

오이의 주요 병 및 영양 장애 진단 전문가 시스템 개발⁺

Development of Expert System for Diagnosis of Cucumber's Diseases and Nutritional Disorders

조성인*	박은우**	배영민*	김승찬***	신광훈****
정회원		정회원	정회원	
S. I. Cho	E. W. Park	Y. M. Bae	S. C. Kim	K. H. Shin

ABSTRACT

An expert system to diagnose cucumber's diseases and nutritional disorders(ESCD) was developed using HCLIPS. The knowledge base was made through interviews with farmers who had cultivated cucumbers for years and experts who had a specialty of cucumber's diseases and disorders. The photographs of cucumber's diseases and nutritional disorders were used to assist users to comprehend queries of the ESCD.

The ESCD was able to diagnose 11 fungal and bacterial diseases and 10 nutritional disorders, which could be frequently found in the fields and greenhouses. Diagnosis accuracy of the developed ESCD was validated by the farmers and the expert who joined the development.

주요용어(Key Words): 전문가 시스템(expert system), HCLIPS, 오이(cucumber), 진단(diagnosis), 병해(diseases), 영양 장애(nutritional disorders)

1. 서 론

오이는 고수익성으로 인해 1990년 약 7,000ha에서 현재 약 8,700ha로 재배면적이 확대되었고, 온실 재배 기술의 발달로 인해 단위 면적당 생산량도 지속적으로 증가하고 있다. 또한, 벼 농사로부터의 전업이나 실직자 귀농으로 인하여 시설 오이 재배 농가가 점차 늘어나고 있다. 그러나, 재배자의 경험 부족으로 오이의 여러 가지 병해와 영양 장애에 대한 적

절한 방제 대책을 세우지 못해 적잖은 손실을 입고 있다. 따라서, 오이의 병해 및 영양 장애를 신속하고 정확하게 진단하여 재배 생산성을 높일 수 있는 적절한 대책이 필요하다. 현실적으로는 다년간 오이를 재배한 농민이나 농약 판매상 및 농촌 지도소 직원 등 오이 재배 전문가들의 도움을 받아 병해를 진단하고 대책을 마련하고 있는데, 시간적·공간적 제한으로 인해 오이 병해 및 영양 장애에 대한 신속한 대응이 용이하지 않다. 따라서, 이들 오이 재배 전문가

⁺ 본 연구는 1995년도 농림부 현장애로기술연구사업의 지원으로 수행되었음.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

** 서울대학교 농생물학과

*** Agricultural Engineering, Texas A&M University

**** 미성농약공업주식회사

들의 병해 진단에 관한 경험적 지식을 체계화하여 활용한다면, 비전문가에 의한 오이 재배에 도움을 줄 수 있을 것이다.

전문가시스템은 일정 분야에 대한 전문적인 지식과 다년간의 경험을 가진 전문가가 당면한 문제를 지능적(知的)으로 해결하는 과정을 컴퓨터로 구현한 것으로, 지식베이스(knowledge base), 추론 엔진(inference engine), 사용자 인터페이스(user-interface)로 구성되며 사용자에게 해당 영역의 지식을 제공하기 위해 데이터베이스도 추가될 수 있다(조성인, 1995).

최근, 이러한 전문가시스템을 농업의 각 방면에도 도입하려는 연구가 많이 진행되고 있다. 외국에서는 쿡(Michalski et al., 1983), 담배(Donohue et al., 1988), 델론(Latin et al., 1990) 등의 병해 진단 및 처방에 관한 전문가시스템을 개발한 사례가 있다. 국내에서는 이 등(1982)이 75개의 작물에 발생하는 268개 병에 대한 검색 조건과 검색 코드를 작성하고 BASIC 언어를 이용하여 병해 임상진단 프로그램을 작성한 바 있으나, 전문가시스템의 개발로는 연결되지 못하였다. 조 등(1994)은 수박에서 발생하는 주요 병해와 진단 및 방제를 위한 전문가시스템으로 WDES를 개발하였으며, 박과 조(1994)는 국내에서 재배하는 포도의 주요 병해를 진단하고 방제 대책을 제시하는 전문가시스템인 ESGD를 개발하였다. 그리고 작물의 병해 진단 이외에 농업기계 선정용 전문가시스템이 개발된 사례도 있다(이용범 등, 1997).

이와 같이, 전문가시스템은 전문가들의 경험적 지식이 문제 해결에 중요한 역할을 하는 분야에 많이 활용되고 있으며, 오이 병해 및 영양 장애 진단에 전문가시스템을 도입하여 활용하면, 오이 재배 농가는 병해로 인한 손실을 줄일 수 있으며 소득도 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 오이에서 나타나는 노균병 등 11가지 병해와 붕소 결핍증 등 12가지 영양 장애의 진단을 위한 전문가시스템을 개발하고자 하였다.

이를 위해, 오이 재배 전문가 및 농민들과의 접견을 통해 지식베이스와 영상 및 문서 데이터베이스를 구축하여 전문가시스템을 구현하고, 진단의 정확도에 대한 검증을 수행하였다.

2. 자료 및 방법

가. 추론 엔진 및 사용자 인터페이스

본 연구에서는 전문가시스템의 개발 도구로 CLIPS에 한글 사용자 인터페이스를 추가한 HCLIPS(조와 김, 1993)를 이용하였다. CLIPS는 미국 NASA에서 개발된 범용 전문가시스템 개발 도구로 순방향 추론을 수행하는 추론 엔진을 가지고 있으며, 지식 표현법은 "IF-, THEN-" 형식의 production 규칙을 지원한다(Giarratano and Riley, 1994). HCLIPS의 사용자 인터페이스는 한글 입출력 기능과 도움말 / 도움그림 기능을 제공하고 있기 때문에, 사용자의 이해도를 향상시킬 수 있으며 이의 활용으로 전문가시스템의 개발 시간을 단축시킬 수 있다.

나. 병해 및 영양 장애 진단용 지식베이스 구축

지식베이스는 전문가시스템의 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 부분으로 전문가들의 경험적 지식을 적절한 지식표현법으로 체계화시킨 것이다. 여기서는, 오이 병해 및 영양 장애 지식베이스의 구축을 위한 경험적 지식을 축적하기 위해, 4~12년 정도의 오이 재배 경험이 있는 농민 및 농약 판매상 등을 대상으로 하여 접견을 수행하였다. 접견은 미리 마련한 질문용 설문지를 위주로 하여 병해 및 영양 장애의 진단뿐만 아니라 농약의 사용 기준 등에 대한 내용까지 자유로운 대화의 형식으로 이루어졌다. 접견 대상자들은 오이에 발생하는 병해에 대한 나름대로

의 진단 기준을 가지고 있었으며, 구별하기 어려운 미세한 증상에 대해서는 약간의 차이가 있었지만 대부분 일치된 의견을 가지고 있었다.

축적된 경험적 지식은 자유로운 대화에서 요약된 것이기 때문에 이를 실용적·학술적인 면에서 가치 있는 지식으로 변환하기 위해서, 오이 병해 및 영양 장애 도감(최귀문 등, 1995) 등의 문헌 자료 조사를 통해서 보완하였다.

위의 과정을 통해 얻은 전문가들의 경험적 지식은 지식베이스 구축에 용이하도록 표 형태의 원시자료로 정리하였다(표 1, 표 2). 각 원시 자료는 가로축에는 진단되는 병해 또는 영양 장애가, 세로축에는 세부적인 병징 묘사로 이루어져 있으며, 병징에 따른 병해 및 영양 장애의 진단 확신 정도를 네 단계로 구분하여 표시하였다. 표 1은 오이의 병해 진단을 위한 원시자료로 잘록병, 노균병, 반점세균병, 탄저병, 검은별무늬병, 덩굴마름병, 덩굴쪄짐병, 흰가루병, 역병, 잿빛곰팡이병, 균핵병 등 11가지 병해에 대한 발생 환경, 발생 부위, 세부적인 병징 등에 대한 정보가 포함되어 있다. 표 2는 영양 장애 진단 지식베이스의 원시자료이며, N, Mn, Zn, B 등의 양분 과다와 N, P, B, Mn, Mg, Zn, Ca, K 등의 양분부족에 대한 병징 정보가 포함되어 있다.

원시 자료를 근거로 하여 HCLIPS에서 지원하는 지식표현법인 "IF-, THEN-" 형식의 지식베이스를 구축하였다. 다음은 작성된 지식베이스의 한 예이다.

```
(defrule G-RULE-5)
  (DIPLACE? "줄기(지체부, 성장점 포함)")
  (GRSTATE? "정식 전")
  (SYMPTOM? "비정상적인 어린 싹" | "신장위축") =>
  (assert (DISTATE DIST-5))
  (assert (DISEASE "혹성병" df 75))
)
```

각 병징에 대한 병해의 진단 정도를 수치화하기

위해서 원시자료에서 정리된 확신 정도를 참조하여 확신도(certainty factor)를 결정하였다.

다. 병해 및 영양 장애 영상 데이터베이스 구축

전문가시스템은 사용자로부터 질문을 통해 병징 정보를 얻기 때문에, 질문에 대한 이해도를 향상시키기 위한 도움 자료가 필수적이다. 따라서, 각 질문에서 나오는 병징의 언어 묘사와 함께 그에 대한 영상 정보를 제공하기 위해서 병징에 대한 영상 자료를 수집하였다.

병해 관련 영상 자료는 경기도 안성군에 위치한 농가 오이 포장과 경기도 농촌진흥원내의 오이 시험포장에서 병명이 확인되는 병징을 택하여 700여장의 사진을 획득하였다. 영양 장애의 영상 자료는 현장에서 발생이 적고, 결핍이나 과다의 정확한 진단이 어려워 서울대학교 농업생명과학대학 내에 위치한 유리온실에서 양분의 결핍 증상을 관찰하기 위한 실험을 수행하여 영상 자료를 획득하였다. 실험에서 파종된 오이는 (주)서울종묘에서 생산한 은백다다기 오이이며, K, Ca, N, B, P, Fe, Mn, Mg, Cu, Zn이 각각 결핍된 양액을 조제하여 관주하였다. 오이의 전 생육기간에 걸쳐 각 처리구와 대조구의 차이를 매일 1~2회 조사하였으며 각 처리구마다 7주 이상의 오이가 동일하게 대조구와 육안으로 구별되는 차이를 보일 때 이를 결핍증상으로 판단하고, 외국의 기존 자료와 비교한 후 약 200여장의 사진을 획득하였다.

영상 자료는 추후 전문가시스템에서 활용할 수 있도록 디지털 영상의 형태로 저장하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 전문가시스템의 개발

1) 질문 구조의 작성

Table 1 The preliminary working sheet for diagnosing cucumber's diseases

Certainty factor		No sign:	0-40%	○: 40-55%	⊙: 55-70%	⊚: 70-85%	●: 85-100%							
		damping off	downy-mildew	fusarium wilt	powdery mildew	grey mold	gummy stem blight	scab	anthra-nose	phytophthora blight	sclero-tinia rot	angular leaf spot		
plant part	leaf		○		○	○	○	○	○	○		○		
	stem	○		○	○		○	○	○	○	○			
	root			○						○				
	fruit					○		○	○	○	○	○		
environ-ment	high temp., high moist.			○			○	○	○	○	○	○		
	high temp., low moist.	○	○		○		○		○			○		
	low temp., high moist.	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○		
	low temp., low moist.	○			○	○						○		
location	house		○	○	○	○				○	○	○		
	field		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
growth stage	seedling stage	●	○		○							○		
	flowering stage		⊙	○	⊙	⊙	○	⊙	○	⊙		⊙		
	fruit development stage		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		
	harvesting stage		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		
root stock	pumpkin		⊙											
	white powder				●									
	leaf wilt			⊙			⊙			●				
	dark fungi under leaf surface		●											
	root decay			⊙						●				
	sclerotinia										●			
	hyphae on the fruit	grey					●							
		black in white										●		
		white									●	○		
		white												
ooze secretion							○					●		
symptom	lesion	part	stem near soil	leaf			leaf, fruit, flower	stem, leaf	leaf, fruit, stem	leaf, fruit stem,	stem near soil	fruit, stem	leaf, fruit	
		color	brown to dark brown	yellow			brown, dark grey	white brown, dark brown	dark green to brown	yellow to brown	brown, white	grey to dark	dark green dark brown	
	shape	narrowing	restricted with vascular			amorphous concentric	amorphous, triangular	hollowed, water-soaked amorphous	hollowed, circular	water-soaked amorphous	amorphous lump	oil-soaked restricted with vascular.		
		●	○			●	⊙	●	⊙	●	○	●		
browning of stem inside			⊙											
browning onside of stem			●											
browning of fruit inside						●								
hole in the leaf							○	○				⊙		
stem split			⊙											
black spots in dead stem						●								
growth shriveling						○		●						
abnormal branches at top								●						

오이의 주요 병 및 영양 장애 진단 전문가 시스템 개발

Table 2 The preliminary working sheet for diagnosing nutritional disorders of cucumber

		Certainty factor											
		No sign: 0-40%	○: 40-55%	⊙: 55-70%	●: 70-85%	●: 85-100%							
		N ⁻	P ⁻	K ⁻	Mg ⁻	Ca ⁻	B ⁻	Mn ⁻	Zn ⁻	N ⁺	B ⁺	Mn ⁺	Zn ⁺
plant part	leaf	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	stem			○		○			○			○	
	fruit	○					○			○			
	flower					○							
	bud					○							
location	glasshouse		○	○			○						○
	field								○				
substrate	sandy soil	○		○			○			○			
	peat soil		○			○		○					
	rock-wool			○	○	○							
	nutrient soln.			○	○	○							
	loam soil							○					
symptom	leaf	color	yellowish green	dark green	yellowish green	yellow			yellowish		dark green	yellow	reddish brown
		chlorosis			●	●	●	⊙				*	●
		necrosis			●	⊙			●	○		●	●
		small		○	○		○		○			○	
		stiff		○									
		watery spots		●				⊙					
		spots		●							●	●	●
		white dot					●						
		fade		⊙								●	
		shrivel		●		●	⊙						
		mottle							●	●			
	curl					●	●			●	●		
	desiccate		●	●									
fruit	color	grayish green											
	spiny	⊙											
	short	●				⊙				⊙			
	shape	abormal											
	furrowed					●							
	tasteless					○							
growth	stunted	●	●	●		●	●			●	●	●	
internode	short			●		●			●				
petiole	brittle					●							
	droop					●				⊙			
	purple dots											●	
flower	size					small							
	pale yellow					●							
cotyledon	watery spots		●										
progress	older → younger leaves				○				○		○		
	younger → older leaves											○	
	base → top			○								○	

전문가시스템은 사용자부터 질문(query)을 통해서 문제 영역에 대한 정보(fact)를 얻는다. 따라서, 추론에 필요한 정보를 얻는 질문 과정은 이해하기 쉽고 단순하여야 한다. 이를 위해, 그림 1과 같이 네 단계의 질문 구조를 가지도록 하였다. 초기에는 재배 환경, 병징 발생 부위 등의 일반적인 질문이 나오며, 이후에는 발생 부위에 따라 세부적 병징 묘사에 관한 질문이 선택적으로 나온다. 이러한 질문 구조는 선행된 질문의 응답을 근거하여 불필요한 질문의 처리를 제거하기 때문에 전문가시스템의 운영 효율을 향상시킬 수 있다. 또한, 각 질문은 사용자가 질문을 이해하기 쉽도록 HCLIPS의 도움 그림과 도움말기

능을 활용하여 영상 정보 및 문서 정보를 제공한다.

그림 2는 HCLIPS를 이용한 사용자 질문의 한 예를 보여 준다.

2) 전문가시스템의 구축 및 실행

전문가시스템은 질문 순서를 조절하고, 확신도를 계산하며, 추론 결과를 출력하는 제어 규칙(control rule)이 필요하다. 따라서 CLIPS에서 제공하는 연산자 및 명령어를 이용하여 제어 규칙을 작성하였으며, 중복된 결과를 추론하였을 때의 확신도는 MYCIN 규칙에 따라 계산하도록 하였다(Giarratano and Riley, 1994).

위에서 작성된 지식베이스, 질문 구조 그리고 제어 규칙을 통합하여 오이 병해 진단 전문가시스템(ESCD : Expert System for Cucumber's Diseases and nutritional disorders)을 개발하였다. ESCD를 실행하면, 그림 2의 초기 화면이 나오고, 이후에 병징 정보를 획득하기 위한 질문 화면이 나온다. 질문이 끝나면 병징 정보와 지식베이스에 의해서 추론이 이루어지며, 추론 결과가 화면으로 출력된다. 추론 결과는 확신도와 함께 '---일 가능성이 있습니다.', '---으로 판단됩니다.', '---에 걸렸습니다.' 그리고 '추론 불능' 등의 네 단계의 문구로 출력되며, 각 병해에 대한 병징 묘사, 방제법 등의 문서 정보도 함께 출력된다.

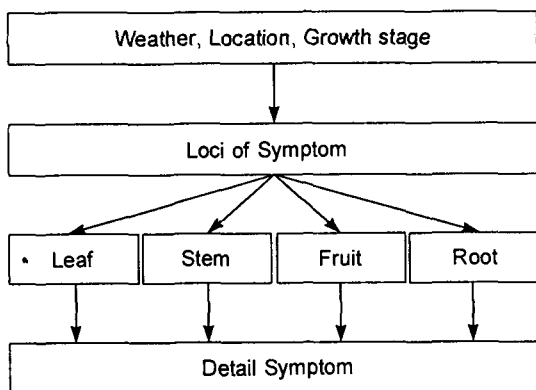


Fig. 1 The query structure of the ESCD.

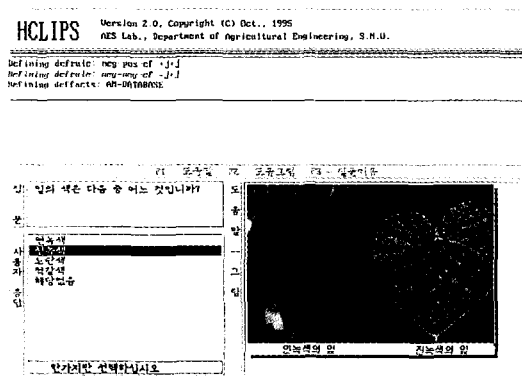


Fig. 2 The query display with help-figure for getting facts.

나. 전문가시스템의 검증

병해 및 영양 장애 진단 전문가시스템은 농민, 농약 판매상, 농약회사 기술·개발부 직원들 및 비농업계 종사자들을 대상으로 하여 편리성과 정확성 등을 위주로 검증되었으며, 검증 결과는 표 3과 같다. 진단 결과는 사용자에 따라서 결론부의 확신도가 예상했던 수치와 조금 상이하게 나오기도 하였지만 병해를 진단하는 데는 무리가 없었다. 사용자의 편리

Table 3 The result of accuracy testing for the ESCD

	No. of attendant	Usefulness	Accuracy	Intent of use
Farmers	8	5 (62.5 %)	100 %	3 (37.5 %)
Retailers	5	5 (100.0 %)	100 %	4 (80.0 %)
Employee of agrochemical formulators	11	8 (72.7 %)	100 %	7 (63.6 %)
Non-agricultural workers	5	5 (100.0 %)	-	-
Average (%)	-	87.5 %	100 %	58.3 %

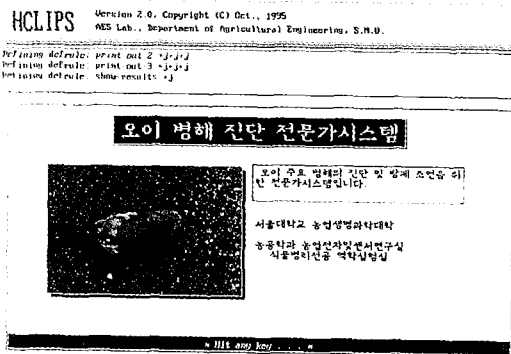


Fig. 3 The initial display of expert system for cucumber's diseases and nutritional disorders.

성에 대해서는 평균 87.5%가 편리하다고 하였으며, 재배 농민이나 농약 회사 직원 같은 전문가들도 사용이 용이하다고 응답하였다. 추후 전문가시스템을 보급할 경우 사용 여부에 대한 질문에서는 60% 정도가 사용 의사를 표시하였으며, 농약 판매상의 경우 80%가 사용 의사를 표시하였다.

전문가시스템은 일반적으로 개발된 이후에 현장에 보급하여 추론 결과에 대한 지속적인 평가를 수행하면서 지식베이스를 개선해 나가야 한다. 따라서, 본 연구에서 개발된 ESCD도 농민들에게 보급하여 현장에서 활용하면서 발생하는 진단의 오류를 개

선하여 진단의 정확도를 향상시켜 나가야 한다.

4. 요약

전문가시스템 개발 도구인 HCLIPS를 이용하여 오이의 병해 및 영양 장애 진단을 위한 전문가시스템이 개발하였다. 농민과의 접견 및 문헌 조사를 통해서 지식베이스를 구축하였으며, 사용자의 이해를 돕기 위해 병해 및 영양 장애의 영상 자료를 포장 촬영 등을 통해서 얻었다.

개발된 전문가시스템은 잘록병 등 11가지의 병해와 질소 결핍 등 12가지의 영양 장애를 진단할 수 있으며, 진단 결과에 대한 상세한 설명과 농약 사용법 등의 방제 대책까지 제공한다. 이 전문가시스템에 대해서 농민 및 전문가들을 대상으로 진단의 정확도 및 사용 편리성을 검증할 수 행한 결과, 확신도의 차이는 있었으나 100%의 진단 정확도를 나타냈으며, 검사대상자의 88%가 사용하기에 편리하다고 답하였다.

참고 문헌

1. 박은우, 조성인. 1994. 포도 주요 병 관리를 위한

- 전문가시스템 연구. 1994년 학술연구과제 최종 보고서. 산학협동재단.
- 이영희, 조원대, 김완규, 명인식, 진경식, 김유학, 한혜림, 조미나. 1992. 식물병 임상진단 전산화 개발 연구. 1992년 특정연구개발과제 최종보고서. 과학기술처.
 - 이용범, 조성인, 배영민, 신승엽, 나우정. 1997. 수도작을 위한 적정 농기계 선정 전문가시스템 개발(II) - 전문가 시스템 개발 -. 한국농업기계학회지 22(3):343-350.
 - 조성인. 1995. 농업 전문가시스템. 한국생물생산 시설환경학회지 3(2):151-159.
 - 조성인, 김승찬. 1993. CLIPS를 사용한 한글 전문가시스템을 위한 사용자인터페이스의 개발. 한국농업기계학회지 18(2):133-143.
 - 조성인, 박은우, 이강걸, 김승찬. 1994. 시설재배 수박병 진단을 위한 전문가시스템의 개발. 한국 생물생산시설환경학회지 3(1):28-35.
 - 최귀문 외. 1995. 시설채소의 생육장애와 병충해 방제. 한국원예기술정보센터 서울종묘 출판부.
 - Donohue, D. W., R. S. Sowell, and N. T. Powell. 1988. An expert system for diagnosing diseases of tobacco. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. Paper no. 88-5022.
 - Giarratano, J. C., and C. Riley. 1994. Expert systems principles and programming. PWS Publishing Company, USA.
 - Latin, R. X., G. E. Miles, J. C. Rettinger, and J. R. Mitchell. 1990. An expert system for diagnosing muskmelon disorders. Plant Dis. 74:83-87.
 - Michalski, R. S., J. H. Davis, V. S. Bisht, and J. B. Sinclair. 1983. A computer-based advisory system for diagnosing soybean diseases in Illinois. Plant Dis. 67:459-463.