하

Table 1. Changes in weather conditions and number of aphids trapped in Taegwallyeong area during 1993 to 1996

Year		Jun.			Jul.			Aug.			Sep.		
		E[z]	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L
1993	TAP[y]	32	39	6	27	9	4	5	81	29	47	122	140
	VAP[x]	1	4	3	10	6	1	1	27	8	2	2	0
	TC[w]	13.4	16.9	15.9	16.4	15.1	14.9	14.8	17.3	16.2	13.6	15.6	11.4
	TP[v]	1.2	3.9	3.1	3.4	2.3	2.1	1.9	4.3	3.2	0.6	2.6	0.1
	PR[u]	93	71	120	30	348	125	475	10.3	147	13.0	54.4	2.6
1994	TAP	583	1140	309	63	10	22	671	42	16	11	30	68
	VAP	187	309	155	10	6	5	526	9	8	1	0	2
	TC	14.5	15.2	17.6	21.7	22.6	21.8	23.2	21.4	18.7	18.1	13.5	11.0
	TP	2.0	3.0	4.6	8.7	9.6	8.8	10.2	8.4	5.7	5.1	0.8	0.0
	PR	0.4	153	121	97.2	37.0	49.7	150	19.6	79.5	12.0	34.7	1.8
1995	TAP	39	134	97	174	77	29	182	44	43	26	70	235
	VAP	28	87	59	95	40	8	61	12	29	12	13	101
	TC	11.2	12.5	15.1	18.0	18.5	21.4	22.0	21.6	18.6	15.7	11.0	12.2
	TP	0.2	3.4	2.3	8.0	5.5	8.4	9.0	8.6	5.6	2.7	0.1	0.4
	PR	77.0	32.9	50.7	80.4	113	20.0	91.9	114	280	25.4	30.5	54.0
1996	TAP	615	180	186	184	188	54	89	115	32	113	52	74
	VAP	95	28	88	62	60	27	15	17	3	27	23	109
	TC	15.7	15.9	15.0	13.8	18.5	21.6	20.9	20.2	14.7	14.7	14.8	12.5
	TP	2.8	3.0	2.2	1.8	4.3	8.6	7.9	7.2	1.8	6.5	1.8	0.6
	PR	13.8	206	108	124	37.7	111	5.7	5.9	222	6.9	42.5	3.8

z : E:Early, M : Middle, L:Late.
y : Number of total aphids. x : Number of vector aphids.
w : Portion above 0°C in daily average temperature (°C).
v : Portion above 13°C in daily average temperature (°C).
u : Cumulative precipitation(mm).

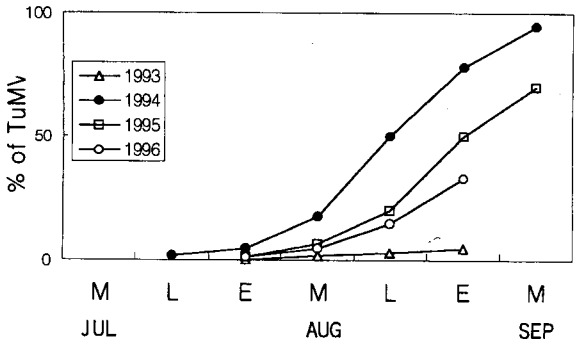

Fig. 1. Changes in percentage of TuMV infected Chinese cabbage during growing period in Taegwallyeong area, 1993 to 1996.

여 1994년은 병진전속도도 빠르고 진전정도가 95%까지 발병되었던 반면 1993년은 미미한 발병을 보였다. 모자이크병의 발생이 심하였던 1994년은 진딧물 수가 많았고 강수량은 적었는데, 발병율이 낮았던 1993년은 배추 생육기간인 6월부터 9월까지 1,489 mm의 많은 강우량이 내려 대관령지역의 1년치 정도를 기록하였다.

변수선발. 기상환경을 구동변수로 하여 작물생장 혹은 병해충을 예측할 수 있는 모형 작성시 대부분 시간변수 대신에 기상자료를 가공, 누적시킨 자료를 독립변수로 이용하는 경우가 많다(27, 28). 진딧물 및 기상요소(Table 1)를 독립변수로 배추 모자이크병의 발병정도(Fig. 1)를 통계적으로 설명할 수 있는 적정변수 선발 및 최적변수 조합을 위하여 SAS 프로그램의 STEPWISE procedure 방법을 이용하여 통계처리한 결과가 Table 2에 나타나 있다. 변수가 하나일 경우 온도, 일조시수, 일사량, 매개진딧물 등에서 유의성이 인정되었으나 온도조건, 특히 13°C이상의 누적조건(CPT)에서 Mallows Cp값(19)이 parameter의 갯수에 접근하고 결정계수가 0.767로 가장 높아 CPT가 모자이크병의 진전도를 설명할 수 있는 적정 변수로 판단되었다. 13°C 온도조건은 배추의 생장 및 진딧물의 동태와 밀접하게 관련이 되어 있는 것으로 생각된다. 즉 13°C 이상의 온도조건은 진딧물이 비래하여 활동을 시작하는 조건(21)으로 31°C까지 온도가 높을수록 증식과 TuMV의 전염력이 높아지며(10) 또한 이러한 온도조건은 배추 발육 · 생장과 무관하지 않은 것으로 생각된다. 실제 강원 대관령지역에 진딧물의 비래가 본격적으로 이루어 지는 5월의 평년평균기온은 12°C 전후로(15, 16) 본 연구결과와 좋은 관련을 보이고 있다.

Table 2. Regression statistics for progress of Chinese cabbage TuMV-weather model selection in Taegwallyeong area

Number	R^2	C(p)	Variables
1	0.767	-0.6	Temperature above 13°C (CPT)
1	0.701	3.2	Temperature above 0°C (TC)
1	0.651	6.2	Solar radiation (ST)
1	0.603	9.0	Duration of sunshine (HS)
1	0.549	12.1	Vector aphid (VAP)
1	0.012	43.0	Precipitation (PR)
2	0.775	1.0	CPT ST
2	0.770	1.3	CPT HS
2	0.770	1.3	CPT PR
2	0.769	1.4	TC PR
2	0.768	1.4	AP TP
2	0.765	1.6	AP ST
3	0.782	2.6	AP TP ST
3	0.779	2.9	TC HS PR
3	0.775	3.0	CPT HS ST
3	0.775	3.0	CPT PR ST
3	0.774	3.0	AP CPT HS
3	0.773	3.1	AP TC PR

Table 1에서 선발된 CPT를 독립변수로 하여 1993년부터 1996년까지 4년간의 모자이크병 진전정도(Fig. 1)를 알아 보았다(Fig. 2). 정식후 일수를 독립변수로 취하였 경우 병의 진전정도는 연차간에 심한 차이를 나타냈으나(Fig. 1) CPT를 독립변수로 이용하였을 때에는 연차간의 변이를 극복하면서 초기 완만한 증가를 보이다가 CPT가 300°C 정도후부터 급격히 증가되는 2차곡선을 나타냈다. 이와같이 재배년도나 파종기 등 환경조건에 따라서 다르게 나타나는 병반응정도를 정량적으로 파악하여 이들간의 규칙성을 수리적으로 표현하기 위해서는 병-환경간의 관계를 설명할 수 있는 특정한 환경요인 선발이 중요한데, 본 연구에서 선발된 CPT는 연차간에 다르게 나타나는 모자이크병의 진전정도를 설명할 수 있는 적절한 독립변수로 판단되었다.

적정 모형선발 및 parameter 추정. Logistic 모형과 Gompertz 모형 중 어느 모형이 모자이크병 예측에 적합한지를 알아보기 위하여 logit 변환함수 $\ln(Y/Y_f-Y)$와 Gompit 변환함수 $-\ln(-\ln(Y))$를 이용하여 Fig. 2에 나타난 모자이크병의 진전도를 1차함수로 변환시켜서 CPT

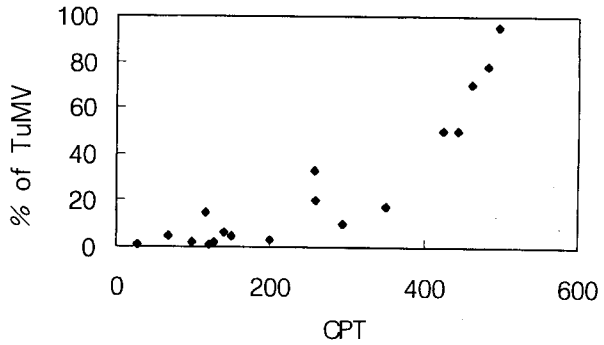

Fig. 2. Relation between percentage of TuMV infected and cumulative portion above 13°C in daily average temperature (CPT) during growing period in Taegwallyeong area, 1993 to 1996.

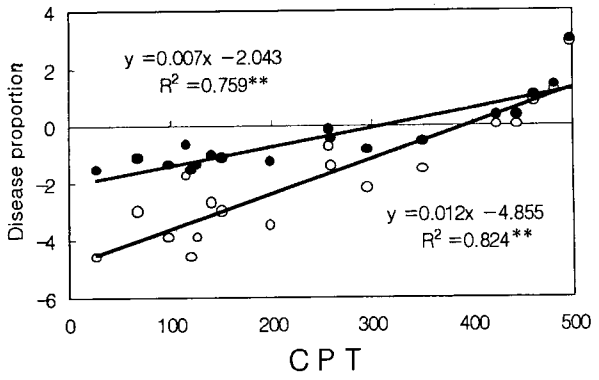

Fig. 3. Comparison of coefficients of determination between TuMV proportions transformed by the logistic (logit) and Gompertz model (Gompit) and cumulative portion (CPT) above 13° in daily average temperature. (○) : LOGIT, (●) : COMPIT.

와의 관계를 조사하여 보았다. Fig. 3에 나타나 있는 바와 같이 두 변환함수 모두에서 고도의 상관을 보였으나 결정계수는 Gompit 변환함수 0.759 보다 logit 변환함수에서 0.824로 높게 나타났다.

Tooley 등(25)은 감자 역병의 진전정도를 기존의 전형화된 여러 모형식에 대입시켜 본 결과 logistic 함수에서 가장 높은 상관관계를 나타냈다고 보고하여 본 연구결과와 같은 결과를 보였던 반면, Berger(4)는 logistic 함수 보다는 Gompertz 모형이 병예측 모형으로 적합한 것으로 보고하여(13) 본 연구와는 상반되는 결과였다. 이와같이 본 연구와 기존의 연구결과(4, 13)와 서로 다르게 나타난 원인은 대상으로 하는 병해의 종류가 다른 데에서 기인된 결과로 생각된다. 즉 본 연구에서는 진딧물에 의하여 충매전염하는 배추 모자이크병을 대상으로 하였는데 Berger(4)와 Kim(13) 등의 연구에서는 주로 공기전염하는 곰팡이병을 대상으로 수행되어 이들의 전염기작과 환경반응정도가 다르고 이에 따라 병진전속도도 다르게 나타나 이에 적합한 모형도 다르게 나타났을 것으로 생각된다.

환경-생물 모형작성시에 주로 이용되는 parameter는 생화학적인 속도상수, 즉 효소반응속도, 식물조직내에서의 각종 물질의 전류속도 등이 이에 해당되는데 이들은 동일조직 및 種內에서는 시간 및 실험조건에 따라서 변하지 않는 일정한 수치이다(2, 8. 23). 본 연구에서 추정해야할 parameter는 병의 초기치 및 진전속도를 나타내는 b_0와 b_1, 성숙저항성의 요인 등이 이에 해당되는데, 이중 병의 진전속도가 중요한 요인으로 작용한다. 본 연구에서 배추모자이크병의 진전도 예측에 적합한 모형으로 선발된 logistic 함수를 기본으로 하여 이론식 (1) 식의 parameter b_0, b_1를 추정하였다. Fig. 3에 나타나 있는 바와 같이 logit 변환함수 $\ln(Y/Y_f-Y)$와 CPT간에는 절편상수 4.855, 기울기 즉 병진전속도는 0.012을 보이며 고도의 상관관계를 나타냈는데 이들을 (1) 식의 parameter b_0, b_1로 결정하였다.

배추의 생육정도에 따라서 변화하는 모자이크병의 성숙저항성은 병의 진전속도에 영향을 미치는데 성숙저항성 sur와 본 연구에서 추정된 parameter를 이용하여 작성된 모형식은 다음과 같다.

$$Y=100/(1+128.4 \cdot \exp(-0.012 \cdot CPT \cdot sur)) \cdots (7)$$

성숙저항성 sub-model(6식)은 Bertschinger(5)가 감자 바이러스 시뮬레이션 모형작성시 이용한 함수, 즉 정식후 0.98에서 생육의 진전과 함께 0까지, 0.11의 기울기로 감소하는 logistic 함수를 이용하였다.

$$sur=(1-(1/(1+66.7 \cdot \exp(-0.11 \cdot day)))) \cdots\cdots (8)$$

(8) 식을 (7) 식에 대입하여 배추 모자이크병의 진전도를 예측할 수 있는 모형식(9식)을 작성하였다.

$$Y=100/(1+128.4 \cdot \exp(-0.013 \cdot CPT \cdot (1-(1/(1+66.7 \cdot \exp(-0.11 \cdot day)))))) \cdots\cdots (9)$$

모형 검증. 작성된 모형식의 적합성을 검토하기 위하여 1997년도에 파종기를 달리하여 대관령 고랭지에서 포장실험을 실시하였다. 정식일부터 매일의 최고 · 최저기온을 입력변수로 계산된 CPT의 변화를 배추 정식후부터 수확기까지 경시적으로 조사하여 본 결과는 Fig. 4에 나타나 있다. CPT는 모든 파종기에서 정식후부터 직선적으로 증가하여, 수확시에는 6월10일 파종시 357로 가장 높았고 7월11일 파종시에 220.1로 가장 낮았다. 그러나 모자이크병의 발병에 가장 중대한 영향을 미치는 정식후 초기의 CPT의 증가속도는 7월11일 파종시에 가장 빠른 것으로 나타났다.

배추 모자이크병 예측 모형식으로 부터 계산된 추정치와 실제 실험포장에서 조사한 병진전정도를 비교한 결과는 Fig. 5에 나타나 있다. 예측치는 파종기에 따라 변화하는 병진전정도를 비교적 잘 따르고 있다. 그러나 전반

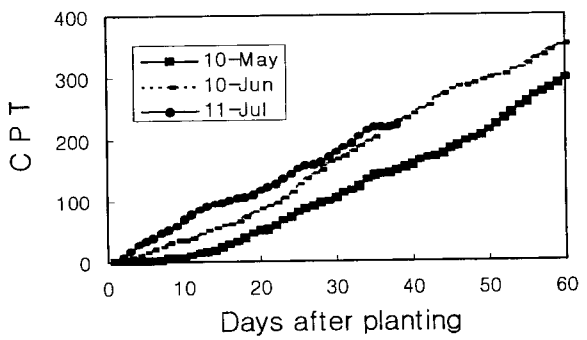

Fig. 4. Changes in cumulative portion above 13°C in daily average temperature (CPT) on three sowing date during growing period of Chinese cabbage in Taegwallyeong area, 1997.

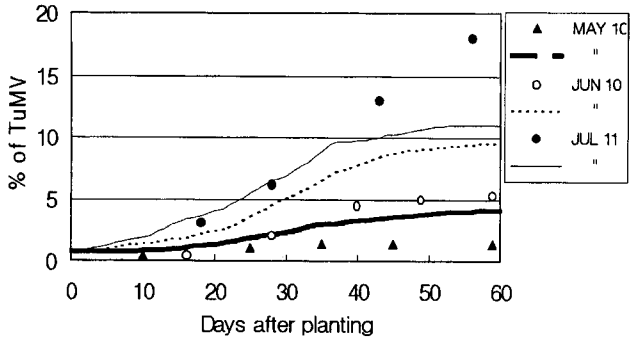

Fig. 5. Comparisons between investigated and calculated progression of TuMV infected Chinese cabbage on three sowing date during growing period in Taegwallyeong area, 1997.

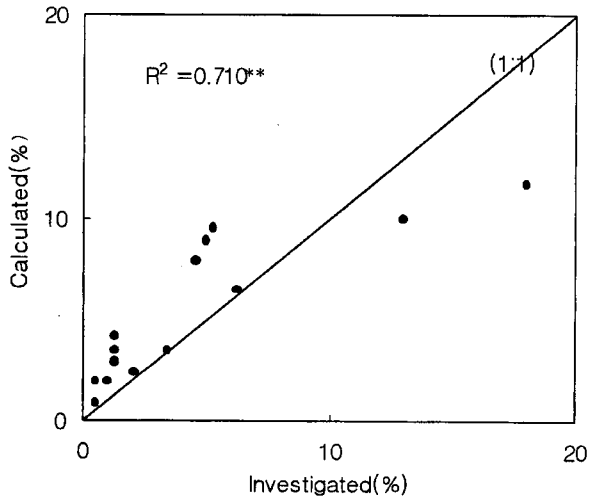

Fig. 6. Relationship between investigated and calculated progression of TuMV infected Chinese cabbage during growing period in Taegwallyeong area, 1997.

적으로 다소 과대추정, 즉 추정치가 조사치 보다 높게 나타나는 경향을 보이고 있으나 이와는 반대로 7월 11일 파종시에는 결구기 이후에 과소추정되었다. 이러한 결과는 모형작성 초기단계에서 흔히 나타나는 현상으로 추정된 parameter의 적합성 외에 모형을 단순화하기 위하여 고려된 요인의 한계성도 문제점으로 작용하였을 것으로 생각된다. 향후 parameter의 검증, 변환 등 모형의 개선 연구를 통하여 수정보완될 것으로 기대한다.

이러한 결과를 1:1 수준으로 비교하여 보았을 때 전체적으로 결정계수가 0.710으로 높은 상관을 보여(Fig. 6), 기상정보 특히 온도조건만으로도 배추 모자이크병의 진전도를 예측할 수 있다는 가능성을 확인하였다.

특수한 환경조건을 최대한 활용하여 농업활동이 이루어지는 고랭지에서는 각종 병해충의 발생가능성이 상존하고 있다. 타작물에서와 같이 배추 역시 적기적작시 바이러스는 심하게 문제되지 않지만 무리한 환경조건하에서의 재배시 각종 장해가 빈발한다. 본 연구는 기상환경조건을 이용하여 바이러스를 예측할 수 있는 모형작성의 초보적 단계에 불과하다. 여름배추의 안정생산 나아가 농업생산시스템의 정보화를 위해서는 지역의 환경자원량의 정확한 분석과 함께 생장모형 그리고 각종 병해충을 조기, 상시 예측가능한 종합적인 프로그램이 개발되어야 할 것으로 생각되었다.

요 약

강원 고랭지의 주작물인 배추 수량형성에 중대한 영향을 미치는 배추 모자이크(TuMV)병을 예측할 수 있는 모형작성을 위하여 기상조건과 비래진딧물을 변수로 통계처리를 실시하였다. 모자이크병의 진전정도에 영향하는 주요한 요인은 13°C 이상부분을 적산한 온도조건(CPT)으로 이를 독립변수로 취하였을 때 결정계수가 가장 높았고 일조시수, 일사량, 매개진딧물에서도 유의성이 인정되었다. 모자이크병 진전도 예측에 적합한 모형식을 선발하기 위하여 CPT를 독립변수로 하고 병의 발병정도에 logistic 모형과 Gompertz 모형을 fitting시켜 보았던 결과 logistic 함수에서 결정계수가 높았다. Logistic 곡선함수를 1차함수화한 logit 변환함수 $\ln(Y/Y_f-Y)$와 CPT 간의 관계를 조사하여 모형의 초기치 및 병진전속도를 설명하는 parameter를 추정하여 배추모자이크병 진전정도 Y를 예측할 수 있는 모형식을 작성하였다. $Y=100/(1+128.4 \cdot \exp(-0.013 \cdot CPT \cdot (1-(1/(1+66.7 \cdot \exp(-0.11 \cdot day))))))$. 모형식으로 부터 계산된 예측치와 실제 실험포장에서 조사한 병진전정도를 비교한 결과 예측치는 병진전정도를 비교적 잘 따르고 있고, 1:1비교시 결정계수가 0.710으로 높은 상관을 보여 기상정보 특히 온도조건만으로도 배추모자이크병의 진전도를 예측할 수 있는 모형식을 작성하였다.

참고문헌

1. 안재훈, 함영일, 이정명. 1994. 피복재료 및 기상환경이 배추 수량 및 바이러스 병 에 미치는 영향. 농업논문집 36(2) :349-356.
2. 안재훈, 이정명, 윤진일, 함영일, 김병현, 엄영현, 김정간. 1996. 기상정보에 의한 감자 생장 및 수량예측 모델링. I. 이론식 작성 및 parameter 추정. 농업논문집 38(2):331 - 344.
3. Beemster, A. B. R. 1958. Viruses of potatoes and seed-potato production. 11. virus translocation in potato plants and mature-plant resistance. Pudoc, Wageningen. p.144-151.
4. Berger, R. D. 1981. Comparison of Gompertz and logistic equations to describe plant disease progress. *Phytopathology* 71(7):716-719.
5. Bertschinger, L ., Keller, E. R., and C. Gessler. 1995. Delvelopment of EPIVIT, a simulation model for contact- and aphid- transmitted potato viruses. *Phytopathology* 85:801-

814.
6. 최장경, 장무웅, 이재열. 1996. 식물바이러스학. 향문사. pp. 325.
7. Dixon, A. E. G. 1978. Biology of Aphids. The Camelot, Southampton, p. 24-30.
8. France, J. and Thornley, J. H. M. 1984. Mathematical model in agriculture. Butterworth, London, 80-81.
9. 함영일, 1995. 최근 강원도 고냉지 무, 배추바이러스(TuMV)병 발생. 식물병과 농업 1(1) : 45-46.
10. 平井篤造, 四方英四郎, 高橋 壯, 都丸敬一. 1988. 新編植物ウイルス學. 養賢堂. pp. 351.
11. 堀江 武. 1988. 營農技術の情報システム化研究會 講演要旨集. 農林水産省農業研究 センタ-. p.1-19.
12. Kennedy J. S., Day, M. F. and Eastop, V. F. 1962. A conspectous of aphids as vectors of plant viruses. Commonwealth Inst. Entomol., London, p. 34-35.
13. Kim C. H. 1987. A flexible statistical growth model for describing plant disease progress. *Korean J. Plant Prot.* 26(1) : 31-36.
14. Kirk, W. W. and Marshall, B. 1992. The influence of temperature on leaf development and growth in potatoes in controlled environments. *Ann. Appl. Biol.* 120 : 511-525.
15. 기상청. 1991. 한국기후표. 제1권. 11pp.
16. 과학기술처. 1993. 기상정보에 의한 지역농업생산력 및 병해충 예측기술 개발. p. 96.
17. Lebeurier, G. and Hirth, L. 1966. Effect of elevated temperatures on the development of two strains of tobacco mosaic virus. *Virology* 29 : 385-395.
18. 이영만, 채영암, 구자옥, 서학수. 1991. 응용생물통계학. 향문사. p. 76.
19. Mallws, C. L. 1973. Some comments on Cp. Technometrics 15 : 661-675.
20. 백운하. 1975. 씨감자 평난지 생산방안에 관한 연구. 한국식물보호학회지 14 : 81-88.
21. Raman, K. V. 1985. Technical Information Bulletin. 2. Transmission of potato viruses aphids. CIP, Lima. p.7.
22. Sigvald, R. 1985. Mature-plant resistance of plants against potato virus Y^0 (PVY^0). *Potato Research* 28 : 135-143.
23. Thornley, J. H. M. 1976. Mathematical models in plant physiology. Academic Press, London. pp. 8-11.
24. Tomlinson., J. A. 1970. Turnip Mosaic Virus. CMI/AAB Description of Plant Virus No.8.
25. Tooley, P. W., Sweigard, J. A. and Fry, W. E. 1986. Fitness and virulence of *Phytophthora infestans* isolalates sexual and asexual populations. *Phytopathology* 76 : 1209-1212.
26. Vanderplank, J. E. 1963. Plant disease : Epidemics and control. Academic Press, N.Y. pp. 349.
27. Weiss, A. 1989. Climate and agriculture : Systems approach to decision making. Amer. Meteo. Society.
28. Wit, C. T. de and Goudriaan, J. 1974. Simulation of ecological processes. Pudoc, Wageningen. 176pp.

(Received February 22, 1998)