최 종
연구보고서

# 시설재배 오이의 생육모형과 최적 환경제어 소프트웨어 개발

**Development of Plant Growth Model and Computer Software to Control Environmental Conditions to get Yield**

연 구 기 관

순 천 대 학 교

농 림 부

# 제 출 문

**농림부 장관 귀하**

**본 보고서를 "시설재배 오이의 생육모형과 최적 환경제어 소프트웨어 개발" 과제의 최종보고서로 제출합니다.**

1998. 11. 30.


**주관연구기관명 : 순천대학교**
**총괄연구책임자 : 임 준 택**
**연 구 원 : 배 영 환**
**연 구 원 : 양 원 모**
**연 구 원 : 송 동 석**
**연 구 원 : 이 강 오**
**연구보조원 : 서 형 석**
**연구보조원 : 정 경 혜**
**연구보조원 : 김 석 엽**
**연구보조원 : 변 영 준**
**연구보조원 : 김 동 주**
**연구보조원 : 정 현 희**
**연구보조원 : 백 선 영**

# 요 약 문

## Ⅰ. 제 목

시설재배 오이의 생육모형과 최적 환경제어 소프트웨어 개발

## Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

현재의 한국 시설 원예의 당면과제는 국내실정에 맞는 온실모델 개발과 자재의 표준화, 규격화라고 지적하고 있는 실정이다. 농가보급형 모델로 시공된 온실이 여름철 고온 및 겨울철 난방비 부담가중 등 문제점이 발생해 여름과 겨울을 가리지 않고 연중 작물을 생산할 수 있는 환경제어 기술개발과 이를 가능하게 할 수 있는 온실모델을 개발해야 한다. 또한 온실산업을 성공시키기 위해 공정육묘 및 양액재배의 기술 체계 확립과 표준화, 첨단시설 및 재배기술에 관한 농민교육 확대, 농민과 업체간 이면계약에 따른 부실시공 방지 등에 대책도 절실한 실정이다. 특히 시설원예기술은 토지와 대기에 환경조건을 임의로 조절하여 작물 재배가 가능하기 때문에 농업기술에 최종적인 형태로 온실내 공간이 외부와 격리되어 온도, CO2농도, 수분, 풍속 등에 환경조절이 가능한 인공 생태계이며 유축농경이나 기계화 농경시대의 반 자연생태계와는 근본적으로 다르다. 시설농경은 주로 기상환경의 조절, 지하환경의 조절을 통한 환경조절에 안정화로 보다 높은 수준의 식량을 생산할 수 있는 이상적인 생산형태로 발전해 왔다. 그러나 최근에 들어서는 비료, 농약 그리고 생장조절제의 생태계 위협으로부터 탈출하려는 시도들이 신중하게 검토되고 있어, 인공 및 자연생태계를 동시에 고려한 혼합생태계를 의식한 환경관련 새로운 에너지의 투입이 생산현장에 적극 도입되고 있어 시장이나 소비자의 요구에 대응해가고 있으며 그 노력은 고품질, 안정성, 그리고 다수를 향한 재배기법의 변천이 이

루어져 가고 있다. 한편 이에 대비한 기술적인 측면에서의 대처사항을 보면 작물면에서 재배환경 조절면에서 그리고 경영적인 면에서 생력화, 생에너지화 그리고 고품질, 안전, 다수중심이던 현재의 재배기법들은 환경을 위한 생산 즉 작물재배 과정에 위험요소를 배제시키는 방향으로 진행 발전되어 가고 있으며 그 과정의 검토사항으로

· 작물면에서의 조절(품종개량, 재배법 확립)
· 재배환경면에서 조절(투자 에너지의 효율적 이용)
· 경영적인 면에서 에너지 문제 고려
· 생에너지의 면에서 시설구조의 검토
· 자동화 생산관리의 확립(computer를 이용한 효율적 관리)
· 생산비, 품종, 환경조절에 따른 품질
· 환경보존의식

등을 들 수 있다. 이상의 많은 문제들을 근본적인 해결은 시설내 환경요인의 변이와 작물 생육 및 수량 변이와의 상호작용을 밝힘으로써 가능하다.

또한 적정환경조건을 갖추어 주기 위해서는 환경조건에 따른 식물체 생장반응에 관한 수리적 모형(dynamical mathematic model)을 개발하여야 한다. 왜냐하면 식물의 생육형질들은 dynamic하게 변하면서도 서로 복잡하게 영향함으로 수리적 모형이 없이는 여러 환경조건에 따른 생장반응을 설명할 수 없기 때문이다. 수리적 모형이 완성되면 optimal control theory를 적용하여 시시각각으로 최적의 환경조건을 부여할 수 있으며 더 나아가 시설재배의 자동화를 가능케 하여 생력재배의 이론적 배경을 제공할 것이다. 본 연구에서는 양액재배 오이를 대상으로 하여 시설환경을 최적상태로 제어하는 소프트웨어를 개발하기 위하여 다음과 같은 방법으로 연구에 목적을 두고 있다.

① 외부 환경조건에 따른 생장반응을 조사하고,
② 수리적 생육모형(dynamical mathematic model of crop growth and development)을 개발하고,
③ 시설 구조별 온실내 환경요인의 시공간적 분포를 밝히며,

④ 개발된 모형의 적합성을 평가하고(validation of model),

⑤ 전문 재배자의 경험을 수집하여 전문가 시스템(expert system)을 개발하며,

⑥ Optimal control theory를 적용하여 최적환경조건을 규명하여,

⑦ 최종적으로 이를 시설환경제어에 이용하는 통합 소프트웨어를 개발한다.

# III. 연구개발 범위 및 내용

## 1. 연구범위

본 연구 범위는 시설내 환경변이 따른 오이의 생육반응을 분석하고, 시설내의 환경변이 모형을 개발·검증하여, 고품질의 오이를 생산하기 위한 최적 환경제어 알고리즘의 개발을 통해, 그 수량예측 모형을 제시하고자 한다.

## 2. 연구내용

1) 기상환경 변이에 따른 오이 생육변이
2) 재식 밀도에 따른 오이 생육 및 수량변이
3) 작형에 따른 오이 품종군 및 품종의 절성
4) 일사량, 기온, 대기의 CO2 농도 그리고 엽중 질소농도가 오이엽의 광합성율에 미치는 영향
5) 환경변이에 따른 호흡율의 변이
6) 군락상태에서의 총광합성율
7) 주야간 변온과 양액의 N농도 및 광 환경의 차이가 오이 생장에 미치는 영향
8) 과실의 건물중 증가 특성
9) 과실의 광합성율 및 호흡율과 동화산물의 잎에서 과실로의 이동속도
10) 환경조건에 따른 오이의 수량예측 모형
11) 온실내의 환경 자동 계측 및 제어 소프트웨어 개발

# Ⅳ. 연구 결과 및 활용에 대한 건의

## 1. 주요 연구 개발 결과

### 가. 기상환경의 변이에 따른 오이 생육 변이

여름재배에 있어 하우스 형태에 따른 누적일사량은 전 생육기간동안 고도의 유의한 차이를 보였으며, 1-2W형 하우스가 무기둥보다 높았다. 하우스 형태별 생육에서 엽건물은 1-2W형 하우스가 무기둥보다 높았으나, 엽면적은 6월 14일 조사에 무기둥 하우스가 1-2W형 하우스보다 높았으며, 7월 12일 조사시기에는 1-2W형 하우스가 무기둥하우스보다 높았다. 또한 생리적 형질간의 상호관계를 보면 식물 생장량의 대소는 상대성장률로 평가하는데 온도와 정의 상관관계를 보이며, 단위면적당 광합성율은 엽중질소 농도, 출엽속도와 개화시기는 적산온도와 밀접한 관계를 보였다. 시설억제 재배에 있어 누적일사량은 1-2W형 하우스가 무기둥보다 높았으나, 엽건물중은 유의한 차이를 보이지 않았다. 엽면적은 10월 4일 조사시기에는 1-2W형 하우스가 무기둥 하우스보다 유의하게 높았으나, 11월 1일 조사에서는 무기둥 하우스에서 유의하게 높았다. 이러한 차이는 광량의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 또한 생리적 형질간의 관계를 보면 상대엽면적은 무기둥 하우스, 순동화율은 1-2W형 하우스에서 높은 값을 보였다. 엽출현 속도는 적산온도에 의해 비교적 정확히 예측할 수 있었으며, 개화시기로 출현 엽수가 8  9개에 달했을 때 도달하는 것으로 나타났다.

### 나. 재식밀도에 따른 오이 생육 및 수량변이

조숙재배(2월 파종)에서 하우스 형태와 재식밀도에 따른 수량형질들을 보면 1-2W형 하우스의 경우 재식간격 20cm 수준에서 수확생과중이 53.7kg으로 가장 높았으며, 무기둥 하우스의 경우 수확생과중 49.9kg을 보여, 1-2W형 하우스가 조숙재배에서 수량성이 높았다. 여름재배(5월파종)에서 1-2W형 하우스에

서는 수확주수, 수확과실수, 과실생체중에 있어서 모두 15cm(34주/bench)처리와 25cm(20주/bench)처리에서만 차이가 났으며, 15cm와 20cm(26주/bench)수준이나 20cm와 25cm수준간에는 유의차이가 없었다. 반면 무기둥 하우스에서는 15cm와 20cm수준이 모든 형질에서 25cm수준보다 유의한 차이를 보였으며, 15cm수준과 20cm수준은 차이가 없었다. 따라서 오이재배에 있어서 적정 재식밀도 수준은 15㎝ 20㎝의 주간 간격에 있는 것으로 나타났다.

다. 작형에 따른 오이 품종군 및 품종의 절성

작형에 따른 품종별, 하우스 형태별 주당 암꽃 수, 비율, 퇴화 암꽃의 비율을 보면 시설 억제 재배에서는 흑진주 계통과 입추백다다기에서 가장 많은 주당 암꽃 수를 보였으며, 그 비율도 높았다. 장일낙합오이는 비교적 높은 암꽃 비율을 보였으며, 가을낙합오이는 40%수준으로 다소 낮았다. 암꽃의 퇴화비율은 흑진주계통은 20%이상을 보였으나, 장일낙합오이는 퇴화 암꽃이 거의 생기지 않아 장일낙합오이의 잠재적 수량성은 흑진주계를 능가하였다. 촉성재배에서의 암・수꽃의 발생정도는 입추백다다기 오이가 가장 높은 절성을 보인 반면, 가장 높은 퇴화 암꽃 비율을 보였으며, 청장계오이가 가장 낮은 암꽃 비율을 보였다. 반촉성재배의 경우 반백계와 흑진주계의 품종들은 매우 높은 암꽃 비율을 보였고, 청장계는 낮은 경향이 있다. 여름 재배는 흑진주계에서 가장 높은 암꽃 비율을 보였고, 청장계는 매우 낮은 암꽃 비율을 보였다. 반면 퇴화 암꽃 비율은 청장계에서 가장 낮고, 흑진주계에서 가장 높았다. 작형에 따른 품종별 수량은 암꽃수, 퇴화암꽃의 비율, 그리고 내한성이나 내서성에 의해 결정되었으며 실험 결과 시설억제재배에서는 낙합계나 흑진주계 또는 입추백다다기오이가, 촉성재배에는 겨우살이 청장오이, 입추백다다기 그리고 가을낙합오이, 반촉성재배에는 청장계나 낙합계가, 그리고 여름재배에는 남부청장이나 가을낙합이 적합하였다.

라. 일사량, 기온, 대기의 $CO_2$농도 그리고 엽중 질소농도가 광합성율에 미치는 영향

**광보상점은** 10 20μmol s-1m-2 **이었으며, 광포화점은** 700μmol s-1m-2 **이상을 보였다. 광량에 따른 총 광합성율은**

$$GPR=21.4512\ PPF/(287.784+PPF)$$

**를 보였다. 기온에 따른 광합성율의 변이는 기온의 증가에 따라 광합성율도 증가하는 경향이었으나,** 24℃ 32℃**사이에 큰 차이를 보이지 않았다.** $CO_2$**보상점은** 20 40ppm**이었고,** $CO_2$ **포화점은** 1200 1300ppm **사이였으며,**

$$GPR = 15.5554\ (1-0.9636\exp(-0.0024\ CO_2))$$

**의 반응을 보였다. 엽중질소농도가 증가함에 따라 광합성율도 증가하였으며, 그 증가 형태는** logistic**으로**

$$GPR = 24.743/(1+6.0343\exp(-0.3689\ N))$$

**이었다.**

**광량, 기온, 대기의** $CO_2$**농도 그리고 엽중 질소농도에 따른 총광합성율**(GPR)**은**

$$GPR = 69.4119T/(7.5397+T)\cdot PPF/(240.149+PPF)\ (1-0.8865\exp(-0.0018CO_2))\cdot(1+5.1729\exp(-0.4161N))$$

**이었다.**

**마. 환경변이에 따른 호흡율의 변이**

**기온이 상승함에 따라 호흡율은 상승적으로 증가하였으며, 식물체 전체의 호흡율**(Resp)**은**

$$Resp=0.0734dW/dt+7.6618\exp(0.093temp)\cdot W$$

이였다. 식물체 총광합성율과 총호흡율의 14.6%에 해당하였다. 야간에 식물체 총호흡율을 조사해 본 결과 시간이 흐를수록 호흡율이 저하하였는데 이는 식물체 내 호흡기잘, 특히 전분함량의 감소에 의한 것으로 사료된다. 뿌리의 질소흡수 호흡은 0.5552g $CH_2O/(gN)$으로 추정되었다.

바. 군락에서의 총광합성율

오이 군락에서의 소멸 계수는0.3427로 추정되었으며, 지상부 건물중 (Ws)에 대한 엽중비율 (LDW)은 생육일수 (t)가 진전됨에 따라 감소하는 경향이었으며,

$$LDW = (0.7372 - 0.00193t)\ Ws$$

에 의해 추정되었다.

엽면적지수 (LAI), 엽건물중 (LDW) 그리고 재식거리 (PS) 사이에는

LAI= ( 11.831+ 1.6832 LDW )/PS의 관계가 있었다. 이를 이용하여 군락상태에서의 총광합성율 (Pg)은

$$Pg = \int_0^{LAI} GPR\ dl$$

$$= 69.4119T/(7.5397+T)(1-0.8865\ exp(-0.0018\ CO_2)$$

$$1/(1+5.1729\ exp(1-0.4161N)) \cdot \int_0^{LAI} I/(240.1694+I)dt$$

이었다.

사. 주 야간 변온과 양액의 질소 농도 및 광 환경의 차이가 오이 생장에 미치는 영향

주야간 변온 효과가 거의 없는 것으로 판명되었다. 양액의 N 농도차이나 광 환경의 차이에 따른 오이의 기관별 생육을 비교해 본 결과 기관간 기능적

평행의 가설에 의해 비교적 잘 예측되었으며, 모든 실험 조건에서 지수적 생장 모형이 적절하였다.

아. 과실의 건물중 증가 특성

비파괴적 방법을 이용하여 과실 건물중 증가 특성을 살펴본 결과 과실생장이 왕성한 시기에는 4 5 g d-1 의 속도로 과실의 건물중이 증가하였고, 이 양은 20개의 엽에 의해 생산된 광합성량에 해당하였으며, 2개의 과실이 왕성이 자라는 양에 해당하였다. 과실의 건물중 증가는 지수적 생장곡선에 의해 매우 잘 예측할 수 있었다.

자. 과실의 광합성율 및 호흡율과 동화산물의 잎에서 과실로의 이동속도

과실 자체의 광합성율과 호흡율이 기온에 따라 증가하였는데 광합성율 보다는 호흡율의 상승 정도가 훨씬 컸다. 과실의 광합성량은 과실 자체의 호흡에 의해 에너지 손실의 50%를 보충하는 정도였다.
과실의 호흡량은 과실로의 이동 동화산물의 15%에 해당하였다. 동화산물의 과실로의 이동속도는 대략 133mg CH2O h-1 이었다.

차. 오이의 수량예측모형

기관간 기능적 평형을 이용하여 오이의 생장 및 수량예측모형을 완성하였고, 모형의 모수 추정은 Simplex법에 의하였으며, 미분방정식의 해는 Runge-Kutta fourth-order법에 의하였다. 모형 검증에서 잎, 줄기, 뿌리, 그리고 과실의 실측치와 예측치가 비교적 잘 일치하여 본 모형이 환경제어를 위한 식물생장모형으로 이용하는 데는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 최적 환경조건을 찾기 위한 simulation 결과 정식 후 73일 동안 y gm-2의 수량을 얻기 위한 등수확곡면은

$$y + 218.5275 = 0.2170\ Rad + 29.7863\ Temp + 0.1271\ CO2$$

$$+ 0.0032 (Rad)(Temp) - 0.000034 (Rad)(CO2) + 0.00167 (Temp)(CO2)$$

$$- 0.000113 (Rad)2 - 0.4316 (Temp)2 - 0.00006 (CO2)2,$$

로 나타났다.

카. 시설 환경의 자동 계측과 제어

직렬통신 방식(RS485)에 의한 환경 자동 계측 및 제어 시스템을 개발하였다. 환경계측 시스템은 간이 기상대를 통한 온실 외부의 기상환경과 각종 센서를 통한 온실 내부의 환경을 측정하여 매 10분 동안의 평균을 데이터베이스에 저장하도록 하였다.

온실환경의 계측 및 제어 프로그램은 윈도우즈용 응용 프로그램 제작도구인 MS Visual BASIC을 이용하여 작성하여 사용자의 편리를 도모하였다. 온실의 실시간 환경 및 과거의 자료를 수치 또는 그래프로 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 환경제어를 위한 기본 자료로 온실내의 일사량 분포와 창의 개방 방법에 따른 환기율을 분석하였으며, 현지 방문을 통하여 오이 재배농가의 환경 관리 및 재배 방식을 조사하고 이를 환경제어 프로그램에 적용하였다.

시설 환경제어 프로그램은 사용자의 선택에 의하여 수동 또는 자동 모드로 온실의 각 작동기기를 제어할 수 있도록 하였다. 자동 모드에 의한 기기의 작동은 온실 내부와 외부의 제반 환경 요인을 고려하여 오이의 생육단계에 따른 최적 환경의 조성이 가능하도록 하였다.

2. 활용에 대한 건의

본 연구 결과 시설재배 오이의 생육모형과 최적 환경제어 소프트웨어개발이 제고 되면 기능적 평형을 이용하여 오이의 식물생장 모형을 설정하고, 매순간 변화하는 외부환경의 조절을 통한 최적 생산을 이루는데 적절한 모형이 될 것이다.

1. 시설내 환경요인(광량, 온도, 습도, $CO_2$농도, 양액의 N농도, pH 및 EC)의 변이에 따른 오이의 생장반응과 병발생에서의 변이를 수리적으로 모형개발을 통하여 식물의 반응을 비교적 정확히 예측할 수 있다. 개발된 모형들은 타 작물의 시설재배에 적용될 수 있으며, 오이의 식물공장의 공장설계에 이용될 것이다. 또한 비닐하우스 및 자동화 유리온실의 단점을 보완하는데 기초자료를 제공할 것이다.

2. 최적제어를 위한 인공지능형 컴퓨터 소프트웨어개발로 적정하고, 환경조건을 부여할 때 2배정도의 수량증대를 얻을 수 있으며, 생력재배가 가능하여 노동생산성을 향상시키고, 에너지 input에 소모되는 생산비와 생산비 증가에 따른 output의 증가를 예견하여 경영의 합리화를 도모한다.

# SUMMARY


The region around Sunchon in Chonnam province produces about 90% of cucumber crop in Republic of Korea, and most of the cucumber fruits are produced in greenhouse or glasshouse. To maximize the profits from the crops grown in the closed environmental condition, such as greenhouse or glasshouse, it is necessary to know how the climatic conditions varys inside the closed system, how the crops inside the closed system will response to the environmental conditions, how to sense and control the climatic condition automatically by computer through openning or closing side windows, screens and burning oils etc., and how to get an optimal yields of the crop by proper management of environmental control system. Knowing all of these will finally help farmers to save human labors, prevent environment from pollution, and save fuel energy.

The purpose of the study consist of investigating the temporal and spatial variations of climatic factors inside two differant types of greenhouse, investigating how cucumber plants response to the varying environmental conditions, developing mathematical growth and yield model of cucumber crop by investigating plant response to environmental conditions, conducting validation of the model, gathering the experiances from experts in cucumber cultivation, constructing optimal environmental conditions for the cucumber growth by optimal control theory, and finally developing EXPERT system for the cucumber cultivation. The results are summarized as follows

1. Effects of environmental conditions on the growth of cucumber plants

In summer growth period of cucumber, two types of greenhouse, 1-2w and postless, showed significantly different irradiance inside the house. 1-2w type showed highly significantly greater irradiance than that of postless type for the whole growing period. Leaf dry weight of the plants

grown in 1-2w type greenhouse appeared to be significantly higher than that of the plants in postless greenhouse. The plants grown in postless type showed larger leaf area than those in 1-2w type at the earlier growth stage, but at the later growth stage, the plants in 1-2w type showed large leat area.

Average daily mean temperature for the whole growth period showed significantly positive correlation coefficient with relative growth rate, and also net assimilation rate corredated positively with leaf nitrogen content. Accumulated temperature can be used to predict how many leaves emerge and when plants start to flower.

In autumn growth period of cucumber, 1-2w type greenhouse showed significantly higher irradiance than postless type greenhouse, but there was no significant differences in leaf dry weight between the plants. At the later stage of growth, plants in postless greenhouse showed larger leaf area, which seemed to be attributed from the difference in irradiance. 1-2w type greenhouse showed higher irradiance inside the house, so that plants grown in 1-2w type showed higher net assimilation rate, while plants grown inside postless type had larger specific leaf area. Number of leaves can be predicted accurately by the accumulated temperature, and plants began to flower when number of leaves was 8 or 9.

2. Effects of planting space on growth and yield of cucumber plants

In spring growth period, there was no significant differences in yield among plant densities, but as plant density became greater, yield increased progressively. Postless type greenhouse showed too higher air temperature as time passed, so that 1-2w type showed higher fruit yield than postless type. In summer growth period, treatment of planting space, 15cm showed significantly higher fruit yield compared with that of plating space, 25cm. Judging from the results, the proper planting space in cucumber seemed to be existed from 15cm to 20cm of planting space.

3. Variation in sex expression of several varieties of cucumber due to different growth periods.

In autumn growth period, varietal group, Hukjinjoo and cultivar Ibchubakdadaki showed the higher ratio of female flowers, cultivar Jangilnakhap showed relatively higher ratio of female flowers, and cultivar Gaulnakhap showed more or less lower ratio of female flowers. However, varietal group of Hukjinjoo showed fruit abortion more than 20%, while cultivar Jangilnakhap had few aborted fruits, so that Jangilnakhap would have a higher yield potential than varietal group, Hukjinjoo. In the earlier winter growth period, cultivar Ibchubakdadaki showed the greatest number of female flowers per plant and varietal group, Chungjang showed the lowest ratio of female flowers. In the later winter growth period, varietal group, Banbak and Hukjinjoo showed higher ratio of female flowers, and group Chungjang showed lower ratio of female flowers. In summer growth period, varietal group Hukjinjoo showed highest number of female flowers, and varietal group Chungjang also the lowest number of female flowers.

In general, ratio of female flowers strongly positively correlated with the number of aborted fruits. Yields of varieties were determined by several factors such as ratio of female flowers, ratio of aborted fruits, cold tolerance or heat tolerance. Varieties in group Hukjinjoo were susceptible to low temperature so that they were not proper to grow at the growing season with low temperature. Judging from the results, varieties in group Nakhap, Hukjinjoo or Ibchubakdadaki were proper to grow in the autumn growth period, cultivar Chungjang, Ibchubakdadaki and Gaulnakhap were proper to the earlier winter growing season, varieties in group Chungjang and Nakhap were proper to the later winter growing season, and cultivar Namboochungjang or Gaulnakhap were proper to the summer growing season.

### 4. Effects of irradiance, temperature, $CO_2$ concentration and leaf nitrogen content on photosynthetic rate

The light compensation point was 10 20µmol m-2 s-1 and light saturation point was higher than 700µmol m-2 s-1. Gross photosynthetic rate (GPR) was dependent on the amount of solar radiation (PPF) and could be expressed as an equation

$$GPR = 21.4512\ PPF/(287.784 + PPF)$$

The rate of photosynthesis increased as temperature increased, however, no significant changes in the rate was observed in a temperature range of 24 to 32℃. $CO_2$ compensation point was 20 40ppm and $CO_2$ saturation point was 1200 1300ppm. The effect of $CO_2$ concentration on gross photosynthetic rate could be expressed as an equation,

$$GPR = 15.5554\ (1 - 0.9636\ \exp(-0.0024\ CO_2))$$

Gross photosynthetic rate increased logistically as leaf nitrogen content increased, and could be expressed as an equation,

$$GPR = 24.743/(1 + 6.0343\ \exp(-0.3689\ N))$$

The effects of solar radiation, temperature, atmospheric $CO_2$ concentration and leaf nitrogen content could be summarized as an equation,

$$GPR = 69.4119\ T/(7.5397 + T) \cdot PPF/(240.149 + PPF) \cdot (1 - 0.8865 \exp(-0.0018\ CO_2)) \cdot (1 + 5.1729 \exp(-0.4161\ N))$$

5. Effects of environmental factors on respiration rate

Respiration rate increased as temperature inceased, and the respiration rate of a whole plant could be expressed as an equation,

$$Resp = 0.0734\ dW/dt + 7.6618 \exp(0.093\ Temp) \cdot W$$

Total respiration rate of plant comprised 14.6% of the gross photosynthetic rate of plant. At night, the respiration rate decreased as time passed, which seemed to be due to the decrease in the level of respiration substrates in the plant, especially starch concentration. Energy cost for nitrogen uptake in root was estimated to be 0.5552 g $CH_2O$ (g $N)^{-1}$.

6. Gross photosynthetic rate in the plant community

The extinction coefficient in the cucumber community was estimated to be 0.3427. The ratio of leaf dry weight (LDW) to shoot dry weight (Ws) decreased as the plant grew, and estimated to be

$$LDW = (0.7372 - 0.00193\ t)Ws,\ (t \text{ in days after transplant}).$$

Leaf area index (LAI) can be estimated by LDW and planting space (Ps),

$$LAI = (11.831 + 1.6832\ LDW)/Ps$$

By using these estimates, gross photosynthetic rate (Pg) in a community could be expressed as the following equation

$$Pg = \int_{0}^{LAI} GPL(l)\ dl,$$

where l is the cumulative leaf area index.

7. Effects of day/night temperature change, nitrogen concentration in nutrient solution and irradiance on cucumber growth

No significant effects of day/night temperature change on cucumber growth was observed. When effects of nitrogen concentration in nutrient solution and irradiance on shoot:root ratio were compared, the ratio could relatively easily be predicted by the hypothesis of functional equilibrium. In all the experimental conditions, exponential growth model was found to be appropriate to describe the growth of plant organs.

8. Characteristics of the increase in fruit dry weight

The increase in fruit dry weight was determined by an nondestructive measuring method. During the rapid growth of fruit, dry weight increased at a rate of 4  5 g d-1. This amount was equivalent to the amount of photosynthetic product by 20 leaves, and was equivalent to the amount of assimilate demand for two fast growing fruits. The increase of fruit dry weight could easily be predicted by an exponential growth curve.

9. Photosynthesis, respiration in fruits, and translocation rate of assimilate from shoot to fruit

The photosynthetic and respiration rate in fruits increased as temperature increased, and respiration rate was more sharply increased by temperature than photosynthetic rate. The amount of photosynthesis in fruits could compensate only 50% of the energy loss caused by respiration in fruits. The amount of respiration in fruit was equivalent to 15% of the amount of assimilate translocated to fruit from shoot. The translocation rate of assimilate to fruits from shoot was about 133 mg $CH_2O$ $h^{-1}$.

10. Mathematical model of growth and yield for the cucumber plant

Mathematical model for cucumber growth and yield was obtained by using the hypothesis of functional equilibrium. In the process, parameters were estimated by Simplex method, and the solutions for the system of differential equations were obtained by Runge-Kutta fourth-order method. In the validation process, predicted values for leaf, stem, root and fruit agreed fairly well with the actual measured values. Therefore, the model could be used to predict plant growth in controlled environmental condition. In a simulation study for finding an optimal environmental conditions, the yield contour surface to obtain yield of Y(g $m^{-2}$) for 73 days after transplant was found to be expressed as the following equation.

$$Y+218.5275 = 0.2170\ Rad + 29.7863\ Temp + 0.1271\ CO_2 + 0.0032\ (Rad)(Temp) - 0.000034\ (Rad)(CO_2) + 0.00167\ (Temp)(CO_2) - 0.000113\ (Rad)^2 - 0.4316\ (Temp)^2 - 0.00006\ (CO_2)^2$$

11. Environmental measurement and control in cultivation under structure

A measurement and control system was developed based on RS485 serial communication. The measurement system automatically saves environmental data on both outside and inside of greenhouse to a set of databases at intervals of 10 minutes.

The measurement and control software was written in MS Visual BASIC as a Windows application. The real-time greenhouse environment and saved data can be displayed on the monitor screen as numerical data or graphical form.

Spatial distribution of solar radiation under various environmental conditions were analyzed. Also ventilation rates of greenhouses were measured for various settings of top and side vent openings. The practice of cucumber growers in environment control and cultivation was investigated and the results were utilized in developing the control algorithm.

The greenhouse environment can be controlled in manual or automatic mode by user's selection. In automatic mode, the various environmental factors and the stage of cucumber growth were incorporated to maintain optimum settings.

# Contents

SUMMARY ........ 13

Chap. 1. Variation in growth characters due to the variation in climate factors . 29

1. Introduction ........ 29
2. Method and Materials ........ 30
3. Results and Discussions ........ 33

Chap. 2. Effects of planting density on growth and yield in cucumber plant .. 55

1. Introduction ........ 55
2. Method and Materials ........ 55
3. Results and Discussions ........ 56

Chap. 3. Variations in sex expression and yield of several varieties of cucumber under the different growing period. ........ 67

1. Introduction ........ 67
2. Method and Materials ........ 67
3. Results and Discussions ........ 70

Chap. 4. Effects of irradiance, air temperature, CO2 concentration in air and nitrogen content in leaves on photosynthetic rate of cucumber plants. ........ 79

1. Introduction ........ 79
2. Method and Materials ........ 80
3. Results and Discussions ........ 81

Chap. 5. Variations in respiration rate of cucumber plants due to the variation in air temperature, total gross photosynthetic rate and assimilate levels in plants. ...... 93
1. Introduction ...... 93
2. Method and Materials ...... 93
3. Results and Discussions ...... 94

Chap. 6. Gross photosynthetic rate in the canopy of cucumber community. .. 103
1. Introduction ...... 103
2. Method and Materials ...... 103
3. Results and Discussions ...... 104

Chap. 7. Effects of different day/night temperature, N concentration in the nutrient solution and irradiance on the growth of cucumber plants. ...... 111
1. Introduction ...... 111
2. Method and Materials ...... 112
3. Results and Discussions ...... 118

Chap. 8. Growth characteristics of cucumber fruits. ...... 129
1. Introduction ...... 129
2. Method and Materials ...... 129
3. Results and Discussions ...... 130

Chap. 9. Fruit photosynthesis and respiration an translocation rate of assimilate to the fruits in cucumber plants. ...... 139
1. Introduction ...... 139

2. Method and Materials ..... 139
3. Results and Discussions ..... 140

Chap. 10. A dynamic growth and yield model of cucumber crop. ..... 147
1. Introduction ..... 147
2. Method and Materials ..... 148
3. Results and Discussions ..... 166

Chap. 11. Environmental measurement and control ..... 175
1 . Introduction ..... 175
2 . Experimental greenhouse and environmental measurements ..... 176
3 . Analysis of Greenhouse environment ..... 186
4 . Result of survey questionaire ..... 209
5 . Hardware and software developments for greenhouse control ..... 212

Chap. 12. Results and conclusions ..... 231

References ..... 237

Appendix A. Survey Question ..... 241

Appendix B. Program listing of the cucumber growth model ..... 245

# 목　　차

요 약 문 ..... 3

SUMMARY ..... 13

제 1 장 기상환경의 변이에 따른 오이 생육변이 ..... 29
제 1 절 서 론 ..... 29
제 2 절 재료 및 방법 ..... 30
제 3 절 결과 및 고찰 ..... 33

제 2 장 재식밀도에 따른 오이생육 및 수량변이 ..... 55
제 1 절 서 론 ..... 55
제 2 절 재료 및 방법 ..... 55
제 3 절 결과 및 고찰 ..... 56

제 3 장 작형에 따른 오이 품종군 및 품종의 절성 ..... 67
제 1 절 서 론 ..... 67
제 2 절 재료 및 방법 ..... 67
제 3 절 결과 및 고찰 ..... 70

제 4 장 일사량, 기온, 대기의 CO2농도 그리고 엽중 질소농도가 오이 엽의 광합성율에 미치는 영향 ..... 79
제 1절 서 론 ..... 79
제2절 재료 및 방법 ..... 80
제3절 결과 및 고찰 ..... 81

**제 5 장 환경변이에 따른 호흡율의 변이** ..... 93
**제 1 절 서 론** ..... 93
**제 2 절 재료 및 방법** ..... 93
**제 3 절 결과 및 고찰** ..... 94

**제 6 장 군락상태에서의 총 광합성율** ..... 103
**제 1 절 서 론** ..... 103
**제 2 절 재료 및 방법** ..... 103
**제 3 절 결과 및 고찰** ..... 104

**제 7 장 주야간 변온과 양액의 N농도 및 광 환경의 차이가 오이 생장에 미치는 영향** . 111
**제 1 절 서 론** ..... 111
**제 2 절 재료 및 방법** ..... 112
**제 3 절 결과 및 고찰** ..... 118

**제 8 장 과실의 건물중 증가 특성** ..... 129
**제 1 절 서 론** ..... 129
**제 2 절 재료 및 방법** ..... 129
**제 3 절 결과 및 고찰** ..... 130

**제 9 장 과실의 광합성율 및 호흡율과 동화산물의 잎에서 과실로의 이동속도** . 139
**제 1 절 서 론** ..... 139
**제 2 절 재료 및 방법** ..... 139
**제 3 절 결과 및 고찰** ..... 140

**제 10 장 환경조건에 따른 오이의 수량예측모형** ..... 147

제 1 절 서 론 ........ 147

제 2 절 재료 및 방법 ........ 148

제 3 절 결과 및 고찰 ........ 166

제 11 장. 시설환경의 자동 계측과 제어 ........ 175

제 1 절. 서론 ........ 175

제 2 절. 온실의 구조 및 환경 계측 ........ 176

제 3절 온실내의 환경 분석 ........ 186

제 4 절 오이 재배 농가 설문조사 분석 ........ 209

제 5절 복합 환경제어 시스템 및 소프트웨어 개발 ........ 212

제 12 장 요약 및 결론 ........ 231

참고문헌 ........ 237

부록 A. 농가 설문조사 양식 ........ 241

부록B. 오이 생장모형 프로그램 ........ 245

# 제 1 장 기상환경의 변이에 따른 오이 생육변이

## 제 1 절 서 론

고품질의 오이를 생산하기 위해서는 오이의 생육특성을 잘 알고, 앞으로 어떻게 자랄지 예측해야 한다. 특히 시설재배에서는 일조부족, 저온, 수분조건 등의 급격한 변화가 나타나기 쉽다. 이 같은 환경조건의 제어를 통한 관리가 중요한 관건이다. 온도환경은 원산지가 히말라야 산기슭으로 비교적 시원한 온도조건을 좋아하지만 온도교차에는 매우 민감한 반응을 보인다. 특히 겨울에는 저온, 여름에는 고온에 대한 적극적인 대처가 필요하다. 생육적온은 낮 22 28℃, 밤 15 18℃이며 밤과 낮의 온도차이는 7 10℃ 내외가 적당하다. 35℃ 이상에서는 고온장애가 일어나고, 7 8℃ 이하가 되면 생육이 정지된다. 광 환경의 경우 광 포화점은 40 50klux 정도이며, 광 보상점은 1klux 정도이다. 비교적 약한 광선에서도 생육은 잘 되는 편이나, 시설재배시에는 광량이 문제가 된다. 특히 저온기 시설재배시 햇빛이 너무 약하면 과실 자람이 늦고 곁가지의 발생이 감소하며, 기형과의 발생이 증가하기 때문에 햇빛의 부족은 수량과 품질에 영향을 끼친다. 따라서 시설재배시 품질과 수량을 높이기 위해서는 광 환경 개선에 노력해야 한다. 특히 하루 중 광합성에 의한 동화 건물량의 60 70%가 오전 중에 생산되므로 오전에 햇빛이 잘 들어오도록 하는 것이 매우 중요하다. 광합성에는 600 700㎚의 적색부근과 400 500㎚의 청색파장대에서 효과가 있고, 또한 파장은 광합성과 생장, 형태형성, 꽃의 분화 등에 연관이 있기 때문에 일장과 묘령에 주의를 기울일 필요가 있다. 오이는 자웅동주식물로서 다다기성이 아닌 품종의 경우 저온단일조건에서 암꽃의 착생비율이 높아지고, 고온장일에서는 수꽃 맺히는 비율이 높아진다. 대기환경 중 상대습도는 증산작용을 통해 오이의 생리에 영향을 미치는데 일반적으로 상대습도가 너무

낮으면 잎과 줄기, 과실의 생장이 억제되고 흰가루병이 많이 발생한다. 반대로 너무 높으면 덩굴이 웃자라고 병해의 발생이 많아진다. 또한 대기 중에는 약 300ppm의 탄산가스가 존재하는데, 하우스재배시 오이에 알맞은 적정 탄산가스 농도는 대기중의 3  5배 높은 900  1500ppm이 효과적이다. 본 연구는 오이의 생장해석을 구하기 위해 생리적 형질인 상대 생장율, 순 동화율, 엽면적 비율, 상대 엽면적, 엽중 비율, 작물 생장율, 엽면적 지수, 상대 엽면적 생장율 그리고 상대 질소 축적물 등을 조사하였다.

## 제 2 절 재료 및 방법

### 1. 1996년 여름재배에 있어서 하우스 형태 및 위치간 기상환경의 변이에 따른 오이 생육 및 수량변이 조사

1996년 5월 3일에 공시 품종인 겨우살이 청장오이 종자를 10시간 침종한 후 30℃ 인큐베이터에서 최아한 후 익일 암면프러그에 이식하였다가 5월 10일 암면큐브에다 이식하여 양액육묘하였다. 본 엽 1  2매때인 5월 23일에 암면슬라브에 정식하고 5월 31일부터 1주일 간격으로 7회에 걸쳐 처리구별 5주씩 표본채취하여 엽건물중, 경건물중, 경경, 엽출현 속도를 조사하였다. 또한 각 표본의 엽과 경의 질소, glucose 그리고 전분 함량을 조사하였다. 본 실험의 처리는 두 가지 형태의 비닐하우스와 하우스 내의 동서남북 4위치로 하여 하우스 형태와 위치간 기상환경의 변이가 오이생육에 미치는 영향을 밝히고자 하였다.

본 연구에 이용된 하우스는 1-2W형 2연동 하우스와 무기둥 하우스이다. 무기둥 하우스의 폭은 15m이고 길이는 24m이며, 1-2W형 2연동 하우스 폭은 14m이고 길이는 26m이다. 양액 재배 장치는 이스라엘 ELDER-GAL사의 GAL compact모델로 1996년 4월 22일에 설치 완료된 것으로 양액 공급 배관은 하우스내의 환경 변이를 줄이기 위하여 각 하우스에 6개의 급수파이프를 배치하고, 각 파이프에 4라인을 연결하였으며, 각 라인에는 20개씩의 노즐을 설치하였다.

실험에 사용한 양액의 조성은 표 1과 같다. 이 때의 pH는 5.9  6.2가 되도록 하였고, EC는 2.2로 유지하였다.

표 1.실험에 사용한 양액의 조성 (단위: ppm)

| Ca | Mg | K | NH4 | NO3 | PO4 | SO4 | Fe | Mn | Cu | Zn | B | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 162 | 50 | 314 | 19 | 226 | 42 | 65 | 3 | 0.5 | 0.02 | 0.05 | 0.5 | 0.01 |

양액의 공급은 1회에 50ml씩 오전 7시부터 오후 5시까지 30분 간격으로 21회 급액하여 주당 1일 총 1050ml를 급액하였으며, 작물의 생육단계나 하우스의 온도에 따라 가감하였다.

실험구는 각 하우스를 아래 그림과 같이 4구역( I 남동방향, II 남서방향, III 북서방향, IV 북동방향)으로 나누어 배치하였으며 각 구역 당 6개의 생장대가 설치되어 있으며, 또한 자동기상 관측대가 설치되어 매 10분 간격으로 평균기온, 최저기온, 최고기온, 평균상대습도, 최저상대습도, 최고상대습도 그리고 일사량이 측정되어 PC에 자동 입력된다.

무기둥 하우스

| | |
|---|---|
| I | II |
| IV | III |

1-2W형 하우스

| | |
|---|---|
| I | II |
| IV | III |

작물의 생장해석을 통해 구해진 생리적 형질들은 상대 생장율 (RGR : relative growth rate, g g-1 d-1), 순 동화율 (NAR : net assimilation rate, g dm-2 d-1), 엽면적 비율 (LAR : leaf area ratio, dm g-1), 상대 엽면적 (SLA : specific leaf area , dm g-1), 엽중 비율 (LWR : leaf weight ratio, g g-1), 작물 생장율 (CGR : crop growth rate, g m-2 d-1), 엽면적 지수 (LAI : leaf area ind ex ), 상대 엽면적 생장율 (RGRA : relative growth rate of leaves, dm2 dm-2 d-1), 그리고 상대 질소 축적율 (RARN, relative accumulation rate of nitrogen, g N g-1N)이 있으며 본 연구에서 이용한 계산 방법은 다음과 같다.

$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1)/(t_2 - t_1)$,

$NAR = (W_2 - W_1)(\ln A_2 - \ln A_1)/((A_2-A_1)(t_2 - t_1)$

$CGR = 1/P * (W_2 - W_1)/(t_2 - t_1)$,

$NAR = (W_2 - W_1)/(A_2 - A_1) \times (\ln A_2 - \ln A_1)/(t_2 - t_1)$,

$LAR = (A_1 + A_2)/(W_1 + W_2)$,

$SLA = (A_1 + A_2)/(LW_1+LW_2)$,

$LWR = (LW_1+LW_2)/(W_1 + W_2)$,

$RGRA = (\ln A_2 - \ln A_1)/(t_2 - t_1)$

$RARN = (\ln N_2 - \ln N_1)/(t_2 - t_1)$

의 식을 통해 구하였는데 이때 $W_i$, $A_i$, $L_i$, $N_i$, $LW_1$는 각각 $t_i$시간에서의 지상부 건물중, 엽면적, 엽면적 지수, 식물체 총 N함량, 그리고 엽중이며 P는 단위 경지면적이다.

기상환경의 계측은 외부기상으로서 기온, 상대습도, 일사량, 강수량, 풍속을 측정하였으며 하우스 내의 기상으로는 평균기온, 최저기온, 최고기온, 상대습도, 일사량 등을 매 10분 간격으로 자동 측정하였다.

## 2. 1996년 시설억제재배에 있어서 하우스 형태 및 위치에 따른 오이 생육변이 및 수량변이 조사

1996년 8월 31일 겨우살이 청장오이 종자를 10시간 침종한 후 30℃ 인큐베이터에서 최아한 다음 익일 암면프러그에 이식하였다가 9월 7일 암면큐브에

이식하여 제 1차 재배실험과 동일하게 양액육묘하였다. 하우스 내 암면 슬라브로의 정식은 9월 16일 실시하였고, 9월 20일부터 1주일 간격으로 생육조사를 실시하였다. 생육조사항목과 생육조사방법은 위 1 실험과 동일하다.

# 제 3 절 결과 및 고찰

## 1. 1996년 여름재배에 있어서 기상환경의 변이에 따른 오이 생육변이

### 가. 하우스 형태 및 위치별 기상요인의 변이

생육기간, 하우스 형태 그리고 조사위치별 기상요인, 즉 일 평균기온, 일 평균습도, 그리고 일 누적일사량이 표 1-1에 제시되어 있다. 조사위치를 반복으로 하여 생육기간별 분산분석을 실시한 결과 전 생육기간을 통하여 하우스 형태간 평균기온이나 평균 상대습도의 유의한 차이는 없었다. 그러나 일사량에 있어서는 전 생육기간을 통하여 하우스 형태간 고도의 유의한 차이를 보였으며 1-2W형 하우스가 무기둥 하우스보다 높았다. 그 원인은 1-2W형 하우스는 이중 비닐인 반면 무기둥 하우스는 3중 비닐인 것에 기인한 것으로 생각된다.

하우스 내부의 위치별 기상요인에서의 변이는 반복이 없는 관계로 분산분석을 통하여 비교할 수는 없지만, 일 일사량은 1-2W형 하우스에서는 모든 조사시기를 통해서 2지점이 가장 높았고, 무기둥 하우스에서는 대부분의 경우 3지점이 높았으며 평균기온이나 상대습도에서는 지점간 일정한 경향이 없었다. 전 생육기간의 하우스별, 조사지점별 평균기온, 상대습도 그리고 누적일사량은 다음 표 1-2와 같다.

표 1-2. 1996년 여름 재배의 전 생육기간에 걸친 하우스 형태 및 조사구역에 따른 평균 및 누적일사량

| 하우스 형 태 | 조 사 구 역 | 평균 기온 (℃) | 평균 상대습도 (%) | 누적일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|
| 1-2W | 1 | 25.43 | 62.85 | 128.04 |
| | 2 | 25.87 | 68.21 | 142.64 |
| | 3 | 25.54 | 62.18 | 126.77 |
| | 4 | 25.61 | 69.24 | 131.88 |
| 무기둥 | 1 | 25.17 | 63.41 | 104.63 |
| | 2 | 25.68 | 59.35 | 92.02 |
| | 3 | 26.20 | 65.95 | 107.31 |
| | 4 | 25.75 | 68.72 | 98.60 |

나. 하우스 형태별 생육변이

조사 시기, 하우스 형태, 그리고 하우스 내 조사 위치에 따른 주요 생육 형질의 측정 결과는 표 1-3에 주어져 있다. 조사 위치별 5개체의 임의 표본을 개체 반복으로 하여 분산분석을 실시한 결과 조사위치간에는 조사형질간의 유의한 차이를 찾아낼 수 없었다. 따라서 이들 5개체의 평균을 이용하여 생육 시기별 하우스 형태간 분산분석을 실시한 결과 6월 7일과 6월 14일 조사시기를 제외하고 전 조사 기간을 통해 엽 건물중에서 유의한 차이가 있었는데 1-2W 형 하우스가 무기둥 하우스보다 높았다. 그러나 엽면적에서는 6월 14일 조사에 무기둥 하우스가 1-2W형 보다 높았으며 7월 12일 조사시기에는 1-2W형 하우스가 무기둥 하우스보다 높았다. 엽 건물중과 엽면적에서의 이러한 차이는 하우스 형태에 따른 기상환경, 특히 광량의 차이에 기인한 것으로 생각된다.

표 1-1. 생육기간, 하우스형태, 그리고 조사 위치별 기상요인의 일 평균값

| 생 육<br>기 간 | 하우스<br>형 태 | 조 사<br>구 역 | 평균 기온<br>( ℃ ) | 평균 상대습도<br>( % ) | 일사량<br>(mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|
| 5/24부터<br>5/31까지 | 1-2W | 1 | 26.15 | 55.33 | 27.50 |
| | | 2 | 26.58 | 56.96 | 30.31 |
| | | 3 | 27.40 | 49.04 | 27.95 |
| | | 4 | 26.47 | 57.77 | 29.63 |
| | 무기둥 | 1 | 26.20 | 53.84 | 23.22 |
| | | 2 | 27.59 | 47.59 | 20.40 |
| | | 3 | 28.03 | 49.49 | 23.16 |
| | | 4 | 26.70 | 57.91 | 24.64 |
| 6/ 1부터<br>6/ 7까지 | 1-2W | 1 | 26.45 | 54.11 | 26.40 |
| | | 2 | 26.82 | 58.34 | 29.89 |
| | | 3 | 26.11 | 54.23 | 27.40 |
| | | 4 | 26.84 | 61.64 | 28.49 |
| | 무기둥 | 1 | 26.10 | 55.97 | 22.37 |
| | | 2 | 26.33 | 50.49 | 20.95 |
| | | 3 | 26.78 | 59.22 | 22.86 |
| | | 4 | 26.53 | 60.12 | 20.21 |
| 6/ 8부터<br>6/14까지 | 1-2W | 1 | 24.69 | 68.58 | 17.64 |
| | | 2 | 25.07 | 73.14 | 19.53 |
| | | 3 | 25.04 | 68.46 | 17.11 |
| | | 4 | 24.74 | 74.45 | 17.68 |
| | 무기둥 | 1 | 24.42 | 67.40 | 14.18 |
| | | 2 | 24.78 | 63.40 | 12.43 |
| | | 3 | 25.29 | 71.52 | 14.70 |
| | | 4 | 24.98 | 73.15 | 12.25 |
| 6/15부터<br>6/22까지 | 1-2W | 1 | 25.53 | 66.55 | 20.52 |
| | | 2 | 26.03 | 72.23 | 22.83 |
| | | 3 | 25.32 | 65.92 | 19.80 |
| | | 4 | 25.72 | 73.18 | 20.47 |
| | 무기둥 | 1 | 25.27 | 67.20 | 16.28 |
| | | 2 | 25.69 | 63.58 | 14.27 |
| | | 3 | 26.14 | 71.10 | 17.03 |
| | | 4 | 25.84 | 73.29 | 15.06 |

표 1-1. 계속됨

| 생 육 기 간 | 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 평균 기온 ( ℃ ) | 평균 상대습도 ( % ) | 일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|
| 6/23부터 6/28까지 | 1-2W | 1 | 24.20 | 69.19 | 18.28 |
| | | 2 | 24.63 | 75.64 | 19.87 |
| | | 3 | 24.04 | 68.57 | 16.76 |
| | | 4 | 24.28 | 75.58 | 17.32 |
| | 무기둥 | 1 | 23.81 | 69.53 | 13.84 |
| | | 2 | 24.23 | 66.99 | 11.51 |
| | | 3 | 24.76 | 73.83 | 14.70 |
| | | 4 | 24.45 | 76.55 | 12.70 |
| 6/29부터 7/ 5까지 | 1-2W | 1 | 25.74 | 62.96 | 17.70 |
| | | 2 | 26.30 | 72.46 | 20.21 |
| | | 3 | 25.50 | 66.46 | 17.75 |
| | | 4 | 25.78 | 72.49 | 18.29 |
| | 무기둥 | 1 | 25.41 | 66.18 | 14.74 |
| | | 2 | 25.70 | 63.55 | 12.46 |
| | | 3 | 26.39 | 70.14 | 14.86 |
| | | 4 | 26.17 | 70.86 | 13.74 |
| 7/ 6부터 7/12까지 | 1-2W | 1 | 26.87 | 49.64 | 26.05 |
| | | 2 | 25.00 | 64.31 | 32.72 |
| | | 3 | 24.29 | 59.91 | 29.80 |
| | | 4 | 24.73 | 65.85 | 30.56 |
| | 무기둥 | 1 | 24.21 | 60.89 | 23.45 |
| | | 2 | 24.61 | 57.22 | 21.69 |
| | | 3 | 25.15 | 64.45 | 23.82 |
| | | 4 | 24.74 | 67.62 | 22.15 |

표 1-3. 조사 시기, 하우스 형태, 그리고 하우스 내 위치에 따른 생육조사 결과

| 조 사<br>시 기 | 하우스<br>형 태 | 조 사<br>위 치 | 초 장<br>(cm) | 엽 수<br>(plant-1) | 엽면적<br>(dm2/plant) | 엽건물중<br>(g/plant) | 경건물중<br>(g/plant) | 과일생체중<br>(g/plant) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5월<br>31일 | 1-2W | 1 | 20.5 | 5.6 | 6.1 | 1.8 | .6 | - |
| | | 2 | 19.4 | 5.4 | 5.6 | 2.0 | .6 | - |
| | | 3 | 20.3 | 5.4 | 5.9 | 2.0 | .7 | - |
| | | 4 | 18.3 | 5.2 | 5.3 | 1.6 | .5 | - |
| | 무기둥 | 1 | 18.2 | 5.6 | 5.3 | 1.5 | .4 | - |
| | | 2 | 19.8 | 5.8 | 5.8 | 1.7 | .5 | - |
| | | 3 | 17.0 | 5.2 | 4.7 | 1.5 | .4 | - |
| | | 4 | 18.5 | 5.4 | 5.7 | 1.8 | .5 | - |
| 6월<br>7일 | 1-2W | 1 | 49.3 | 11.4 | 14.9 | 4.7 | 2.0 | - |
| | | 2 | 52.2 | 11.2 | 14.5 | 5.1 | 2.2 | - |
| | | 3 | 63.6 | 12.0 | 18.8 | 6.6 | 2.9 | - |
| | | 4 | 54.7 | 11.6 | 16.8 | 5.5 | 2.6 | - |
| | 무기둥 | 1 | 63.8 | 12.0 | 19.0 | 6.2 | 2.7 | - |
| | | 2 | 55.7 | 11.6 | 17.4 | 5.4 | 2.4 | - |
| | | 3 | 53.5 | 11.0 | 17.2 | 5.3 | 2.4 | - |
| | | 4 | 52.5 | 11.0 | 17.5 | 5.6 | 2.4 | - |
| 6월<br>14일 | 1-2W | 1 | 105.3 | 17.8 | 35.5 | 12.2 | 5.8 | - |
| | | 2 | 102.0 | 17.0 | 34.0 | 10.7 | 5.2 | - |
| | | 3 | 114.0 | 17.6 | 40.3 | 13.2 | 6.2 | - |
| | | 4 | 93.0 | 15.2 | 36.4 | 12.0 | 5.4 | - |
| | 무기둥 | 1 | 110.2 | 17.8 | 42.2 | 13.0 | 6.1 | - |
| | | 2 | 114.2 | 18.4 | 43.6 | 12.4 | 5.9 | - |
| | | 3 | 106.2 | 15.6 | 38.3 | 10.2 | 4.8 | - |
| | | 4 | 117.5 | 18.0 | 46.9 | 13.2 | 6.4 | - |
| 6월<br>22일 | 1-2W | 1 | 180.7 | 25.8 | 74.2 | 26.6 | 9.4 | 6.6 |
| | | 2 | 177.6 | 23.6 | 71.5 | 25.9 | 8.2 | 13.3 |
| | | 3 | 182.2 | 24.2 | 71.9 | 26.6 | 10.5 | 15.9 |
| | | 4 | 180.4 | 24.4 | 75.8 | 27.4 | 10.2 | 8.3 |
| | 무기둥 | 1 | 184.9 | 24.6 | 78.2 | 24.5 | 10.0 | 7.5 |
| | | 2 | 171.9 | 22.2 | 73.5 | 22.4 | 10.1 | 8.7 |
| | | 3 | 177.5 | 23.6 | 73.0 | 23.2 | 9.2 | 8.0 |
| | | 4 | 190.0 | 24.8 | 81.8 | 26.0 | 9.9 | 6.5 |

표 1-3. 계속됨

| 조 사 시 기 | 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 초 장 (cm) | 엽 수 (plant-1) | 엽면적 (dm2/plant) | 엽건물중 (g/plant) | 경건물중 (g/plant) | 과일생체중 (g/plant) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6월 28일 | 1-2W | 1 | 212.4 | 29.2 | 93.7 | 26.4 | 17.0 | 84.4 |
| | | 2 | 225.8 | 28.8 | 101.6 | 29.0 | 18.1 | 330.2 |
| | | 3 | 232.2 | 28.4 | 105.5 | 30.0 | 19.4 | 93.5 |
| | | 4 | 232.9 | 29.0 | 109.0 | 31.4 | 20.5 | 97.4 |
| | 무기둥 | 1 | 240.0 | 30.0 | 110.9 | 27.8 | 17.9 | 78.2 |
| | | 2 | 236.9 | 28.8 | 107.8 | 27.6 | 18.0 | 96.0 |
| | | 3 | 228.6 | 26.8 | 101.1 | 26.7 | 15.9 | 88.3 |
| | | 4 | 226.0 | 27.0 | 104.8 | 25.4 | 17.1 | 36.4 |
| 7월 5일 | 1-2W | 1 | 245.8 | 31.8 | 110.1 | 43.4 | 20.7 | 557.1 |
| | | 2 | 249.5 | 33.4 | 117.4 | 45.0 | 20.9 | 602.3 |
| | | 3 | 272.6 | 33.8 | 122.6 | 45.1 | 23.2 | 782.3 |
| | | 4 | 258.6 | 31.8 | 107.8 | 40.2 | 20.8 | 586.2 |
| | 무기둥 | 1 | 261.0 | 30.8 | 102.3 | 36.9 | 18.9 | 393.6 |
| | | 2 | 276.7 | 31.6 | 120.9 | 42.0 | 20.3 | 504.4 |
| | | 3 | 270.1 | 31.2 | 114.6 | 36.6 | 19.4 | 426.4 |
| | | 4 | 263.5 | 32.2 | 115.1 | 39.9 | 19.9 | 454.7 |
| 7월 12일 | 1-2W | 1 | 268.4 | 32.6 | 103.6 | 45.2 | 22.2 | 1301.6 |
| | | 2 | 284.5 | 33.8 | 108.8 | 42.1 | 22.4 | 697.9 |
| | | 3 | 287.0 | 33.2 | 109.6 | 40.4 | 19.9 | 994.0 |
| | | 4 | 278.2 | 31.8 | 98.6 | 36.3 | 19.3 | 1120.8 |
| | 무기둥 | 1 | 281.6 | 32.0 | 85.5 | 34.2 | 16.4 | 937.3 |
| | | 2 | 292.8 | 29.0 | 90.7 | 31.3 | 19.7 | 1304.8 |
| | | 3 | 285.7 | 32.8 | 96.3 | 35.1 | 19.6 | 1056.9 |
| | | 4 | 301.6 | 32.6 | 95.6 | 33.6 | 18.8 | 923.1 |

### 다. 식물체 내 전 질소함량의 변이

조사시기, 하우스 형태, 그리고 조사위치별 엽과 경의 질소함량의 변이는 표 1-4에 주어져 있다. 분산분석 결과 엽 및 줄기의 질소함량에 있어서 하우스 형태간 차이가 없었다. 다만 이들 전 질소함량은 생육기간이 진전됨에 따라 점점 낮아지는 것으로 나타났는데 그 원인은 질소의 상대 축적율(RARN)이 식물의 상대 생장율(RGR)보다 낮은데 있다 (표 1-5).

표 1-4. 조사시기, 하우스 형태, 그리고 조사 위치별 엽 및 줄기의 질소함량 (%)

| 부위 | 하우스 형태 | 조사 위치 | 조사시기 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5/31 | 6/ 7 | 6/14 | 6/22 | 6/28 | 7/ 5 | 7/15 |
| 엽 | 1-2W | 1 | 5.736 | 5.006 | 4.350 | 4.242 | 3.828 | 3.448 | 3.082 |
| | | 2 | 5.756 | 4.772 | 4.268 | 4.295 | 3.938 | 3.916 | 3.120 |
| | | 3 | 5.186 | 4.862 | 4.513 | 4.439 | 4.222 | 4.076 | 3.776 |
| | | 4 | 5.418 | 4.102 | 4.852 | 4.234 | 3.952 | 3.778 | 3.300 |
| | 무기둥 | 1 | 5.434 | 4.570 | 4.568 | 4.199 | 3.850 | 3.944 | 2.830 |
| | | 2 | 6.334 | 4.614 | 3.528 | 4.260 | 3.895 | 3.928 | 3.262 |
| | | 3 | 5.636 | 4.920 | 4.355 | 4.293 | 3.934 | 3.616 | 3.298 |
| | | 4 | 5.296 | 4.866 | 4.622 | 4.423 | 4.168 | 3.807 | 3.776 |
| 경 | 1-2W | 1 | 3.904 | 4.210 | 4.136 | 2.708 | 4.005 | 3.230 | 3.208 |
| | | 2 | 4.160 | 4.172 | 4.038 | 2.762 | 3.658 | 3.372 | 3.384 |
| | | 3 | 4.540 | 4.540 | 4.476 | 3.048 | 3.980 | 3.440 | 3.476 |
| | | 4 | 4.168 | 4.060 | 4.432 | 3.158 | 4.232 | 3.892 | 3.404 |
| | 무기둥 | 1 | 4.288 | 4.514 | 4.568 | 3.076 | 3.418 | 3.392 | 2.582 |
| | | 2 | 4.540 | 4.236 | 4.100 | 3.120 | 3.806 | 3.953 | 3.262 |
| | | 3 | 4.618 | 4.348 | 4.124 | 3.078 | 4.344 | 4.108 | 3.270 |
| | | 4 | 4.506 | 4.312 | 4.316 | 2.788 | 3.704 | 3.760 | 2.824 |

### 라. 생리적 형질에서의 변이

조사시기, 하우스 형태, 그리고 조사위치에 따른 생리적 형질들의 변이는 표 1-5에 제시되어 있다. CGR과 LAI를 제외한 생리적 형질들은 시간이 흐름에 따라 점차 감소하는 경향이었다. CGR은 단위 면적 당 작물생산량으로서 시간이 지남에 따라 증가하나 생육후기인 7월 6일부터 7월 12일까지의 생육기간에서 엽이 노화함에 따라 감소한 것으로 생각된다. 조사기간에 따른 하우스 형태별 생리적 형질에 대한 분산분석 결과 6월 8일 이후의 조사에서 LAI와 SLA에서 유의한 차이를 보였는데 무기둥 하우스에서 1-2W형 하우스보다 높은 값을 보였다. 이것은 일사광량이 낮은 조건에서 엽에의 투자가 상대적으로 많고, 엽이 엷은데 기인한 것으로 생각된다.

**마. 생리적 형질간 상호관계**

식물개체의 생장량의 대소는 상대 생장율(RGR)의 대소에 의해 평가된다. 즉 RGR이 큰 식물체는 생장을 많이 하는 것으로 수확 지수(Harvest index)가 동일하다고 가정하면 RGR이 작은 개체보다 수량도 많을 것이다. 생리적 형질들 간의 상관관계는 표 1-6에 제시되어 있다. RGR, NAR 그리고 LAR의 관계는

$$RGR = NAR \times LAR$$

로 표현되므로 순 동화율 (NAR, 단위 면적당 순 광합성율) 과 엽면적 비율(LAR)이 큰 개체가 상대 생장율도 높은 것은 당연하다. 이 들이 상대 생장율에 미치는 영향정도를 알아보기 위하여 표준편회귀분석을 실시하였던 바

$$RGR = 0.9149\ NAR + 0.1256\ LAR, \quad (R2 = 0.9826,\ df=45\ )$$

의 식을 얻었으며 RGR 의 증가에 대해 LAR보다는 NAR이 훨씬 중요한 것으로 나타났다.

단위엽면적당 광합성율(NAR)은 엽중 질소 농도(LN)와 밀접한 관계가 있다. 본 연구에서의 NAR과 LN과의 관계는 Fig. 1-1과 같으며 LN이 증가할수록 NAR도 직선적인 증가를 보였다. 한편 엽면적 비율(LAR)은 상대 엽면적(SLA) 및 엽중 비율(LWR)과 다음의 관계가 있다.

$$LAR = SLA \times LWR$$

따라서 LAR 는 SLA와 LWR에 의해 지대한 영향을 받게 되는데 표준편회귀분석 결과

$$LAR = 0.5116\ SLA + 0.6936\ LWR, \quad (R2 = 0.9970)$$

의 관계식을 얻었으며 LAR의 증대에는 LWR의 증대가 보다 크게 작용함을 알 수 있었다.

표 1-5. 시기별 하우스 형태별 그리고 조사 위치별 생장해석 결과

| 조사 시기 | 하우스 형태 | 조사 위치 | RGR | NAR | LAR | SLA | LWR | CGR | LAI | RGRA | RARN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6월 7일 | 1-2W | 1 | .1427 | .0617 | 2.2831 | 3.2049 | .7124 | 1.6356 | .2830 | .1288 | .1287 |
| | | 2 | .1495 | .0727 | 2.0264 | 2.8194 | .7187 | 1.8377 | .2714 | .1361 | .1262 |
| | | 3 | .1791 | .0871 | 2.0211 | 2.8776 | .7024 | 2.6165 | .3330 | .1645 | .1717 |
| | | 4 | .1921 | .0860 | 2.1586 | 3.1199 | .6919 | 2.3204 | .2989 | .1645 | .1605 |
| | 무기둥 | 1 | .2176 | .0929 | 2.2385 | 3.1338 | .7143 | 2.6875 | .3280 | .1836 | .1990 |
| | | 2 | .1817 | .0756 | 2.3326 | 3.2793 | .7113 | 2.1500 | .3123 | .1569 | .1425 |
| | | 3 | .1998 | .0859 | 2.2831 | 3.2645 | .6994 | 2.2371 | .2960 | .1857 | .1813 |
| | | 4 | .1791 | .0779 | 2.2515 | 3.1513 | .7145 | 2.2086 | .3131 | .1614 | .1667 |
| 6월 14일 | 1-2W | 1 | .1407 | .0678 | 2.0417 | 2.9808 | .6849 | 4.3439 | .6804 | .1238 | .1253 |
| | | 2 | .1107 | .0536 | 2.0849 | 3.0676 | .6796 | 3.3137 | .6552 | .1217 | .0977 |
| | | 3 | .1020 | .0502 | 2.0436 | 2.9919 | .6830 | 3.8180 | .7970 | .1093 | .0939 |
| | | 4 | .1082 | .0519 | 2.0893 | 3.0444 | .6863 | 3.5550 | .7190 | .1104 | .1288 |
| | 무기둥 | 1 | .1089 | .0500 | 2.1848 | 3.1821 | .6866 | 3.9275 | .8260 | .1136 | .1093 |
| | | 2 | .1228 | .0529 | 2.3412 | 3.4284 | .6829 | 4.0686 | .8230 | .1317 | .0953 |
| | | 3 | .0944 | .0391 | 2.4536 | 3.5989 | .6818 | 2.7823 | .7491 | .1140 | .0799 |
| | | 4 | .1273 | .0551 | 2.3399 | 3.4415 | .6799 | 4.4434 | .8702 | .1407 | .1219 |
| 6월 22일 | 1-2W | 1 | .1011 | .0503 | 2.0144 | 2.8289 | .7121 | 7.1332 | 1.4805 | .1053 | .0837 |
| | | 2 | .1122 | .0538 | 2.0736 | 2.8806 | .7198 | 7.3337 | 1.4244 | .1061 | .0996 |
| | | 3 | .0957 | .0484 | 1.9587 | 2.8257 | .6932 | 7.1332 | 1.5146 | .0828 | .0772 |
| | | 4 | .1126 | .0553 | 2.0212 | 2.8478 | .7098 | 8.0278 | 1.5150 | .1046 | .0849 |
| | 무기둥 | 1 | .0866 | .0390 | 2.2236 | 3.2074 | .6933 | 6.1384 | 1.6240 | .0882 | .0610 |
| | | 2 | .0847 | .0369 | 2.2793 | 3.3646 | .6774 | 5.7066 | 1.5811 | .0746 | .0894 |
| | | 3 | .1135 | .0481 | 2.3202 | 3.3302 | .6967 | 6.9790 | 1.5011 | .0921 | .0995 |
| | | 4 | .0886 | .0382 | 2.3054 | 3.2885 | .7010 | 6.4700 | 1.7379 | .0794 | .0683 |
| 6월 28일 | 1-2W | 1 | .0328 | .0161 | 2.0385 | 3.1690 | .6433 | 3.6244 | 2.2657 | .0333 | .0288 |
| | | 2 | .0528 | .0261 | 2.0234 | 3.1535 | .6417 | 6.0305 | 2.3364 | .0502 | .0421 |
| | | 3 | .0455 | .0231 | 1.9712 | 3.1388 | .6280 | 5.4752 | 2.3941 | .0547 | .0438 |
| | | 4 | .0508 | .0255 | 1.9950 | 3.1417 | .6350 | 6.2849 | 2.4947 | .0519 | .0500 |
| | 무기둥 | 1 | .0443 | .0194 | 2.2844 | 3.6149 | .6319 | 4.9046 | 2.5514 | .0499 | .0328 |
| | | 2 | .0531 | .0238 | 2.2360 | 3.6238 | .6170 | 5.7451 | 2.4472 | .0547 | .0468 |
| | | 3 | .0440 | .0197 | 2.2332 | 3.4881 | .6402 | 4.5884 | 2.3489 | .0466 | .0437 |
| | | 4 | .0269 | .0116 | 2.3272 | 3.6331 | .6406 | 2.9073 | 2.5182 | .0353 | .0244 |

표 1-5. 계속됨

| 조사시기 | 하우스형태 | 조사위치 | RGR | NAR | LAR | SLA | LWR | CGR | LAI | RGRA | RARN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7월 5일 | 1-2W | 1 | .0733 | .0432 | 1.6635 | 2.9182 | .5700 | 11.8604 | 2.7505 | .0231 | .0357 |
| | | 2 | .0705 | .0422 | 1.6409 | 2.9611 | .5542 | 12.4542 | 2.9563 | .0207 | .0452 |
| | | 3 | .0768 | .0465 | 1.6143 | 3.0397 | .5311 | 14.2896 | 3.0775 | .0215 | .0371 |
| | | 4 | .0490 | .0294 | 1.6517 | 3.0296 | .5452 | 8.5984 | 2.9258 | -.0017 | .0144 |
| | 무기둥 | 1 | .0467 | .0248 | 1.8708 | 3.2945 | .5678 | 7.1178 | 2.8766 | -.0115 | .0316 |
| | | 2 | .0661 | .0353 | 1.8408 | 3.2864 | .5601 | 10.8810 | 3.0859 | .0163 | .0473 |
| | | 3 | .0616 | .0321 | 1.8914 | 3.4092 | .5548 | 9.3387 | 2.9114 | .0179 | .0285 |
| | | 4 | .0729 | .0379 | 1.8807 | 3.3669 | .5586 | 11.2512 | 2.9670 | .0134 | .0423 |
| 7월 12일 | 1-2W | 1 | .0331 | .0267 | 1.2338 | 2.4103 | .5119 | 7.6962 | 2.8845 | -.0087 | -.0036 |
| | | 2 | .0175 | .0136 | 1.2812 | 2.5970 | .4933 | 4.1643 | 3.0533 | -.0109 | -.0246 |
| | | 3 | -.0068 | -.0051 | 1.3328 | 2.7154 | .4908 | -1.5886 | 3.1331 | -.0160 | -.0243 |
| | | 4 | .0062 | .0047 | 1.3150 | 2.6978 | .4874 | 1.3033 | 2.7852 | -.0126 | -.0320 |
| | 무기둥 | 1 | .0070 | .0051 | 1.3835 | 2.6395 | .5242 | 1.2801 | 2.5341 | -.0256 | -.0580 |
| | | 2 | -.0202 | -.0137 | 1.4854 | 2.8872 | .5145 | -3.8712 | 2.8545 | -.04111 | -.0551 |
| | | 3 | .0186 | .0131 | 1.4258 | 2.9423 | .4846 | 3.7170 | 2.8462 | -.0249 | -.0233 |
| | | 4 | .0113 | .0082 | 1.3851 | 2.8652 | .4834 | 2.3135 | 2.8428 | -.0266 | -.0327 |

표 1-6. 생리적 형질들 간의 상관관계

| | NAR | LAR | SLA | LWR | CGR | LAI | RGRA | RARN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RGR | 0.9858** | 0.6421** | 0.1826 | 0.7911** | -0.0405 | -0.8813** | 0.9404** | 0.9694** |
| NAR | | 0.5642** | 0.1014 | 0.7450** | 0.0711 | -0.8338** | 0.9009** | 0.9477** |
| LAR | | | 0.7600** | 0.8770** | -0.0524 | -0.6800** | 0.7736** | 0.7431** |
| SLA | | | | 0.3587** | 0.0976 | -0.1470 | 0.2691 | 0.2839 |
| LWR | | | | | -0.1119 | -0.8577** | 0.9088** | 0.8635** |
| CGR | | | | | | 0.3832** | -0.1882 | -0.0548 |
| LAI | | | | | | | -0.9484** | -0.8912** |
| RGRA | | | | | | | | 0.9634** |

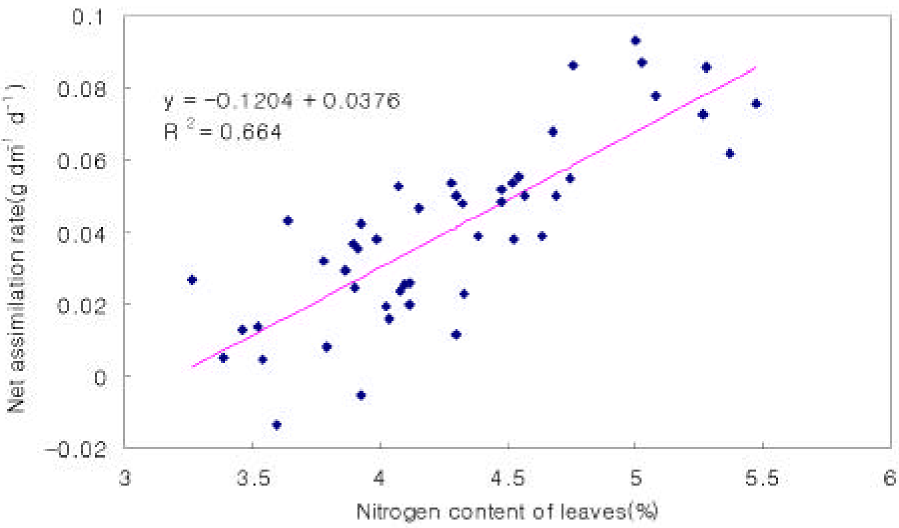



Fig. 1-1. Relationship between net assimilation rate and nitrogen content of leaves

### 바. 기상요인과 생리적 형질과의 관계

식물체의 상대 생장율(RGR)과 순 동화율(NAR)은 기상요인 중 생육기간의 일 평균온도와 正의 직선적인 관계를 보였다(표 1-7). 한편, 일 누적일사량(DSR, Daily Solar Radiation)과 LAR 및 SLA는 고도로 유의한 부의 직선관계를 보였는데 그 관계식은 다음과 같다.

LAR = 2.5975 - 0.00025 DSR, ($R2$ = 0.2663, DF = 46)

SLA = 3.9001 - 0.00031 DSR, ($R2$ = 0.6003, DF = 46)

표 1-7. 기상요소와 생리적 형질간의 상관관계

| | RGR | NAR | LAR | SLA | LWR | CGR | LAI | RGRA | RARN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 평균기온 | 0.600** | 0.641** | 0.105 | -0.125 | 0.249 | 0.247 | -0.349* | 0.380* | 0.488** |
| 일사량 | 0.061 | 0.087 | -0.516** | -0.773** | -0.188 | -0.395* | -0.101 | -0.016 | -0.050 |

사. 적산기온과 출현 엽수 및 개화시기의 관계

식물의 영양생장기에서 생식생장기로의 전환은 과실의 형성으로 인한 식물체 동화산물의 전이(translocation)에 커다란 영향을 미친다. 따라서 식물생장 모형의 개발에는 이 전환기의 예측이 매우 중요하다. 본 연구에서는 파종기에서 개화기까지의 적산온도(Accumulated temperature ; AT)를 계산한 결과 AT = 1260℃에서 개화함을 알 수 있었고 출현 엽수가 8 10엽인 시기에 해당한다. 적산온도와 출현 엽수와의 관계를 살펴보았던 바 Fig. 1-2의 결과를 얻었다.

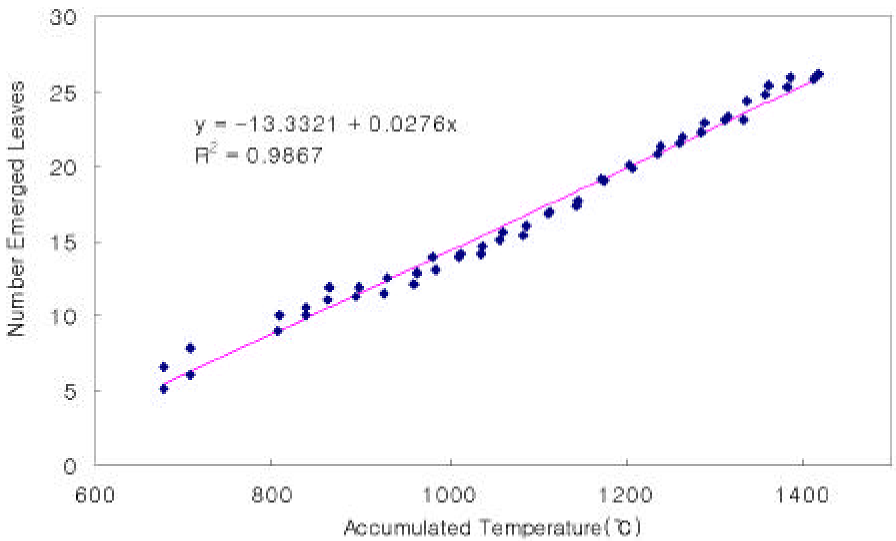



Fig. 1-2. Comparisons of observed and predicted number of emerged leaves

아. 하우스 형태별 수량변이

하우스 형태별 7월 5일에서 7월 12일 까지 2회에 걸쳐 오이를 수확하였던 바 그 결과가 표 1-8에 제시되어 있다. 하우스 내 재식밀도가 일정한 관계로 주당 생과중은 수확량과 일치하게 되는데 분산분석 결과 하우스 형태간 수량에서의 차이는 없었다.

표 1-8. 하우스 형태 당 하우스 내 조사위치에 따른 과실수량 및 수량형질의 변이

| 하우스 형태 | 조사 시기 | 주수 | 과실수 | 생체중(10개) | 총과중(kg) | 과중/주(g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-2W 형 하우스 | 1 | 124 | 140 | 3757.5 | 52.605 | 424.0 |
| | 2 | 102 | 123 | 3732.3 | 45.907 | 450.1 |
| | 3 | 96 | 122 | 4068.2 | 49.632 | 517.0 |
| | 4 | 93 | 112 | 3528.2 | 39.515 | 424.9 |
| 무기둥 하우스 | 1 | 111 | 150 | 3208.7 | 48.130 | 433.6 |
| | 2 | 111 | 172 | 3049.1 | 52.444 | 472.5 |
| | 3 | 120 | 177 | 3355.0 | 59.383 | 494.9 |
| | 4 | 118 | 170 | 3394.3 | 57.703 | 489.0 |

## 2. 1996년 시설억제재배에 있어서 기상환경의 변이에 따른 오이 생육변이

### 가. 하우스 형태 및 위치별 기상요인의 변이

생육기간, 하우스 형태 그리고 조사위치별 기상요인, 즉 일 평균기온, 일 최저기온, 일 최고기온 일 평균상대습도, 일 최저습도, 일 최고습도의 평균 그리고 일 누적일사량이 표 1-9에 제시되어 있다. 조사위치를 반복으로 하여 생육기간별 분산분석을 실시한 결과 전 생육기간을 통하여 하우스 형태간 일 누적일사량을 제외한 모든 기상요인에 있어서 유의한 차이는 없었다. 일 누적일사량에 있어서는 전 생육기간을 통하여 하우스 형태간 고도의 유의한 차이를 보였으며, 1-2W형 하우스가 무기둥 하우스보다 높았다. 그 원인은 1-2W형 하우스는 이중 비닐인 반면 무기둥 하우스는 3중 비닐인 것에 기인한 것으로 생각된다.

하우스 내부의 위치별 기상요인에서의 변이는 반복이 없는 관계로 분산분석을 통하여 비교할 수는 없지만, 일 일사량은 1-2W형 하우스에서는 모든 조사시기를 통해서 2지점이 가장 높았고 무기둥 하우스에서는 1지점이 높았으며 평균기온이나 상대습도에서는 지점간 일정한 경향이 없었다. 전 생육기간의 하

우스별 조사지점별 기온, 상대습도 그리고 누적일사량은 다음 표 1-10와 같다.

표 1-9. 1996년 9월에 실시한 실험의 생육기간, 하우스 형태, 그리고 조사 위치별 기상요인의 일 평균값

| 생 육 기 간 | 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 평균 기온 (℃) | 최저 기온 (℃) | 최고 기온 (℃) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누 적 일사량 (mmol m-2d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9/20부터 9/26까지 | 1-2w | 1 | 27.84 | 18.87 | 41.09 | 33.10 | 8.66 | 55.83 | 22.6 |
| | | 2 | 25.58 | 17.57 | 36.35 | 44.47 | 11.75 | 69.95 | 33.1 |
| | | 3 | 27.99 | 18.81 | 41.67 | 36.16 | 8.56 | 57.26 | 28.9 |
| | | 4 | 25.14 | 16.97 | 36.65 | 49.61 | 28.11 | 69.95 | 32.6 |
| | 무기둥 | 1 | 25.25 | 17.39 | 36.58 | 41.87 | 13.07 | 62.82 | 23.2 |
| | | 2 | 25.88 | 17.94 | 37.35 | 37.35 | 10.02 | 58.11 | 21.7 |
| | | 3 | 26.25 | 18.33 | 37.19 | 42.52 | 11.34 | 65.12 | 20.9 |
| | | 4 | 28.73 | 20.25 | 41.40 | 39.54 | 10.15 | 59.52 | 20.6 |
| 9/27부터 10/ 4까지 | 1-2w | 1 | 26.12 | 19.79 | 35.43 | 38.10 | 12.36 | 57.73 | 17.5 |
| | | 2 | 24.07 | 18.63 | 31.49 | 53.46 | 31.91 | 71.55 | 23.8 |
| | | 3 | 26.15 | 19.88 | 35.74 | 42.56 | 20.51 | 58.53 | 19.4 |
| | | 4 | 23.50 | 17.97 | 31.45 | 55.74 | 35.97 | 71.57 | 22.6 |
| | 무기둥 | 1 | 23.54 | 18.27 | 31.01 | 50.34 | 33.11 | 64.48 | 16.0 |
| | | 2 | 24.09 | 18.82 | 31.44 | 45.59 | 27.47 | 60.29 | 14.5 |
| | | 3 | 24.51 | 19.30 | 31.46 | 51.94 | 32.63 | 67.22 | 15.5 |
| | | 4 | 26.77 | 21.01 | 35.08 | 47.46 | 29.05 | 61.87 | 14.1 |
| 10/ 5부터 10/11까지 | 1-2w | 1 | 21.70 | 15.66 | 31.47 | 44.54 | 15.56 | 61.48 | 18.5 |
| | | 2 | 20.16 | 14.35 | 28.66 | 58.76 | 29.39 | 74.43 | 23.7 |
| | | 3 | 21.83 | 15.75 | 31.92 | 47.82 | 21.36 | 61.66 | 19.5 |
| | | 4 | 19.76 | 14.10 | 28.49 | 60.41 | 36.26 | 73.04 | 22.6 |
| | 무기둥 | 1 | 20.17 | 15.21 | 27.53 | 54.45 | 32.02 | 66.40 | 15.7 |
| | | 2 | 20.56 | 15.48 | 28.11 | 50.24 | 26.91 | 63.15 | 14.3 |
| | | 3 | 20.94 | 15.99 | 28.26 | 56.94 | 32.04 | 69.95 | 15.3 |
| | | 4 | 22.77 | 17.36 | 31.17 | 52.85 | 28.82 | 66.13 | 13.7 |
| 10/12부터 10/18까지 | 1-2w | 1 | 22.14 | 16.06 | 29.72 | 43.06 | 12.68 | 64.60 | 23.9 |
| | | 2 | 23.21 | 16.65 | 31.12 | 50.08 | 21.70 | 71.08 | 26.5 |
| | | 3 | 22.11 | 15.98 | 29.64 | 48.44 | 21.05 | 65.88 | 23.4 |
| | | 4 | 22.44 | 16.12 | 31.13 | 53.70 | 31.90 | 71.34 | 25.2 |
| | 무기둥 | 1 | 21.38 | 15.85 | 31.14 | 53.67 | 25.33 | 67.93 | 18.0 |
| | | 2 | 21.89 | 16.27 | 31.47 | 49.41 | 20.33 | 65.29 | 16.1 |
| | | 3 | 22.23 | 16.73 | 31.41 | 55.69 | 24.71 | 71.95 | 16.9 |
| | | 4 | 21.82 | 16.41 | 31.12 | 59.31 | 27.98 | 74.95 | 15.5 |

표 1-9. 계속됨

| 생육 기간 | 하우스 형태 | 조사 위치 | 평균 기온 (°C) | 최저 기온 (°C) | 최고 기온 (°C) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누적 일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10/19부터 10/25까지 | 1-2w | 1 | 21.98 | 16.71 | 28.21 | 46.94 | 21.67 | 68.56 | 22.3 |
| | | 2 | 23.41 | 17.73 | 30.10 | 56.20 | 32.30 | 74.81 | 24.5 |
| | | 3 | 21.86 | 16.56 | 28.03 | 55.75 | 33.18 | 70.47 | 21.9 |
| | | 4 | 22.66 | 17.02 | 29.86 | 59.46 | 36.58 | 75.42 | 23.3 |
| | 무기둥 | 1 | 22.41 | 16.68 | 31.41 | 53.05 | 30.32 | 67.25 | 16.8 |
| | | 2 | 21.55 | 16.10 | 29.26 | 54.14 | 30.93 | 67.94 | 15.0 |
| | | 3 | 23.34 | 17.64 | 31.83 | 55.83 | 31.53 | 71.34 | 14.4 |
| | | 4 | 21.48 | 16.01 | 28.46 | 63.47 | 39.22 | 76.21 | 14.4 |
| 10/26부터 11/01까지 | 1-2w | 1 | 20.18 | 14.49 | 28.43 | 39.40 | 19.86 | 57.92 | 20.4 |
| | | 2 | 21.76 | 15.60 | 31.38 | 50.18 | 25.45 | 68.24 | 21.5 |
| | | 3 | 20.07 | 14.38 | 28.32 | 50.22 | 28.36 | 65.92 | 18.8 |
| | | 4 | 21.00 | 14.94 | 30.60 | 54.50 | 35.66 | 69.61 | 19.7 |
| | 무기둥 | 1 | 20.48 | 14.30 | 29.49 | 49.03 | 28.79 | 65.61 | 17.2 |
| | | 2 | 23.68 | 16.81 | 35.16 | 38.26 | 16.20 | 54.41 | 12.4 |
| | | 3 | 21.39 | 15.24 | 29.84 | 50.13 | 27.92 | 69.12 | 13.3 |
| | | 4 | 20.93 | 14.91 | 29.15 | 53.21 | 30.53 | 71.52 | 12.4 |

표 1-10. 시설억제재배의 전 생육기간에 걸친 하우스 형태 및 조사구역에 따른 평균 및 누적일사량

| 하우스 형태 | 조사 위치 | 평균 기온 (°C) | 최저 기온 (°C) | 최고 기온 (°C) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누적 일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-2W | 1 | 23.3 | 16.9 | 32.4 | 40.9 | 15.1 | 61.0 | 125.2 |
| | 2 | 23.0 | 16.8 | 31.5 | 52.2 | 25.4 | 71.7 | 153.1 |
| | 3 | 23.3 | 16.9 | 32.6 | 46.8 | 22.2 | 63.3 | 131.9 |
| | 4 | 22.4 | 16.2 | 31.4 | 55.6 | 34.1 | 71.8 | 146.0 |
| 무기둥 | 1 | 22.2 | 16.3 | 31.2 | 50.4 | 27.1 | 65.7 | 106.9 |
| | 2 | 22.9 | 16.9 | 32.1 | 45.8 | 22.0 | 61.5 | 94.0 |
| | 3 | 23.1 | 17.2 | 31.7 | 52.2 | 26.7 | 69.1 | 96.3 |
| | 4 | 23.8 | 17.7 | 32.7 | 52.6 | 27.6 | 68.4 | 90.7 |

### 나. 하우스 형태 및 조사위치 별 생육변이

조사 시기, 하우스 형태, 그리고 하우스 내 조사 위치에 따른 주요 생육 형질의 측정 결과는 표 1-11에 주어져 있다. 조사 위치별 5개체의 임의 표본을 개체 반복으로 하여 분산분석을 실시한 결과 조사 형질 중 엽수, 엽건물중, 경건물중 그리고 과일 생체중에서는 하우스 형태별 또는 조사 위치별 아무런 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 초장이나 엽면적에서는 3차 조사 시기부터 하우스 형태별 유의한 차이를 보였다. 엽면적은 10월 4일 조사 시기에는 1-2W형 하우스에서 무기둥 하우스에 비하여 유의하게 높았으나 10월 11일이나 마지막 조사일인 11월 1일에는 무기둥 하우스에서 유의하게 높았다 (표 1-11). 초장은 10월 4일, 10월 11일, 10월 18일 그리고 11월 1일 조사시기에 무기둥 하우스에서 1-2W형 하우스에 비하여 유의하게 높은 값을 보였다.

하우스 내 기상요소가 생육조사 형질들에 미치는 영향을 알아보기 위하여 표 1-10의 기상값과 11월 1일의 생육형질들의 측정값과의 상관관계를 구해본 결과 누적일사량을 제외하고는 기상요소와 생육형질들간의 유의한 상관관계는 찾아볼 수 없었다. 누적일사량은 초장, 엽수, 엽면적, 그리고 경건물중과 각각 -0.868, -0.897, -0.878, 그리고 -0.881의 상관계수를 보여 이들 형질들과 고도로 유의한 부의 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 엽면적이나 초장이 무기둥 하우스에서 대체로 높은 값을 보였는데 이러한 결과는 광량의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

### 다. 생리적 형질에서의 변이

조사 시기, 하우스 형태, 그리고 조사 위치에 따른 생리적 형질들의 변이는 표 1-12에 제시되어 있다. CGR은 단위면적당 작물 생산량으로서 시간이 지남에 따라 증가하나 생육후기인 11월 1일의 조사 시기에는 다소 감소하였는데 이는 엽의 노화에 기인한 것으로 생각된다. 조사 기간에 따른 하우스 형태별 생리적 형질에 대한 분산분석 결과 SLA는10월 11일 조사 시기를 제외하면 모든 시기에 유의한 차이를 보였는데 대체적으로 무기둥 하우스에서 1-2W형 하

우스보다 높은 값을 보였다. NAR에서는 10월 4일, 10월 11일 그리고 10월 18일 조사시기에 유의한 차이를 보였으며 전반적으로 1-2W형 하우스에서 높은 값을 보였다. LAR는 10월 4일에는 1-2W형 하우스에서 유의하게 높은 값을 보였으나 10월 18일에는 무기둥 하우스에서 유의하게 높았으며 생육 후기로 갈수록 광량이 낮은 무기둥 하우스에서 높은 경향을 보여 광량이 높을수록 엽면적 비율이 낮아짐을 알 수 있었다. 엽면적 지수나 엽면적 증가율에서도 생육 후기로 갈수록 광량이 낮은 무기둥 하우스에서 높은 경향을 보였는데 이것은 일사 광량이 낮은 조건에서 엽에의 투자가 상대적으로 많고, 엽이 엷은데 기인한 것으로 생각된다.

라. 생리적 형질간 상호관계

생장 해석에서 계산된 생리적 형질들간의 상관관계는 표 1-13에 제시되어 있다. 상대 생장율에 대한 순 동화율과 엽면적 비율의 기여도를 알아보기 위하여 표준편회귀분석을 실시하였던 바 순 동화율의 기여도가 엽면적 비율의 그것보다 2배 정도 커서 순 동화율의 증대가 상대 생장율에 크게 영향함을 알 수 있었다. 또한 엽면적 비율에 대한 상대 엽면적과 엽중 비율의 기여도를 알아보았던 바 두 형질의 엽면적 비율에 대한 기여도는 비슷하였다.

RGR = 0.9929 NAR + 0.5168 LAR (R2 = 0.9548, df=45)

LAR = 1.1127 SLA + 1.0540 LWR (R2 = 0.9758)

기상 요소의 변이와 생리적 형질들과의 상관관계는 표 1-14에 제시되어 있다. 그 결과 일 평균기온은 앞의 경우와 마찬가지로 상대 생장율, 순 동화율, 엽면적 비율 그리고 엽중 비율에 고도로 유의한 상관관계를 보여 오이의 생육에 크게 영향하는 것으로 나타났으며 일사량도 이들과 정의 상관을 보였으나 그 정도가 비교적 낮았다.

**표 1-14. 기상 요소와 생리적 형질간 상관관계**

| | RGR | NAR | LAR | SLA | LWR | CGR | LAI | RGRA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **평균온도** | 0.786** | 0.409** | 0.575** | -0.177 | 0.607** | -0.256 | -0.618** | 0.342* |
| **일사량** | 0.291* | 0.356* | 0.029 | -0.101 | 0.398** | -0.140 | -0.315* | 0.176 |

**표 1-11. 1996년 9월의 조사 시기, 하우스 형태 그리고 하우스 내 위치별 생육조사 결과**

| 조사 시기 | 하우스 형태 | 조사 위치 | 초장 (cm) | 엽수 (plant-1) | 엽면적 (dm2/plant) | 엽건물중 (g/plant) | 경건물중 (g/plant) | 과일생체중 (g/plant) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9월 20일 | 1-2W | 1 | 11.0 | 5.0 | 2.0 | .50 | .11 | .0 |
| | | 2 | 11.7 | 4.8 | 1.9 | .52 | .09 | .0 |
| | | 3 | 10.5 | 5.0 | 2.4 | .60 | .13 | .0 |
| | | 4 | 11.1 | 5.0 | 1.9 | .50 | .14 | .0 |
| | 무기둥 | 1 | 10.5 | 4.6 | 2.2 | .52 | .12 | .0 |
| | | 2 | 12.4 | 4.8 | 2.2 | .48 | .10 | .0 |
| | | 3 | 10.9 | 4.4 | 2.0 | .50 | .14 | .0 |
| | | 4 | 10.2 | 4.2 | 1.8 | .46 | .10 | .0 |
| 9월 26일 | 1-2W | 1 | 24.7 | 6.2 | 6.8 | 2.12 | .62 | .0 |
| | | 2 | 24.8 | 6.4 | 6.1 | 2.04 | .56 | .0 |
| | | 3 | 22.9 | 6.2 | 4.9 | 1.96 | .56 | .0 |
| | | 4 | 24.8 | 6.2 | 6.4 | 2.04 | .60 | .0 |
| | 무기둥 | 1 | 24.7 | 6.0 | 6.8 | 1.76 | .48 | .0 |
| | | 2 | 25.5 | 5.8 | 6.9 | 1.90 | .60 | .0 |
| | | 3 | 23.0 | 6.0 | 6.1 | 1.72 | 1.44 | .0 |
| | | 4 | 21.9 | 5.6 | 5.9 | 1.67 | .54 | .0 |
| 10월 4일 | 1-2W | 1 | 74.5 | 12.6 | 23.9 | 7.82 | 3.36 | .0 |
| | | 2 | 74.0 | 13.0 | 21.5 | 7.60 | 3.12 | .0 |
| | | 3 | 65.6 | 12.2 | 20.7 | 6.98 | 2.70 | .0 |
| | | 4 | 68.3 | 13.0 | 22.4 | 7.68 | 3.08 | .0 |
| | 무기둥 | 1 | 79.9 | 12.4 | 8.2 | 7.54 | 3.12 | .0 |
| | | 2 | 76.4 | 12.6 | 10.1 | 6.40 | 2.84 | .0 |
| | | 3 | 74.4 | 12.6 | 8.6 | 6.64 | 2.72 | .0 |
| | | 4 | 75.1 | 13.2 | 7.9 | 7.84 | 3.36 | .0 |
| 10월 11일 | 1-2W | 1 | 99.6 | 16.2 | 37.4 | 12.90 | 6.58 | .0 |
| | | 2 | 104.8 | 15.8 | 33.6 | 11.70 | 6.92 | .0 |
| | | 3 | 99.1 | 16.0 | 41.0 | 14.58 | 7.22 | .0 |
| | | 4 | 102.0 | 16.2 | 37.1 | 15.12 | 7.84 | .0 |
| | 무기둥 | 1 | 578.4 | 16.6 | 45.2 | 13.92 | 7.18 | .0 |
| | | 2 | 529.4 | 16.4 | 47.7 | 13.08 | 7.36 | .0 |
| | | 3 | 116.6 | 16.6 | 45.0 | 11.74 | 7.60 | .0 |
| | | 4 | 119.2 | 16.8 | 49.4 | 14.88 | 8.08 | .0 |

표 1-11. 계속됨.

| 조 사 시 기 | 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 초 장 (cm) | 엽 수 (plant-1) | 엽면적 (dm2/plant) | 엽건물중 (g/plant) | 경건물중 (g/plant) | 과일생체중 (g/plant) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10월 18일 | 1-2W | 1 | 160.0 | 20.0 | 62.8 | 18.94 | 12.52 | 29.0 |
| | | 2 | 157.0 | 21.2 | 79.8 | 25.32 | 13.40 | 30.5 |
| | | 3 | 158.4 | 21.2 | 90.0 | 26.30 | 15.02 | 94.0 |
| | | 4 | 163.7 | 21.2 | 80.5 | 24.58 | 14.66 | 68.1 |
| | 무기둥 | 1 | 168.4 | 21.4 | 86.7 | 22.58 | 14.10 | 21.2 |
| | | 2 | 173.9 | 22.0 | 84.0 | 21.82 | 12.98 | 82.1 |
| | | 3 | 161.9 | 21.2 | 81.1 | 19.94 | 12.16 | 13.4 |
| | | 4 | 163.5 | 19.8 | 76.1 | 17.74 | 11.34 | 31.2 |
| 10월 25일 | 1-2W | 1 | 217.9 | 25.0 | 113.1 | 28.02 | 16.80 | 251.9 |
| | | 2 | 198.2 | 24.0 | 103.3 | 26.48 | 15.28 | 295.0 |
| | | 3 | 205.6 | 24.6 | 101.4 | 42.32 | 32.82 | 289.4 |
| | | 4 | 199.2 | 24.4 | 102.9 | 30.18 | 27.06 | 257.3 |
| | 무기둥 | 1 | 208.0 | 22.8 | 110.5 | 25.30 | 14.88 | 341.6 |
| | | 2 | 202.5 | 22.6 | 95.7 | 21.38 | 12.90 | 292.2 |
| | | 3 | 199.6 | 22.6 | 104.7 | 23.16 | 15.42 | 247.1 |
| | | 4 | 221.6 | 23.6 | 122.9 | 29.98 | 17.24 | 310.3 |
| 11월 1일 | 1-2W | 1 | 229.8 | 27.4 | 124.7 | 32.08 | 18.94 | 928.7 |
| | | 2 | 224.6 | 26.8 | 117.7 | 32.68 | 17.72 | 660.2 |
| | | 3 | 241.2 | 27.6 | 121.7 | 32.84 | 21.72 | 776.5 |
| | | 4 | 221.7 | 27.6 | 114.3 | 29.02 | 16.38 | 1143.5 |
| | 무기둥 | 1 | 275.6 | 27.8 | 156.7 | 34.90 | 22.58 | 697.3 |
| | | 2 | 254.6 | 29.0 | 141.6 | 29.42 | 23.14 | 938.8 |
| | | 3 | 260.2 | 28.4 | 140.4 | 34.74 | 22.18 | 643.4 |
| | | 4 | 267.0 | 29.2 | 159.0 | 37.18 | 22.78 | 894.3 |

**표 1-12. 1996년 9월의 조사 시기, 하우스 형태, 그리고 조사 위치 별 생장해석 결과**

| 조사 시기 | 하우스 형태 | 조사 위치 | RGR | NAR | LAR | SLA | LWR | CGR | LAI | RGRA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9월 26일 | 1-2W | 1 | .2146 | .0772 | 2.6333 | 3.3670 | .7821 | .8213 | .1190 | .1727 |
| | | 2 | .2071 | .0799 | 2.4693 | 3.0963 | .7975 | .7673 | .1070 | .1694 |
| | | 3 | .1770 | .0728 | 2.2571 | 2.8654 | .7877 | .6902 | .0990 | .1041 |
| | | 4 | .2024 | .0766 | 2.5366 | 3.2757 | .7744 | .7712 | .1123 | .1697 |
| | 무기둥 | 1 | .1790 | .0561 | 3.1291 | 3.9526 | .7917 | .6169 | .1216 | .1633 |
| | | 2 | .2087 | .0673 | 2.9378 | 3.8018 | .7727 | .7403 | .1221 | .1661 |
| | | 3 | .2281 | .0973 | 2.1452 | 3.6720 | .5842 | .9717 | .1100 | .1597 |
| | | 4 | .1961 | .0676 | 2.7945 | 3.6341 | .7690 | .6362 | .1045 | .1655 |
| 10월 4일 | 1-2W | 1 | .2009 | .0887 | 2.2031 | 3.0852 | .7141 | 3.2543 | .4139 | .1795 |
| | | 2 | .2024 | .0950 | 2.0714 | 2.8622 | .7237 | 3.1309 | .3724 | .1808 |
| | | 3 | .1923 | .0928 | 2.1049 | 2.8724 | .7328 | 2.7607 | .3465 | .2047 |
| | | 4 | .2007 | .0909 | 2.1497 | 2.9636 | .7254 | 3.1309 | .3887 | .1797 |
| | 무기둥 | 1 | .2229 | .1603 | 1.1670 | 1.6187 | .7209 | 3.2466 | .2032 | .0264 |
| | | 2 | .1868 | .1150 | 1.4435 | 2.0417 | .7070 | 2.5988 | .2287 | .0539 |
| | | 3 | .1551 | .1210 | 1.1804 | 1.7678 | .6677 | 2.3906 | .1994 | .0486 |
| | | 4 | .2318 | .1876 | 1.0281 | 1.4497 | .7092 | 3.4664 | .1861 | .0418 |
| 10월 11일 | 1-2W | 1 | .0793 | .0393 | 1.9985 | 2.9573 | .6758 | 3.2003 | .8269 | .0641 |
| | | 2 | .0789 | .0416 | 1.8799 | 2.8578 | .6578 | 3.0461 | .7443 | .0638 |
| | | 3 | .1160 | .0582 | 1.9618 | 2.8645 | .6849 | 4.6732 | .8334 | .0975 |
| | | 4 | .1083 | .0597 | 1.7668 | 2.6130 | .6762 | 4.7041 | .8040 | .0721 |
| | 무기둥 | 1 | .0975 | .0687 | 1.6819 | 2.4892 | .6757 | 4.0254 | .7209 | .2435 |
| | | 2 | .1134 | .0662 | 1.9463 | 2.9654 | .6563 | 4.3185 | .7796 | .2225 |
| | | 3 | .1037 | .0647 | 1.8685 | 2.9176 | .6404 | 3.8481 | .7237 | .2358 |
| | | 4 | .1025 | .0742 | 1.6773 | 2.5219 | .6651 | 4.5344 | .7732 | .2620 |
| 10월 18일 | 1-2W | 1 | .0750 | .0392 | 1.9107 | 3.1457 | .6074 | 5.1899 | 1.3517 | .0739 |
| | | 2 | .1087 | .0567 | 1.9404 | 3.0643 | .6333 | 8.1820 | 1.5309 | .1234 |
| | | 3 | .1019 | .0520 | 1.9767 | 3.2048 | .6168 | 8.7449 | 1.7681 | .1122 |
| | | 4 | .0853 | .0478 | 1.8193 | 2.9641 | .6138 | 7.2335 | 1.5880 | .1105 |
| | 무기둥 | 1 | .0822 | .0368 | 2.2506 | 3.6133 | .6229 | 6.3235 | 1.7798 | .0930 |
| | | 2 | .0884 | .0390 | 2.2559 | 3.7750 | .5976 | 6.7554 | 1.7779 | .0809 |
| | | 3 | .0772 | .0323 | 2.3999 | 3.9801 | .6030 | 5.3441 | 1.7016 | .0842 |
| | | 4 | .0416 | .0179 | 2.3372 | 3.8462 | .6077 | 2.9921 | 1.6931 | .0616 |

표 1-12. 계속됨.

| 조 사 시 기 | 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | RGR | NAR | LAR | SLA | LWR | CGR | LAI | RGRA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10월 25일 | 1-2W | 1 | .0850 | .0448 | 1.8975 | 3.7449 | .5067 | 10.3335 | 2.3733 | .0841 |
| | | 2 | .0622 | .0341 | 1.8055 | 3.5344 | .5108 | 8.3748 | 2.4707 | .0368 |
| | | 3 | .1085 | .0756 | 1.3715 | 2.7890 | .4918 | 19.5026 | 2.5828 | .0171 |
| | | 4 | .0737 | .0441 | 1.6430 | 3.3490 | .4906 | 10.8656 | 2.4749 | .0350 |
| | 무기둥 | 1 | .0913 | .0488 | 1.8170 | 4.1190 | .4411 | 12.9323 | 2.6615 | .0347 |
| | | 2 | .0522 | .0266 | 1.9398 | 4.1607 | .4662 | 6.4546 | 2.4257 | .0186 |
| | | 3 | .0613 | .0275 | 2.2069 | 4.3113 | .5119 | 6.8633 | 2.5077 | .0365 |
| | | 4 | .1232 | .0616 | 1.9225 | 4.1696 | .4611 | 16.2175 | 2.6852 | .0686 |
| 11월 1일 | 1-2W | 1 | .0165 | .0088 | 1.8752 | 3.9564 | .4740 | 2.8224 | 3.2089 | .0139 |
| | | 2 | .0056 | .0032 | 1.7601 | 3.7355 | .4712 | .9408 | 2.9824 | .0187 |
| | | 3 | -.0349 | -.0264 | 1.3157 | 2.9680 | .4433 | -7.9352 | 3.0104 | .0260 |
| | | 4 | .0202 | .0140 | 1.4439 | 3.6683 | .3936 | 4.0871 | 2.9307 | .0151 |
| | 무기둥 | 1 | .0115 | .0064 | 1.8054 | 4.4392 | .4067 | 2.2903 | 3.6064 | .0499 |
| | | 2 | .0545 | .0310 | 1.7602 | 4.6716 | .3768 | 9.8014 | 3.2027 | .0560 |
| | | 3 | .0433 | .0212 | 2.0416 | 4.2341 | .4822 | 6.9713 | 3.3084 | .0419 |
| | | 4 | .0113 | .0061 | 1.8605 | 4.1981 | .4432 | 2.3058 | 3.8049 | .0368 |

표 1-13. 1996년 시설억제재배에서의 생리적 형질간의 상관관계

| | NAR | LAR | SLA | LWR | CGR | LAI | RGRA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RGR | 0.8428** | 0.2282 | -0.5252** | 0.7941** | -0.3847** | -0.8537** | 0.4961** |
| NAR | | -0.2905 | -0.7988** | 0.6031** | -0.2046 | -0.7211** | 0.2706 |
| LAR | | | 0.4954** | 0.4026** | -0.3649* | -0.2545 | 0.4332** |
| SLA | | | | -0.5855** | 0.2120 | 0.6614** | -0.2138 |
| LWR | | | | | -0.6117** | -0.9406** | 0.6236** |
| CGR | | | | | | 0.5840** | -0.3970** |
| LAI | | | | | | | -0.6227** |

# 제 2 장 재식밀도에 따른 오이생육 및 수량변이

## 제 1 절 서 론

재배지역이나 작형에 따라 표준형 재식밀도 확립이 필요한 실정이다. 일반적으로 너무 밀식하면 하위엽이 광을 충분히 받지 못하므로 동화량이 떨어져 암꽃이 빈약해지고, 곡과, 곤봉과 등의 기형과의 발생이 많다. 반대로 너무 드물게 심으면 품질은 좋아지지만 단위 면적당 수량이 떨어지므로 재배작형과 품종의 특성에 따라 재식거리의 표준화가 필요하다. 전남 주산단지에 대한 재배실태 조사 결과에 의하면 재식거리가 28개 유형을 보이고 있으며, 가장 많은 재식거리는 180㎝×15㎝(3,700주/10a)가 29%이며, 180×20㎝(2,700주/10a)는 14%, 200×15㎝(3,300주/10a)는 9%로 나타났으며, 기타 48% 정도가 다양한 재식거리로 재배하고 있었으며, 대부분 1열 재배를 하고 있어 재배지역이나 작형에 따라 표준형 재식밀도 확립이 필요한 실정이다.

본 연구는 각 재식밀도에 따른 수확 과수, 수확 주수 및 수확 과실 생체중과 생육조사를 통해 오이생육 및 수량변이를 밝히는 데 목적을 두었다.

## 제 2 절 재료 및 방법

### 1. 1997년 2월 파종 오이의 조숙재배에 있어서 재식밀도에 따른 오이 수량 변이

1997년 2월 17일 겨우살이 청장오이 종자를 침종한 후 30℃ 인큐베이터에서 최아한 후 오이 재배용 폿트와 상토를 이용하여 파종하였고 2 3매의 엽이 출현한 3월 15일에 하우스에 정식하였다. 정식은 bench식 양액재배 생장대에 실시하였는데, 그 크기는 길이 6.0m 넓이 0.5m로 두 가지 형태의 하우스에 24개

씩 설치하였다. 양액급여 방식은 동일하였으며 처리로는 Bed 당 15주, 20주 그리고 25주의 재식밀도를 두었으며 4반복으로 하였다. 실험목적으로는 재식밀도별, 하우스 형태별, 그리고 하우스 위치별 오이 생산량에서의 차이를 밝히는데 있다. 오이 수확은 정식 45일째인 4월 30일부터 2  4일 간격으로 5월 22일까지 조사하였다.

기상환경의 계측은 외부기상으로서 기온, 상대습도, 일사량, 강수량, 풍속을 측정하였으며 하우스 내의 기상으로는 평균기온, 최저기온, 최고기온, 상대습도, 일사량 등을 매 10분 간격으로 자동 측정하였다.

2. 1998년 5월 파종오이의 여름재배에서의 재식밀도에 따른 오이 생육 및 수량변이

여름재배시 재식밀도 따른 생육 및 수량변이를 알아보기 위하여 공시품종으로 겨우살이 청장오이를 선택하여 1998년 여름재배의 절성비교 실험에 이용되고 남은 면적에 bed당 15㎝, 20㎝, 그리고 25㎝의 재식간격을 두었고 2반복으로 하였다.

출엽수는 6월 6일부터 7월 16일까지 2일 간격으로 40여 일에 걸쳐 조사하였고, 수확은 7월 9일부터 7월 22일일까지 2  3일 간격으로 하였으며 각 재식밀도 수준에서의 수확 과수, 수확 주수, 수확 과실 생체중을 조사하였다. 생육 조사는 6월 23일부터 7월 21일까지 1주일 간격으로 5회에 걸쳐 초장, 엽수, 엽면적, 과실수, 과실 생체중, 엽, 경 및 근 건물중을 조사하였다.

## 제 3 절 결과 및 고찰

1. 1997년 2월 파종 오이의 조숙재배에서의 재식밀도 반응

가. 하우스 형태 및 위치별 기상요인의 변이

생육 기간, 하우스 형태 그리고 조사 위치별 기상요인 즉, 일 평균기온, 일

최저기온, 일 최고기온 일 평균상대습도, 일 최저습도, 일 최고습도의 평균 그리고 일 누적일사량이 표 2-1에 제시되어 있다. 조사 위치를 반복으로 하여 생육 기간별 분산분석을 실시한 결과 전 생육기간을 통하여 하우스 형태간 평균기온, 최저기온, 또는 최고기온을 제외한 모든 기상요인에 있어서 유의한 차이는 없었다. 평균기온, 최저기온, 그리고 최고기온은 전 생육기간을 통해서 볼 때 무기둥 하우스가 1-2W형 하우스에 비해 비교적 높은 경향이었다.

하우스 내부의 위치별 기상요인에서의 변이는 반복이 없는 관계로 분산분석을 통하여 비교할 수는 없지만, 일 일사량은 1-2W형 하우스에서는 대체로 1지점이나 4지점이 높았고 무기둥 하우스에서는 1지점이 높았으며, 기온은 1-2W형 하우스에서는 대체로 2지점이 높았고 무기둥 하우스에서는 3지점이 높았다. 상대습도에서는 1-2W형 하우스와 무기둥 하우스에서 대체로 4지점이 높았다. 전 생육기간의 하우스별 조사지점별 기온, 상대습도 그리고 누적일사량은 다음 표 2-2와 같다.

**표 2-1. 1997년 4월에 실시한 실험의 생육기간, 하우스 형태, 그리고 조사 위치별 기상요인의 일 평균값**

| 생육 기간 | 하우스 형태 | 조사 위치 | 평균기온 (℃) | 최저기온 (℃) | 최고기온 (℃) | 평균습도 (%) | 최저습도 (%) | 최고습도 (%) | 누적 일사량 (mmol m-2d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4/25부터 4/30까지 | 1-2w | 1 | 23.26 | 17.17 | 31.33 | 38.97 | 17.88 | 57.46 | 7.1 |
| | | 2 | 24.87 | 18.87 | 33.02 | 43.50 | 19.76 | 62.16 | 7.2 |
| | | 3 | 23.89 | 18.16 | 31.40 | 40.90 | 18.52 | 57.72 | 6.8 |
| | | 4 | 23.93 | 17.38 | 32.99 | 52.96 | 25.76 | 65.59 | 7.4 |
| | 무기둥 | 1 | 23.56 | 17.13 | 33.12 | 42.48 | 19.86 | 57.91 | 8.1 |
| | | 2 | 24.09 | 17.54 | 33.64 | 38.33 | 16.93 | 54.78 | 7.6 |
| | | 3 | 24.37 | 18.02 | 33.46 | 42.70 | 18.67 | 60.13 | 7.4 |
| | | 4 | 23.77 | 17.60 | 32.35 | 45.52 | 19.45 | 62.35 | 8.0 |
| 5/01부터 5/02까지 | 1-2w | 1 | 21.79 | 17.29 | 27.24 | 51.87 | 17.27 | 64.98 | 40.2 |
| | | 2 | 23.71 | 19.15 | 28.88 | 56.58 | 27.71 | 68.69 | 42.7 |
| | | 3 | 22.15 | 18.34 | 27.28 | 53.58 | 24.47 | 62.09 | 41.0 |
| | | 4 | 21.94 | 17.49 | 28.49 | 67.12 | 38.68 | 70.10 | 44.3 |
| | 무기둥 | 1 | 21.67 | 17.12 | 27.64 | 54.73 | 31.92 | 63.66 | 49.1 |
| | | 2 | 22.22 | 17.45 | 28.26 | 49.80 | 22.67 | 59.88 | 45.2 |
| | | 3 | 22.55 | 17.88 | 28.30 | 55.22 | 26.95 | 65.98 | 42.6 |
| | | 4 | 21.98 | 17.36 | 27.36 | 57.34 | 26.49 | 69.48 | 48.9 |
| 5/03부터 5/06까지 | 1-2w | 1 | 24.52 | 19.12 | 33.40 | 52.73 | 19.15 | 66.59 | 36.4 |
| | | 2 | 25.76 | 20.43 | 35.06 | 57.02 | 26.15 | 70.14 | 36.3 |
| | | 3 | 24.55 | 19.66 | 33.18 | 54.42 | 24.82 | 65.20 | 34.2 |
| | | 4 | 25.06 | 19.21 | 35.49 | 66.11 | 35.82 | 72.38 | 36.9 |
| | 무기둥 | 1 | 25.35 | 19.48 | 35.36 | 55.56 | 32.10 | 65.01 | 41.2 |
| | | 2 | 25.99 | 20.17 | 35.70 | 50.77 | 22.59 | 62.31 | 36.8 |
| | | 3 | 26.20 | 20.55 | 35.13 | 55.75 | 25.70 | 67.75 | 36.6 |
| | | 4 | 25.61 | 20.11 | 34.04 | 58.03 | 27.75 | 70.70 | 40.3 |
| 5/07부터 5/08까지 | 1-2w | 1 | 22.41 | 19.65 | 25.27 | 67.31 | 51.61 | 70.17 | 26.7 |
| | | 2 | 23.72 | 20.99 | 26.74 | 70.60 | 56.85 | 73.59 | 26.0 |
| | | 3 | 22.59 | 20.24 | 25.50 | 66.81 | 53.46 | 68.41 | 23.8 |
| | | 4 | 22.61 | 19.80 | 25.60 | 77.51 | 61.35 | 75.63 | 25.6 |
| | 무기둥 | 1 | 23.74 | 20.02 | 28.21 | 65.09 | 56.26 | 66.69 | 26.1 |
| | | 2 | 24.60 | 20.74 | 29.27 | 61.81 | 51.47 | 64.24 | 23.2 |
| | | 3 | 25.06 | 21.17 | 29.59 | 67.25 | 56.07 | 69.89 | 23.1 |
| | | 4 | 24.49 | 20.71 | 28.79 | 68.96 | 56.83 | 71.71 | 24.8 |
| 5/09부터 5/10까지 | 1-2w | 1 | 22.30 | 15.95 | 30.81 | 58.23 | 24.89 | 72.56 | 26.1 |
| | | 2 | 23.81 | 17.34 | 32.69 | 62.83 | 25.99 | 74.98 | 25.6 |
| | | 3 | 22.42 | 16.74 | 30.65 | 59.60 | 35.27 | 70.71 | 23.5 |
| | | 4 | 22.67 | 15.85 | 32.46 | 70.67 | 41.28 | 77.46 | 25.6 |
| | 무기둥 | 1 | 23.45 | 16.68 | 32.61 | 59.00 | 36.86 | 67.60 | 24.8 |
| | | 2 | 24.07 | 17.20 | 33.72 | 55.39 | 31.35 | 65.33 | 20.5 |
| | | 3 | 24.11 | 17.62 | 32.42 | 61.23 | 35.76 | 70.65 | 19.0 |
| | | 4 | 23.66 | 17.28 | 31.28 | 62.61 | 36.34 | 72.48 | 23.2 |

표 2-1. 계속됨.

| 생 육 기 간 | 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 평균 기온 (℃) | 최저 기온 (℃) | 최고 기온 (℃) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누 적 일사량 (mmol m-2d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5/11부터 5/15까지 | 1-2w | 1 | 23.29 | 19.83 | 29.35 | 62.60 | 48.78 | 72.24 | 18.6 |
| | | 2 | 24.85 | 21.24 | 31.41 | 64.82 | 48.84 | 74.70 | 17.2 |
| | | 3 | 23.45 | 20.02 | 29.49 | 61.32 | 49.68 | 69.25 | 14.6 |
| | | 4 | 23.48 | 19.80 | 29.99 | 71.78 | 51.55 | 75.74 | 16.4 |
| | 무기둥 | 1 | 23.75 | 20.19 | 29.68 | 59.38 | 48.42 | 66.76 | 17.0 |
| | | 2 | 24.56 | 20.88 | 30.64 | 55.92 | 45.26 | 64.25 | 15.0 |
| | | 3 | 24.90 | 21.30 | 30.52 | 61.59 | 51.01 | 70.17 | 15.4 |
| | | 4 | 24.32 | 20.88 | 29.66 | 63.14 | 51.09 | 71.84 | 16.3 |
| 5/16부터 5/19까지 | 1-2w | 1 | 23.35 | 15.45 | 31.90 | 43.05 | 11.86 | 75.52 | 19.1 |
| | | 2 | 26.08 | 17.90 | 37.14 | 47.59 | 15.86 | 75.40 | 17.6 |
| | | 3 | 23.39 | 15.66 | 31.92 | 46.12 | 15.08 | 70.67 | 14.6 |
| | | 4 | 23.65 | 15.49 | 33.18 | 54.57 | 29.32 | 79.10 | 16.0 |
| | 무기둥 | 1 | 24.97 | 17.89 | 34.94 | 47.55 | 18.13 | 68.21 | 17.5 |
| | | 2 | 25.57 | 18.31 | 35.98 | 44.09 | 14.76 | 65.86 | 14.7 |
| | | 3 | 25.56 | 18.60 | 35.31 | 48.31 | 16.42 | 71.26 | 16.5 |
| | | 4 | 25.10 | 18.38 | 34.12 | 49.44 | 15.49 | 72.90 | 16.9 |
| 5/20부터 5/22까지 | 1-2w | 1 | 20.92 | 14.88 | 29.51 | 43.60 | 8.98 | 72.58 | 41.7 |
| | | 2 | 22.71 | 16.64 | 31.41 | 43.75 | 14.27 | 74.92 | 39.4 |
| | | 3 | 20.96 | 14.36 | 29.64 | 46.03 | 15.68 | 68.35 | 38.2 |
| | | 4 | 21.15 | 14.58 | 30.01 | 55.97 | 24.13 | 77.36 | 41.2 |
| | 무기둥 | 1 | 22.02 | 17.45 | 30.58 | 47.84 | 19.87 | 66.05 | 47.4 |
| | | 2 | 22.81 | 17.95 | 31.43 | 43.76 | 15.01 | 64.32 | 42.5 |
| | | 3 | 22.98 | 18.22 | 31.49 | 48.60 | 17.88 | 69.68 | 39.6 |
| | | 4 | 22.38 | 17.94 | 31.29 | 49.35 | 16.26 | 70.97 | 46.8 |

표 2-2. 1997년 4월 재식밀도 조사 기간의 전 생육기간의 평균값 및 누적일사량

| 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 평균 기온 (℃) | 최저 기온 (℃) | 최고 기온 (℃) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누적 일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-2W | 1 | 22.7 | 17.4 | 29.9 | 52.3 | 25.1 | 69.0 | 215.9 |
| | 2 | 24.4 | 19.1 | 32.0 | 55.8 | 29.4 | 71.8 | 212.0 |
| | 3 | 22.9 | 17.9 | 29.9 | 53.6 | 29.6 | 66.5 | 196.7 |
| | 4 | 23.1 | 17.4 | 31.0 | 64.6 | 38.5 | 74.2 | 213.4 |
| 무기둥 | 1 | 23.6 | 18.2 | 31.5 | 54.0 | 32.9 | 65.2 | 231.2 |
| | 2 | 24.2 | 18.8 | 32.3 | 50.0 | 27.5 | 62.6 | 205.5 |
| | 3 | 24.5 | 19.2 | 32.0 | 55.1 | 31.1 | 68.2 | 200.2 |
| | 4 | 23.9 | 18.8 | 31.1 | 56.8 | 31.2 | 70.3 | 225.2 |

나. 하우스 형태와 재식밀도에 따른 수량반응

하우스 형태, 재식밀도 그리고 조사 위치에 따른 조사 시기별 수확 주수, 수확 과실수, 그리고 수확 생과중이 표 2-3에 주어져 있다. 조사 위치를 반복으로 하여 분산분석을 실시한 결과 이들 형질들의 처리 평균간 유의한 차이는 없었다. 하우스 형태와 밀도에 따른 수량 형질들의 평균이 표 2-4에 주어져 있다. 1-2W형 하우스에서는 베드당 20주를 재식한 수준에서 수확 주수나 수확 과실수가 많았으나 수확 생과중에서는 25주 수준에서 가장 높았다. 무기둥 하우스에서는 밀도가 가장 높은 25주 수준에서 수확 주수나 수확 과실수는 높았으나 재식밀도 수준간 수량에서의 차이는 전혀 찾아볼 수 없었다. 재식밀도 수준에서 보았을 때 수확 주수는 15주/베드에서 전 생육기간을 통해 137주인 반면 20주, 25주 수준에서는 각각 157주, 159주를 보여 밀도가 높아질수록 증가하는 경향이었다. 이러한 경향은 수확 과실수나 수확 생과중에서도 같았는데, 수확 생과중이 15주 수준에서 50.2kg, 20주에서 51.8kg 그리고 25주 수준에서 53.7kg으로 높은 밀도로 갈수록 증가하나 유의한 차이는 없었다. 하우스 형태간 수량 형질들을 비교해 보면 1-2W형 하우스에서 수확 주수, 수확 과실수, 그리고 수확 생과중에서 각각 158.9, 203.6 그리고 53.9kg을 보였고, 무기둥 하우스에서는 수확 주수, 수확 과실수, 그리고 수확 생과중에서 각각 143.5, 178.0 그리고 49.9kg을 보여 1-2W형 하우스가 조숙재배에는 무기둥 하우스보다 높은 수량성을 보임을 알 수 있었다. 하우스간 수량형질들에서의 차이는 여름으로 갈수록 보온이 좋은 무기둥 하우스가 보다 높은 일 평균기온 또는 일 최고기온을 보이는데 기인한 것으로 생각된다.

표 2-3. 하우스 형태, 재식밀도 그리고 조사 위치에 따른 수량요소의 변이

| 1-2W형 하우스 | | | | | 무기둥 하우스 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 조사 구역 | 재식 밀도 (주/베드) | 수확 주수 | 수확 과실수 | 수확 생과중 (kg) | 조사 구역 | 재식 밀도 (주/베드) | 수확 주수 | 수확 과실수 | 수확 생과중 (kg) |
| 1 | 15 | 136.0 | 192.0 | 43.3 | 1 | 15 | 130.0 | 161.0 | 46.7 |
| | 20 | 188.0 | 228.0 | 52.7 | | 20 | 151.0 | 187.0 | 55.8 |
| | 25 | 174.0 | 220.0 | 55.2 | | 25 | 183.0 | 231.0 | 56.4 |
| 2 | 15 | 145.0 | 192.0 | 55.1 | 2 | 15 | 145.0 | 187.0 | 50.4 |
| | 20 | 177.0 | 223.0 | 53.9 | | 20 | 124.0 | 155.0 | 41.7 |
| | 25 | 185.0 | 235.0 | 61.5 | | 25 | 178.0 | 235.0 | 61.4 |
| 3 | 15 | 99.0 | 125.0 | 43.0 | 3 | 15 | 158.0 | 197.0 | 57.2 |
| | 20 | 151.0 | 192.0 | 51.1 | | 20 | 151.0 | 187.0 | 51.9 |
| | 25 | 143.0 | 188.0 | 56.2 | | 25 | 129.0 | 149.0 | 38.9 |
| 4 | 15 | 160.0 | 217.0 | 59.1 | 4 | 15 | 125.0 | 155.0 | 47.2 |
| | 20 | 186.0 | 234.0 | 59.1 | | 20 | 128.0 | 151.0 | 48.2 |
| | 25 | 163.0 | 198.0 | 56.7 | | 25 | 120.0 | 141.0 | 43.4 |

표 2-4. 하우스 형태와 밀도에 따른 수량형질의 평균

| 하우스 형 태 | 재 식 주 수 | 수확주수 | 수확과실수 | 생과중(kg)* |
|---|---|---|---|---|
| 1-2W | 15주 | 135.0 | 181.5 | 50.1 |
| | 20주 | 175.5 | 219.5 | 54.2 |
| | 25주 | 166.2 | 210.2 | 57.4 |
| 무기둥 | 15주 | 139.5 | 175.0 | 50.4 |
| | 20주 | 138.5 | 170.0 | 49.4 |
| | 25주 | 152.2 | 189.0 | 50.0 |

* 10a당 수량으로 환산하려면 36을 곱하면 됨

## 2. 1998년 5월 파종오이의 여름재배에서의 재식밀도 반응

### 가. 하우스 형태 및 위치별 기상요인의 변이

생육기간, 하우스 형태 그리고 조사위치별 기상요인, 즉 일 평균기온, 일 최저기온, 일 최고기온 일 평균상대습도, 일 최저습도, 일 최고습도의 평균 그리고 일 누적일사량이 표 2-5에 제시되어 있다. 조사위치를 반복으로 하여 생육기간별 분산분석을 실시한 결과 전 생육기간을 통하여 하우스 형태간 모든

기상요인에 있어서 유의한 차이는 없었다. 하우스 내부의 위치별 기상요인에서의 변이는 반복이 없는 관계로 분산분석을 통하여 비교할 수는 없지만, 일누적일사량은 1-2W형 하우스에서는 대체로 1지점이나 2지점이 높았고 무기둥 하우스에서는 1지점이 높았으며, 기온은 1-2W형 하우스에서는 대체로 4지점이 높았고, 무기둥 하우스에서는 3지점이 높았다. 상대습도에서는 1-2W형 하우스에서는 2지점이, 무기둥 하우스에서 대체로 3지점이 높았다. 전 생육기간의 하우스별 및 조사 지점별 간의 기온, 상대습도 그리고 누적일사량은 표 2-6과 같다.

표 2-6. 1998년 6월 재식밀도 실험기간의 6월 3일에서 7월 21일까지의 평균

| 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 평균 기온 (℃) | 최저 기온 (℃) | 최고 기온 (℃) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누적 일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-2W | 1 | 27.33 | 22.65 | 34.58 | 50.94 | 29.47 | 62.07 | 28.44 |
| | 2 | 29.79 | 24.86 | 37.37 | 52.63 | 30.12 | 66.08 | 24.98 |
| | 3 | 27.45 | 22.83 | 34.56 | 50.81 | 29.72 | 62.00 | 23.83 |
| | 4 | 30.92 | 24.91 | 40.51 | 48.23 | 28.83 | 59.11 | 23.29 |
| 무기둥 | 1 | 27.71 | 22.65 | 35.81 | 50.58 | 31.73 | 61.31 | 26.77 |
| | 2 | 28.82 | 23.71 | 36.95 | 45.68 | 24.87 | 57.21 | 22.26 |
| | 3 | 28.95 | 23.98 | 36.55 | 51.26 | 29.72 | 63.93 | 22.39 |
| | 4 | 28.10 | 23.22 | 35.52 | 49.97 | 26.70 | 63.17 | 24.64 |

표 2-5. 1998년 6월에 실시한 실험의 생육기간, 하우스 형태, 그리고 조사 위치별 기상 요인의 일 평균값

| 생육 기간 | 하우스 형태 | 조사 위치 | 평균 기온 (℃) | 최저 기온 (℃) | 최고 기온 (℃) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누 적 일사량 (mmol m-2d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6/ 3부터 6/22까지 | 1-2w | 1 | 25.75 | 20.16 | 34.98 | 48.37 | 22.10 | 60.60 | 28.44 |
| | | 2 | 28.02 | 22.13 | 37.53 | 50.11 | 22.53 | 64.61 | 25.34 |
| | | 3 | 25.89 | 20.33 | 34.84 | 48.16 | 22.18 | 60.25 | 24.24 |
| | | 4 | 29.49 | 22.44 | 40.66 | 45.19 | 20.99 | 57.16 | 23.58 |
| | 무기둥 | 1 | 26.29 | 20.18 | 35.96 | 46.72 | 23.04 | 58.89 | 26.49 |
| | | 2 | 27.27 | 21.11 | 37.05 | 41.56 | 16.48 | 53.94 | 22.30 |
| | | 3 | 27.39 | 21.39 | 36.60 | 47.30 | 20.65 | 61.54 | 22.12 |
| | | 4 | 26.68 | 20.77 | 35.86 | 45.76 | 17.35 | 60.63 | 23.71 |
| 6/23부터 6/29까지 | 1-2w | 1 | 26.78 | 23.35 | 31.74 | 54.97 | 42.21 | 63.18 | 21.40 |
| | | 2 | 29.22 | 25.58 | 34.43 | 56.78 | 43.24 | 67.32 | 18.04 |
| | | 3 | 26.84 | 23.56 | 31.59 | 55.08 | 43.08 | 63.21 | 16.02 |
| | | 4 | 29.97 | 25.64 | 36.97 | 53.04 | 42.61 | 60.34 | 15.29 |
| | 무기둥 | 1 | 26.95 | 23.43 | 32.61 | 55.27 | 45.27 | 63.15 | 18.55 |
| | | 2 | 28.09 | 24.50 | 33.81 | 50.45 | 38.03 | 59.29 | 14.39 |
| | | 3 | 28.27 | 24.73 | 33.68 | 56.58 | 44.47 | 66.15 | 14.65 |
| | | 4 | 27.39 | 23.94 | 32.42 | 55.10 | 42.19 | 64.69 | 16.52 |
| 6/30부터 7/ 6까지 | 1-2w | 1 | 29.51 | 25.81 | 35.28 | 55.07 | 36.28 | 64.41 | 31.81 |
| | | 2 | 32.18 | 28.29 | 38.12 | 56.84 | 37.17 | 68.62 | 27.71 |
| | | 3 | 29.61 | 25.97 | 35.21 | 55.10 | 37.17 | 64.77 | 26.96 |
| | | 4 | 33.15 | 28.12 | 41.82 | 53.02 | 36.53 | 62.24 | 26.64 |
| | 무기둥 | 1 | 29.79 | 25.76 | 36.83 | 55.84 | 40.63 | 64.80 | 30.91 |
| | | 2 | 30.97 | 26.98 | 37.77 | 51.37 | 33.53 | 61.69 | 25.66 |
| | | 3 | 31.15 | 27.30 | 37.45 | 56.86 | 39.22 | 66.96 | 26.21 |
| | | 4 | 30.15 | 26.37 | 36.24 | 55.57 | 35.89 | 66.27 | 29.08 |
| 7/ 7부터 7/13까지 | 1-2w | 1 | 30.16 | 26.18 | 36.01 | 51.75 | 31.31 | 62.48 | 31.87 |
| | | 2 | 32.83 | 28.66 | 39.12 | 53.31 | 32.08 | 66.26 | 27.99 |
| | | 3 | 30.29 | 26.38 | 36.20 | 51.63 | 31.27 | 62.94 | 27.33 |
| | | 4 | 33.64 | 28.47 | 42.01 | 49.26 | 30.49 | 60.38 | 27.04 |
| | 무기둥 | 1 | 30.42 | 26.16 | 37.65 | 52.39 | 33.69 | 62.42 | 30.78 |
| | | 2 | 31.68 | 27.37 | 38.83 | 48.58 | 28.19 | 59.57 | 25.67 |
| | | 3 | 31.79 | 27.62 | 38.30 | 53.53 | 32.55 | 65.26 | 26.24 |
| | | 4 | 30.81 | 26.73 | 37.13 | 52.14 | 28.80 | 64.93 | 29.65 |
| 7/14부터 7/21까지 | 1-2w | 1 | 28.14 | 23.35 | 34.35 | 50.40 | 31.32 | 63.22 | 29.83 |
| | | 2 | 30.81 | 25.83 | 37.57 | 51.86 | 31.95 | 67.24 | 26.09 |
| | | 3 | 28.26 | 23.59 | 34.60 | 50.13 | 31.26 | 63.03 | 24.90 |
| | | 4 | 31.75 | 25.50 | 41.33 | 47.55 | 30.48 | 60.08 | 24.44 |
| | 무기둥 | 1 | 28.46 | 23.25 | 36.04 | 51.48 | 35.16 | 63.02 | 29.17 |
| | | 2 | 29.69 | 24.48 | 37.40 | 45.76 | 26.39 | 59.21 | 24.45 |
| | | 3 | 29.77 | 24.72 | 36.89 | 50.94 | 31.55 | 65.27 | 24.62 |
| | | 4 | 28.82 | 23.80 | 35.54 | 50.83 | 29.73 | 65.22 | 27.70 |

나. 하우스 형태, 재식위치 그리고 재식밀도에 따른 수량반응

하우스 형태, 재식밀도 그리고 재식 위치에 따른 전 생육기간을 통한 수확 주수, 수확 과실수 그리고 과실 생과중은 표 2-7에 주어져 있다. 하우스 내부 면적을 등면적의 직사각형으로 4등분하여 동남쪽을 1지점, 남서쪽을 2지점, 북서쪽을 3지점 그리고 북동쪽을 4지점으로 하였으며, 각 지점 당 6개의 양액 생장대 (bed)가 설치되어 있어, 3수준의 재식밀도를 지점 당 2개의 반복으로 완전 임의로 설치하였던 바 하우스 형태별, 재식지점별 분산분석을 실시하였다. 하우스 형태간 유의한 차이는 없었는데 총 수확 주수에서는 1-2W형 하우스가 29.5개로 무기둥 하우스의 27.5보다 약간 높은 경향이었고, 수확 과실수에서도 1-2W형 하우스가 31.4개로 29.7개의 무기둥 하우스보다 높은 경향이었으나 수확 생과중에 있어서는 무기둥 하우스가 7.5kg으로 1-2W형 하우스의 7.4kg보다 약간 높은 값을 보였다. 또한 1-2W형 하우스나 무기둥 하우스 모두 하우스 내의 재식지점간 유의한 차이는 없었다(표 2-8).

표 2-8. 1998년 6월 재식밀도 실험에서 재식지점간 조사형질의 평균간 비교

| 1-2W형 하우스 | | | | 무기둥 하우스 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 재식 위치 | 수확 주수 | 수확 과실수 | 과실 생체중 (kg) | 재식 위치 | 수확 주수 | 수확 과실수 | 과실 생체중 (kg) |
| 1 | 29.2 | 31.2 | 7.1 | 1 | 27.8 | 30.5 | 7.7 |
| 2 | 27.8 | 30.2 | 7.0 | 2 | 24.8 | 26.7 | 6.6 |
| 3 | 31.2 | 32.5 | 7.8 | 3 | 24.8 | 26.7 | 7.3 |
| 4 | 29.7 | 31.2 | 7.9 | 4 | 32.3 | 34.8 | 8.4 |
| LSD0.05 | 7.92 | 9.46 | 2.99 | LSD0.05 | 8.29 | 9.76 | 2.79 |

표 2-9. 1998년 6월 재식밀도 실험에서 재식밀도간 조사형질의 평균간 비교

| 1-2W형 하우스 | | | | 무기둥 하우스 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 재식 밀도 (cm) | 수확 주수 | 수확 과실수 | 과실 생체중 (kg) | 재식 밀도 (cm) | 수확 주수 | 수확 과실수 | 과실 생체중 (kg) |
| 15 | 35.0 | 36.5 | 8.56 | 15 | 34.8 | 37.6 | 9.42 |
| 20 | 29.0 | 31.5 | 7.59 | 20 | 29.5 | 32.5 | 8.32 |
| 25 | 24.4 | 26.1 | 6.21 | 25 | 18.1 | 18.9 | 4.83 |
| LSD0.05 | 6.86 | 8.20 | 1.49 | LSD0.05 | 7.18 | 8.46 | 2.41 |

표 2-7. 하우스 형태, 조사지점, 재식밀도 수준에 따른 전 생육기간에 걸친 수량요소의 변이

| 1-2W형 하우스 | | | | | | 무기둥 하우스 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 조사 지점 | 재식 밀도 (cm) | 반복 | 수확 주수 | 수확 과실수 | 수확 생과중 (kg) | 조사 지점 | 재식 밀도 (cm) | 반복 | 수확 주수 | 수확 과실수 | 수확 생과중 (kg) |
| | 15 | 1 | 29.0 | 29.0 | 6.21 | | 15 | 1 | 42.0 | 45.0 | 11.24 |
| | | 2 | 27.0 | 27.0 | 6.76 | | | 2 | 28.0 | 29.0 | 7.26 |
| 1 | 20 | 1 | 28.0 | 28.0 | 7.11 | 1 | 20 | 1 | 31.0 | 32.0 | 8.18 |
| | | 2 | 30.0 | 32.0 | 7.11 | | | 2 | 31.0 | 40.0 | 10.48 |
| | 25 | 1 | 32.0 | 41.0 | 7.76 | | 25 | 1 | 13.0 | 13.0 | 3.20 |
| | | 2 | 29.0 | 30.0 | 7.68 | | | 2 | 22.0 | 24.0 | 5.66 |
| | 15 | 1 | 31.0 | 32.0 | 7.59 | | 15 | 1 | 13.0 | 14.0 | 2.80 |
| | | 2 | 33.0 | 36.0 | 7.81 | | | 2 | 45.0 | 50.0 | 12.70 |
| 2 | 20 | 1 | 24.0 | 25.0 | 6.96 | 2 | 20 | 1 | 26.0 | 26.0 | 5.73 |
| | | 2 | 20.0 | 26.0 | 6.53 | | | 2 | 26.0 | 28.0 | 7.43 |
| | 25 | 1 | 34.0 | 37.0 | 6.93 | | 25 | 1 | 19.0 | 20.0 | 5.18 |
| | | 2 | 25.0 | 25.0 | 6.36 | | | 2 | 20.0 | 22.0 | 6.03 |
| | 15 | 1 | 37.0 | 38.0 | 10.73 | | 15 | 1 | 32.0 | 34.0 | 7.51 |
| | | 2 | 47.0 | 48.0 | 10.21 | | | 2 | 35.0 | 38.0 | 11.70 |
| 3 | 20 | 1 | 35.0 | 37.0 | 8.70 | 3 | 20 | 1 | 28.0 | 31.0 | 8.48 |
| | | 2 | 32.0 | 36.0 | 7.76 | | | 2 | 26.0 | 29.0 | 8.19 |
| | 25 | 1 | 21.0 | 21.0 | 5.71 | | 25 | 1 | 17.0 | 17.0 | 4.99 |
| | | 2 | 15.0 | 15.0 | 3.64 | | | 2 | 11.0 | 11.0 | 3.05 |
| | 15 | 1 | 37.0 | 40.0 | 9.26 | | 15 | 1 | 44.0 | 50.0 | 12.02 |
| | | 2 | 39.0 | 42.0 | 9.90 | | | 2 | 39.0 | 41.0 | 10.11 |
| 4 | 20 | 1 | 35.0 | 38.0 | 8.74 | 4 | 20 | 1 | 39.0 | 43.0 | 10.58 |
| | | 2 | 28.0 | 30.0 | 7.82 | | | 2 | 29.0 | 31.0 | 7.51 |
| | 25 | 1 | 18.0 | 18.0 | 4.54 | | 25 | 1 | 25.0 | 25.0 | 5.50 |
| | | 2 | 21.0 | 22.0 | 7.06 | | | 2 | 18.0 | 19.0 | 5.00 |

재식밀도간 분산분석에서는 두 유형의 하우스 모두 조사형질에서 유의한 차이를 보였다(표 2-9). 1-2W형 하우스에서는 수확 주수, 수확 과실수, 그리고 과실 생체중에 있어서 모두 15cm(34주/bed)처리와 25cm처리(20주/bed)에서만 차이가 났으며, 15cm와 20cm수준(26주/bed)이나 20cm와 25cm수준간에는 유의한 차이가 없었다. 반면 무기둥 하우스에서는 15cm와 20cm수준이 모든 형질에서 25cm수준보다 유의한 차이를 보였으며 15cm수준과 20cm수준은 차이가 없었다. 본 실험의 결과 재식밀도가 높을수록 모든 수량형질에서 증가하는 경향이었으며, 재식거리가 15cm수준에서

20cm수준과는 유의한 차이는 없었지만 가장 높은 값을 보였다. 따라서 오이 재배에 있어서의 적정 재식수준은 15cm이하의 수준을 검토해 보아야 할 것이지만 본 실험의 결과 15cm 20cm의 주간 간격이 적당한 것으로 사료된다.

# 제 3 장 작형에 따른 오이 품종군 및 품종의 절성

## 제 1 절 서 론

오이재배는 초기에 노지직파재배와 조숙재배가 주된 작형이었으나, 비닐하우스재배와 함께 새로운 품종육성 및 보급으로 현재는 시설재배를 중심으로 재배작형이 다양하게 분화되고 있다. 우리나라에서는 종묘회사가 다다기성, 내서성, 내병성 등을 개선하고 각 재배방식의 환경에 알맞은 우수한 1대 잡종 품종들을 많이 육성하여 보급하고 있다. 1996년 8월 현재 등록된 오이품종은 171품종이다. 조숙・노지재배용이 76품종으로 가장 많고, 촉성재배용 25품종, 반촉성재배용 50품종, 억제재배용 20품종이며, 시설재배용으로 등록된 품종은 95품종(55%)이다. 재배방식별 절성을 보면 일반적으로 촉성재배 52 64%, 반촉성재배 61 72%, 시설재배 46 59%, 노지재배는 25 40%를 보인다. 재배방식에 따른 적응품종의 측지수는 노지재배용 품종은 5 6개로 많은 반면 시설억제용 품종은 3 4개로 적다. 또한 주지의 암꽃 착생성과 측지 암꽃 착생성을 아울러 갖는 것이 이상적인 model이라 해도, 일반적으로 주지에 암꽃이 잘 붙는 절성성이 강한 것은 분지성이 적은 경향이 있는 등 제 특성을 전부 만족시킬 수 있기는 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 오이 품종군 및 품종에 따른 절성 비교 실험, 즉 시설억제재배, 촉성재배, 반촉성재배 그리고 여름재배의 4작형을 2종류의 하우스에서 실시하였으며, 작형에 따른 품종들의 개화반응, 개체 당 과실수에 따른 퇴화 과실수 그리고 잎의 부위별 광합성율 등을 조사하였다.

## 제 2 절 재료 및 방법

1. 오이 품종군 및 품종에 따른 절성비교와 재배환경에 따른 생육 및 수량변이 조사

오이 품종군 및 품종에 따른 절성비교 실험은 시설억제재배, 촉성재배, 반촉성재배 그리고 여름재배의 4작형을 통해서 2종류의 하우스에서 (1-2W형과 무기둥 하우스) 실시하였으며 작형에 따른 품종들의 개화반응, 개체 당 과실수에 따른 퇴화 과실수, 그리고 잎의 부위별 광합성율 등을 조사하였으며, 아울러 하우스내의 기상환경요인의 분포를 조사하였다. 본 실험은 품종군의 작형에 따른 절성조사와 기상환경의 변이에 따른 수량조사를 동시에 실시하였는데, 절성조사를 위해 하우스 면적 중 일부분에 품종 당 20개체를 재식하였고 수량조사를 위해서 하우스 나머지 면적에 겨우살이 청장오이를 재식하여 조사하였다

## 가. 시설억제재배시 오이 품종군 및 품종에 따른 절성비교와 재배환경에 따른 생육 및 수량변이

### 1) 작형에 따른 품종군의 절성 조사

여름재배의 4작형 중 첫 번째 연구로서, 공시품종으로 4개 품종군에서 각 품종군 별 2개 품종, 즉 청장계의 겨우살이 청장오이와 남부청장오이, 장일낙합계의 장일낙합과 가을낙합오이 그리고 흑진주계의 신흑진주와 장록흑진주오이, 반백계의 흥농백다다기와 입추백다다기오이를 1997년 8월 10일 파종하여 9월 10일에 정식하였다. 조사내용을 보면 10월 6일에서 11월 30일까지 암 · 수 비율 조사를 하였고, 10월 14일부터 11월 30일까지 출엽수와 수확량을 조사하였다.

### 2) 작형에 따른 기상요인의 변이에 따른 생산량 변이 조사

위 1)의 연구와 병행하여 같은 조건의 공시품종인 겨우살이 청장오이에 대해 수량과 개체당 암꽃의 비율에 따른 퇴화 화기수를 조사하였다.

## 나. 촉성재배시 오이 품종군 및 품종에 따른 절성비교

공시품종인 4개 품종군에서 각 품종군 별 2개 품종들을 1997년 11월 17일 파종하여 다음 달 12월 17일에 정식하고, 12월 26일부터 1998년 2월 7일까지

출엽수 조사를, 1998년 2월 9일에서 2월 21일까지 암·수 비율 조사를 실시하였다.

다. 반촉성재배시 오이 품종군 및 품종에 따른 절성비교와 재배환경에 따른 생육 및 수량변이

가,나와 동일한 공시품종군 별 품종을 가지고, 1998년 2월 7일 파종하여 3월 7일에 정식하고, 3월 12일에서 5월 5일까지 출엽수를 조사하고, 98년 4월 28일에서 5월 10일까지 암·수 비율 조사와, 4월 20일부터 5월 8일까지 수확량을 조사하였고, 3월 28일부터 1주일 간격으로 6회에 걸쳐서 초장, 엽수, 엽면적, 엽, 경 그리고 근건물중 조사하였다.

라. 여름재배시 오이 품종군 및 품종에 따른 절성비교시험

공시품종은 4개 품종군에 품종군 별 2개 품종, 즉 청장계의 겨우살이 청장오이, 남부청장오이, 낙합계의 장일낙합오이, 가을낙합오이, 흑진주계의 신흑진주오이, 장록흑진주오이, 그리고 반백계의 흥농백다다기, 입추백다다기오이의 8개 품종으로 하였다. 1998년 5월 13일 공시 품종들의 종자를 10시간 동안 침종 후 25℃ 인큐베이터에서 38시간 동안 최아시켰다. 5월 15일에 재배용 풋트와 상토를 이용하여 파종하고, 겨우살이 청장오이 외의 7품종은 각 각 30립씩 파종상에 구분지어 유묘 관리에 들어갔다. 매일 오전 10시와 오후 3시에 풋트가 바닥까지 젖도록 충분히 관수하고, 5월 17일 발아 시작하여 본엽 2-3매가 출현한 6월 2일에 하우스에 정식하였다. 정식은 bench식 양액재배 생장대에 실시하였고, 양액급여 방식은 전과 동일하게 하였으며 절성조사를 위해 하우스 내 일부 면적의 생장대에는 8개의 품종 당 20개체를 재식하였다. 실험목적은 오이 여름재배시 품종군이나 품종간 절성을 비교하여 여름재배에 적절한 품종을 밝히는데 있다.

생육조사는 6월 23일부터 7월 21일까지 1주일 간격으로 엽수, 초장, 엽면적, 엽·경·근 건물중을, 암·수 비율 조사는 7월 6일에서 7월 18일에 걸쳐 품종

당 4주 선발하여 3일 간격으로 5회 조사하였으며, 출엽수는 6월 6일에서 7월 16일까지 품종당 선발한 4주를 2일 간격으로 조사하였다. 수확 생과중은 7월 9일에서 7월 22일까지 2일 간격으로 품종 당 4주를 조사하였다.

기상환경의 계측은 외부기상으로서 기온, 상대습도, 일사량, 강수량, 풍속을 측정하였으며 하우스 내의 기상으로는 평균기온, 최저기온, 최고기온, 상대습도, 일사량 등을 매 10분 간격으로 자동 측정하였다.

## 제 3 절 결과 및 고찰

하우스 재배오이의 작형은 촉성재배, 반촉성재배, 조숙재배, 여름재배, 그리고 난지억제재배의 크게 5가지로 분화되어 있다. 촉성재배는 10월 11월 파종하여 1 2월부터 출하하고 반촉성재배는 1월 2월에 파종하여 3월 4월부터 출하하며, 조숙재배는 2 3월에 파종하여 4 5월에 출하하고, 여름재배는 4월 5월에 파종하여 6월 7월에 출하하며 난지억제재배는 8월 9월에 파종하여 10월에서 12월에 출하한다. 이러한 작형에 따라 오이가 자라는 재배기간의 일장과 온도는 크게 차이가 나게 마련이며 이들 환경조건에 따라 오이 품종군 내지는 품종간 개화한 꽃의 성 발현은 크게 차이가 난다. 오이의 생산은 암꽃의 출현정도, 온도의 고저에 따른 생육정도 그리고 퇴화 암꽃 비율에 의존한다 해도 과언이 아니다. 특히 암꽃의 출현정도는 오이의 잠재적 생산을 결정하는 것으로 작형에 따른 암꽃 출현정도가 적절한 품종의 선택은 오이재배에서 가장 중요한 것이다. 본 연구에서는 위에서 언급한 4가지 작형에 공시 품종군으로 청장계, 장일낙합계, 흑진주계 그리고 반백계 4가지를, 그리고 각 품종군에 두 개의 품종, 즉 청장계로는 겨우살이 청장오이, 남부청장오이, 낙합계로는 장일낙합오이, 가을낙합오이, 흑진주계로는 신흑진주, 장록흑진주오이를, 그리고 반백계로는 흥농백다다기, 입추백다다기오이로 하여 재배하여 암꽃의 출현정도, 온도의 고저에 따른 생육 정도 그리고 퇴화 암꽃 비율을 조사하였다. 이 조사 결과는 차후 작형에 따른 적절한 품종 선택에 이용될 것이다.

1.하우스 형태 및 위치별 기상환경의 변이

오이재배 기간의 작형별, 하우스 형태별 그리고 조사지점별 기상환경의 평균값이 표 3-1, 3-2, 3-3, 3-4에 주어져 있다. 이들 기상요인을 살펴보면 대체적으로 무기둥 하우스가 1-2W형 하우스보다 보온력이 좋아 평균기온, 최저기온 그리고 최고기온에서 1 2℃ 높은 값을 보였다. 상대습도에서는 두 형태의 하우스 간 커다란 차이가 없었는데 이는 상대습도가 온도에 의해 변하는 것임을 감안할 때 당연한 결과로 사료된다. 즉, 절대습도가 같더라도 상대습도는 온도가 상승함에 따라 낮아짐으로 하우스 형태별 보습정도에서의 양호정도는 상대습도를 가지고 판정하기 어렵다. 평균 일 누적일사량에서는 1-2W형 하우스가 무기둥 하우스보다 대체적으로 2 3mmol m-2 d-1 정도 높은 값을 보여, 비교적 좋은 광 환경을 유지하는 것으로 판단된다. 지점별로 보면 1-2W형 하우스에서는 광을 아침부터 받는 동남방향의 1지점과 남서방향의 2지점이 보다 높은 일사량을 보였고, 무기둥 하우스에서는 동남방향의 1지점과 동북방향의 4지점이 비교적 높은 일사량을 보였다.

표 3-1. 1997년 9월 품종별 절성 조사 기간의 9월 11일에서 10월 27일까지의 평균값

| 하우스 형태 | 조사 위치 | 평균 기온 (°C) | 최저 기온 (°C) | 최고 기온 (°C) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누적 일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-2W | 1 | 21.60 | 15.81 | 30.89 | 37.50 | 9.81 | 60.29 | 28.13 |
| | 2 | 23.07 | 16.90 | 33.07 | 47.29 | 13.58 | 67.15 | 24.22 |
| | 3 | 21.57 | 15.69 | 31.05 | 45.44 | 13.33 | 63.51 | 22.93 |
| | 4 | 21.83 | 15.79 | 31.73 | 51.82 | 21.65 | 69.38 | 25.03 |
| 무기둥 | 1 | 22.49 | 16.25 | 32.88 | 44.46 | 14.89 | 61.22 | 25.60 |
| | 2 | 23.29 | 17.12 | 33.69 | 40.06 | 11.49 | 57.15 | 20.73 |
| | 3 | 23.37 | 17.45 | 32.99 | 44.60 | 13.12 | 63.32 | 20.80 |
| | 4 | 22.63 | 16.75 | 32.09 | 45.91 | 12.49 | 64.59 | 20.17 |

표 3-2. 1997년 12월 품종별 절성 조사 기간의 12월 26일에서 2월 8일까지의 평균값

| 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 평균 기온 (℃) | 최저 기온 (℃) | 최고 기온 (℃) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누 적 일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-2W | 1 | 20.04 | 12.51 | 26.41 | 26.20 | 13.98 | 39.62 | 21.50 |
| | 2 | 22.65 | 13.79 | 28.83 | 26.51 | 16.80 | 37.87 | 17.32 |
| | 3 | 21.44 | 13.28 | 27.08 | 25.21 | 16.22 | 37.79 | 14.91 |
| | 4 | 19.99 | 13.25 | 27.38 | 32.99 | 23.54 | 45.10 | 16.53 |
| 무기둥 | 1 | 20.25 | 13.41 | 30.40 | 32.67 | 18.97 | 46.64 | 15.75 |
| | 2 | 22.86 | 14.39 | 31.49 | 24.09 | 11.61 | 39.99 | 11.71 |
| | 3 | 22.59 | 14.52 | 30.97 | 28.51 | 14.83 | 45.12 | 11.69 |
| | 4 | 21.38 | 13.72 | 29.80 | 31.55 | 15.78 | 49.14 | 12.30 |

표 3-3. 1998년 3월 품종별 절성 조사 기간의 3월 12일에서 5월 2일까지의 평균값

| 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 평균 기온 (℃) | 최저 기온 (℃) | 최고 기온 (℃) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누 적 일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-2W | 1 | 21.61 | 16.06 | 32.33 | 48.18 | 23.55 | 61.86 | 28.47 |
| | 2 | 23.83 | 18.10 | 34.96 | 50.54 | 23.99 | 66.01 | 25.37 |
| | 3 | 22.00 | 16.57 | 32.36 | 48.28 | 23.70 | 62.05 | 24.19 |
| | 4 | 22.09 | 16.25 | 33.25 | 55.09 | 27.08 | 65.98 | 26.41 |
| 무기둥 | 1 | 22.67 | 17.34 | 33.01 | 50.55 | 27.65 | 62.99 | 24.34 |
| | 2 | 23.64 | 18.21 | 34.11 | 45.73 | 22.65 | 59.21 | 20.07 |
| | 3 | 25.15 | 19.60 | 35.55 | 45.56 | 22.07 | 60.11 | 19.97 |
| | 4 | 22.83 | 17.78 | 32.57 | 51.94 | 26.10 | 66.20 | 20.32 |

표 3-4. 1998년 6월 품종별 절성 조사 기간의 6월 3일에서 7월 21일까지의 평균값

| 하우스 형 태 | 조 사 위 치 | 평균 기온 (℃) | 최저 기온 (℃) | 최고 기온 (℃) | 평균 습도 (%) | 최저 습도 (%) | 최고 습도 (%) | 누 적 일사량 (mmol m-2 d-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-2W | 1 | 27.33 | 22.65 | 34.58 | 50.94 | 29.47 | 62.07 | 28.44 |
| | 2 | 29.79 | 24.86 | 37.37 | 52.63 | 30.12 | 66.08 | 24.98 |
| | 3 | 27.45 | 22.83 | 34.56 | 50.81 | 29.72 | 62.00 | 23.83 |
| | 4 | 30.92 | 24.91 | 40.51 | 48.23 | 28.83 | 59.11 | 23.29 |
| 무기둥 | 1 | 27.71 | 22.65 | 35.81 | 50.58 | 31.73 | 61.31 | 26.77 |
| | 2 | 28.82 | 23.71 | 36.95 | 45.68 | 24.87 | 57.21 | 22.26 |
| | 3 | 28.95 | 23.98 | 36.55 | 51.26 | 29.72 | 63.93 | 22.39 |
| | 4 | 28.10 | 23.22 | 35.52 | 49.97 | 26.70 | 63.17 | 24.64 |

## 2. 작형에 따른 품종별 꽃의 암수 비율

작형에 따른 품종별, 하우스 형태별 주당 암꽃 수, 수꽃 수, 암꽃의 비율 그리고 퇴화 암꽃의 비율은 표 3-5에 주어져 있다.

시설억제재배에서는 흑진주계의 품종들과 입추백다다기에서 가장 많은 주당 암꽃 수를 보였으며 따라서 높은 암꽃비율을 보였다. 장일낙합오이에서는 비교적 높은 암꽃비율을 보였으며 가을낙합오이는 40%수준의 암꽃비율로 다소 낮은 수준이었고 청장계 오이나 흥농백다다기에서는 주당 2개이하의 주당 암꽃 수를 유지하고 있어 낮은 암꽃비율을 보였다. 엽수가 20개 정도의 오이에서 대략 3 4개의 오이가 동시에 자랄 수 있는 것을 감안해 볼 때 주당 3개 이하의 암꽃을 유지하는 품종은 잠재적 수량성이 다소 떨어질 것으로 사료되며, 따라서 청장계 오이나 흥농백다다기 그리고 가을낙합오이는 노지 억제재배에 적절치 못한 것으로 생각된다. 그러나 주당 암꽃수가 많을수록 퇴화하는 암꽃비율이 증가하는 경향이 있는데 흑진주계통은 20%이상의 암꽃이 퇴화하는 반면 장일낙합오이는 비록 주당 암꽃 수에서는 흑진주계통보다 낮지만 퇴화암꽃이 거의 생기지 않아 장일낙합오이의 잠재적 수량성은 오히려 흑진주계를 능가하는 것으로 생각된다. 입추백다다기오이는 주당 암꽃수도 많고 퇴화 암꽃비율도 낮아 8개의 품종 중 가장 높은 수량성을 보일 것으로 생각된다. 주당엽수는 오이 생육의 진척정도를 나타내는 것으로 표 3-6에 의하면 주당 암꽃수가 적을수록 많은 엽수를 보였으나 8개 품종 모두 양호한 생육를 보였다. 주당 과실수나 주당 생과중을 볼 때 시설억제재배에서 1-2W형 하우스에서 가장 높은 수량을 보인 것은 입추백다다기오이였고, 다음으로 장일낙합오이, 가을낙합오이, 신흑진주, 장록흑진주, 흥농백다다기, 남부청장오이, 겨우살이 청장오이 순 이였다. 반면 무기둥 하우스에서는 흑진주계통이 엽수가 1-2W형 하우스의 엽수보다 2 3개 많았으며 주당 과실수나 주당 생과중에서는 상당히 높은 수준을 보였는데, 이는 흑진주계통이 내한성이 약한 것과 무기둥 하우스가 비교적 보온성이 좋은 것을 감안할 때 당연한 결과라 생각된다. 백다다기계통에서는 비

교적 주당 수확 과실수가 많음에도 불구하고, 주당 생과중이 낮은 것은 이 품종들이 오이 장아찌용이나 피클용으로 적절할 정도로 크기가 작은데 기인하며 기호에 따라 가격 차이가 높아 이들 품종을 선택할 때는 판매처 주민들의 기호를 고려하여야 할 것이다.

촉성재배에서의 품종들의 암·수꽃의 발생정도를 보면 입추백다다기오이가 가장 높은 절성을 보인 반면 가장 높은 퇴화 암꽃비율을 보였으며 흥농백다다기오이와  흑진주계통의 오이가 다음으로 높았고 장일낙합계가 그 다음이었으며 청장계오이가 가장 낮은 암꽃비율을 보였으나, 시설억제재배의 경우보다 주당 암꽃 수에서는 월등히 증가하였다. 청장계오이나 낙합계오이는 비록 암꽃비율에서는 비교적 낮았으나 퇴화 암꽃비율이 낮아 잠재적 수량에서는 그다지 떨어지지 않을 것으로 기대되며 촉성재배의 생육시기가 연중 가장 추운 12월 1월 사이임을 감안할 때 품종의 내한성에 크게 영향받을 것으로 생각된다. 생장의 양호정도를 나타내는 최종수확기의 엽수를 살펴보면 흑진주계는 1-2W형 하우스에서 12개의 엽수를, 보온력이 다소 양호한 무기둥 하우스에서는 14 15개의 엽수를 보여 생육이 매우 불량하였고 따라서 수량도 매우 낮았다. 청장계의 겨우살이 청장오이나 남부청장의 경우 비교적 양호한 생장을 하여 18 21개의 엽수를 보였으며 흥농백다다기오이에서 가장 높은 엽수를 보였다. 입추백다다기오이나 낙합계오이에서도 비교적 낮은 엽수를 보여 이들의 내한성이 다소 떨어지는 것으로 판단된다. 주당 생과중을 비교해 보면 1-2W형 하우스에서는 입추백다다기 오이가 가장 높은 값을 보였고 다음으로 가을낙합오이, 흥농백다다기오이, 겨우살이 청장오이, 장일낙합 순이었으며 남부청장오이나 흑진주계통은 매우 낮은 수량을 보였다. 무기둥 하우스에서는 반백계 오이와 겨우살이 청장오이가 높은 수량을 보였고 낙합계 오이도 비교적 높은 수량을 보인 반면 흑진주계나 남부청장의 경우 매우 낮은 수량을 보였다.

반촉성재배의 경우 반백계와 흑진주계의 품종들은 매우 높은 암꽃비율을 보였고 낙합계에서도 암꽃비율이 상당히 증가한 67 74%를 보인 반면 퇴화 암꽃 비율도 그에 따라 증가하였다. 청장계의 품종들은 여전히 낮은 암꽃비율을

보였으나 주당 암꽃수도 상당히 증가하였으나 그에 따라 퇴화 암꽃 비율도 증가하였다. 최종 수확시 엽수를 살펴볼 때 청장계의 품종들이 가장 생육이 양호하였고 반백계와 낙합계는 비슷한 정도의 생육을 보였으며 흑진주계는 비록 타 품종에 비해 낮은 엽수를 보였으나 촉성재배에 비해 월등히 양호한 엽수를 보였다. 주당 생과중을 비교해 볼 때 청장계에서 비교적 높은 수량을 보였으며 낙합계, 반백계 순으로 낮아졌고 장록흑진주는 여전히 낮은 수량성을 보였다.

여름재배의 경우 흑진주계에서 가장 높은 암꽃 비율을 보였고 반백계에서도 비교적 높은 암꽃비율을, 낙합계는 다소 낮은 암꽃 비율을, 그리고 청장계는 매우 낮은 암꽃비율을 보였다. 반면 퇴화 암꽃 비율은 암꽃 비율이 높을수록 증가하여 청장계에서 가장 낮은, 그리고 흑진주에서 가장 높은 퇴화 암꽃 비율을 보였다. 최종 수확시 주당 엽수를 비교해 보면 남부청장이 가장 많은 37.8개를 보였고 입추백다다기오이에서 다음으로 높았으며 흑진주계를 제외한 나머지 품종들은 비슷한 정도의 엽수를 보였다. 흑진주계는 비록 타 품종에 비해 낮은 엽수를 보였지만 다른 작형과 비교해 볼 때 양호한 생장을 보였다. 주당 생과중을 비교해 보면 남부청장오이에서 가장 양호하였고 낙합계 품종, 흥농백다다기오이, 신흑진주, 겨우살이 청장오이 그리고 장록흑진주 순으로 낮았다.

이상의 결과를 요약하면 시설억제재배에서는 낙합계나 흑진주계 또는 입추백다다기 오이가 생육 및 수량에서 양호하였고, 촉성재배에서는 겨우살이 청장오이, 입추백다다기오이 그리고 가을낙합오이가 추천된다. 반촉성재배에서는 청장계 오이나 낙합계오이가 비교적 양호한 수량을 보였으며 여름재배에서는 남부청장오이나 가을낙합오이가 양호하였다.

표 3-5. **오이 작형에 따른 품종들의 꽃의 암수 비율 및 퇴화 암꽃 비율**

| 조사 시기 | 품 종 명 | 1-2W형 하우스 | | | | 무기둥 하우스 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 주 당 암꽃수 | 주 당 수꽃수 | 암 꽃 비 율 | 퇴화암꽃 비 율 | 주 당 암꽃수 | 주 당 수꽃수 | 암 꽃 비 율 | 퇴화암꽃 비 율 |
| 시설 억제 재배 | 장록흑진주 | 4.9 | 1.3 | 79.9 | 20.4 | 4.4 | 1.3 | 77.9 | 22.5 |
| | 신흑진주 | 4.5 | 1.0 | 82.5 | 22.4 | 3.9 | 1.0 | 79.5 | 37.1 |
| | 겨우살이 청장 | 1.5 | 5.3 | 23.6 | .0 | 1.9 | 5.1 | 27.4 | 11.6 |
| | 남부 청장 | 2.0 | 4.5 | 31.0 | 1.7 | 1.5 | 5.0 | 23.4 | 2.8 |
| | 흥농백다다기 | 1.6 | 4.5 | 27.3 | .0 | 2.1 | 4.0 | 35.3 | 3.7 |
| | 입추백다다기 | 4.3 | .6 | 88.9 | 14.1 | 4.5 | .1 | 98.1 | 27.7 |
| | 장일 낙합 | 3.5 | 2.7 | 59.1 | .0 | 3.0 | 3.6 | 47.6 | .0 |
| | 가을 낙합 | 2.6 | 4.4 | 40.1 | 2.9 | 2.1 | 3.4 | 39.0 | .0 |
| 촉성 재배 | 장록흑진주 | 4.0 | 2.8 | 58.7 | 9.9 | 5.3 | 4.0 | 56.3 | 13.9 |
| | 신흑진주 | 4.0 | 4.1 | 49.8 | 13.5 | 3.6 | 6.7 | 34.1 | 5.4 |
| | 겨우살이 청장 | 5.3 | 10.7 | 32.8 | 1.3 | 6.5 | 9.3 | 40.5 | .0 |
| | 남부 청장 | 4.8 | 8.0 | 37.1 | .0 | 5.6 | 7.8 | 40.8 | .0 |
| | 흥농백다다기 | 8.6 | 7.4 | 53.0 | 2.1 | 9.2 | 5.9 | 60.3 | .0 |
| | 입추백다다기 | 9.7 | 2.6 | 78.7 | 18.6 | 8.9 | 3.0 | 74.1 | 18.4 |
| | 장일 낙합 | 5.6 | 5.9 | 48.9 | 3.0 | 6.8 | 6.1 | 52.7 | 5.1 |
| | 가을 낙합 | 5.6 | 7.0 | 44.6 | 2.0 | 6.0 | 6.4 | 48.7 | .0 |
| 반 촉성 재배 | 장록흑진주 | 17.4 | 1.6 | 29.9 | 91.7 | 21.3 | 1.2 | 40.6 | 94.5 |
| | 신흑진주 | 19.4 | 3.5 | 29.2 | 84.6 | 19.6 | 1.1 | 42.1 | 94.8 |
| | 겨우살이 청장 | 11.9 | 28.3 | 9.8 | 30.1 | 13.8 | 38.4 | 13.1 | 28.2 |
| | 남부 청장 | 13.1 | 24.5 | 14.7 | 35.8 | 13.8 | 25.1 | 17.2 | 37.0 |
| | 흥농백다다기 | 21.9 | .0 | 30.1 | 100.0 | 27.5 | .6 | 27.0 | 98.1 |
| | 입추백다다기 | 20.3 | .3 | 28.7 | 98.5 | 25.2 | .0 | 41.0 | 100.0 |
| | 장일 낙합 | 18.1 | 6.3 | 21.5 | 74.1 | 20.4 | 8.2 | 41.3 | 71.9 |
| | 가을 낙합 | 17.2 | 8.3 | 17.4 | 67.5 | 18.8 | 7.0 | 28.1 | 73.3 |
| 여름 재배 | 장록흑진주 | 22.2 | .1 | 99.7 | 43.1 | 20.7 | 1.6 | 92.8 | 43.1 |
| | 신흑진주 | 23.9 | .5 | 97.8 | 49.6 | 18.5 | 1.2 | 94.1 | 40.0 |
| | 겨우살이 청장 | 5.3 | 22.3 | 18.8 | 5.5 | 4.3 | 22.0 | 16.0 | 3.6 |
| | 남부 청장 | 5.8 | 25.0 | 18.5 | 20.5 | 4.4 | 24.2 | 14.7 | 14.6 |
| | 흥농백다다기 | 23.3 | 4.9 | 83.0 | 50.0 | 20.6 | 7.6 | 73.5 | 46.0 |
| | 입추백다다기 | 21.2 | 6.8 | 75.2 | 31.9 | 21.8 | 4.5 | 83.0 | 37.5 |
| | 장일 낙합 | 11.2 | 15.4 | 42.2 | 30.8 | 9.5 | 16.3 | 36.2 | 37.0 |
| | 가을 낙합 | 19.1 | 6.5 | 74.2 | 36.1 | 17.8 | 8.6 | 66.8 | 30.7 |

표 3-6. 오이 작형에 따른 품종들의 재배 종료까지의 엽수, 주당 과실수 그리고 주당 생과중

| 조사시기 | 품종명 | 1-2W형 하우스 | | | 무기둥 하우스 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 최종 엽수 | 주당 과실수 | 주당 생과중 | 최종 엽수 | 주당 과실수 | 주당 생과중 |
| 시설 억제 재배 | 장록흑진주 | 17.2 | 4.0 | 0.66 | 19.8 | 4.6 | 0.96 |
| | 신흑진주 | 18.5 | 4.4 | 0.72 | 21.8 | 4.6 | 0.90 |
| | 겨우살이 청장 | 21.2 | 3.5 | 0.62 | 23.7 | 3.6 | 0.71 |
| | 남부 청장 | 23.2 | 3.5 | 0.63 | 23.5 | 4.0 | 0.75 |
| | 흥농백다다기 | 22.3 | 4.3 | 0.64 | 23.0 | 5.3 | 0.85 |
| | 입추백다다기 | 21.5 | 5.4 | 0.85 | 23.5 | 5.2 | 0.88 |
| | 장일 낙합 | 20.3 | 4.4 | 0.79 | 21.8 | 5.1 | 0.96 |
| | 가을 낙합 | 21.5 | 4.7 | 0.81 | 23.7 | 4.8 | 0.98 |
| 촉성 재배 | 장록흑진주 | 12.0 | 0.0 | 0.00 | 14.2 | 0.0 | 0.00 |
| | 신흑진주 | 12.0 | 1.5 | 0.18 | 14.8 | 2.0 | 0.25 |
| | 겨우살이 청장 | 20.4 | 1.5 | 0.26 | 21.4 | 2.5 | 0.46 |
| | 남부 청장 | 18.4 | 1.0 | 0.17 | 18.8 | 1.0 | 0.13 |
| | 흥농백다다기 | 21.4 | 2.0 | 0.31 | 20.8 | 2.5 | 0.49 |
| | 입추백다다기 | 16.4 | 3.0 | 0.41 | 16.4 | 3.0 | 0.48 |
| | 장일 낙합 | 16.2 | 1.5 | 0.22 | 17.4 | 2.5 | 0.40 |
| | 가을 낙합 | 17.4 | 2.0 | 0.37 | 16.4 | 2.5 | 0.42 |
| 반촉성 재배 | 장록흑진주 | 17.8 | 2.9 | 0.39 | 21.0 | 2.3 | 0.40 |
| | 신흑진주 | 19.5 | 3.2 | 0.61 | 20.8 | 3.6 | 0.67 |
| | 겨우살이 청장 | 28.8 | 4.5 | 0.86 | 30.8 | 3.0 | 0.60 |
| | 남부 청장 | 27.0 | 3.4 | 0.61 | 29.5 | 4.3 | 0.85 |
| | 흥농백다다기 | 25.8 | 2.7 | 0.42 | 28.5 | 4.2 | 0.70 |
| | 입추백다다기 | 22.3 | 4.5 | 0.67 | 23.3 | 3.8 | 0.72 |
| | 장일 낙합 | 22.8 | 3.9 | 0.70 | 24.0 | 3.5 | 0.74 |
| | 가을 낙합 | 25.8 | 3.2 | 0.61 | 24.5 | 3.8 | 0.74 |
| 여름 재배 | 장록흑진주 | 26.0 | 1.5 | 0.33 | 27.0 | 1.6 | 0.35 |
| | 신흑진주 | 28.3 | 2.0 | 0.51 | 28.5 | 1.9 | 0.44 |
| | 겨우살이 청장 | 33.8 | 2.9 | 0.50 | 33.3 | 1.6 | 0.28 |
| | 남부 청장 | 37.8 | 2.2 | 0.60 | 35.8 | 2.1 | 0.59 |
| | 흥농백다다기 | 33.8 | 2.1 | 0.48 | 34.5 | 1.7 | 0.32 |
| | 입추백다다기 | 35.3 | 2.4 | 0.50 | 32.5 | 1.9 | 0.39 |
| | 장일 낙합 | 33.0 | 2.5 | 0.51 | 34.8 | 2.2 | 0.46 |
| | 가을 낙합 | 31.5 | 3.3 | 0.68 | 32.5 | 1.8 | 0.40 |

# 제 4 장 일사량, 기온, 대기의 $CO_2$농도 그리고 엽중 질소농도가 오이 엽의 광합성율에 미치는 영향

## 제 1절 서 론

물질보전의 법칙에 의하면 식물의 생장은 식물의 총 광합성량에서 총 호흡량을 뺀 것으로 이루어진다. 환경조건에 따른 식물생육의 변이는 환경조건에 따른 광합성량의 변이와 호흡량의 변이를 살펴봄으로써 설명할 수 있다. 단위엽면적당 광합성율에 영향하는 환경요소로서 일사광량, 기온, 대기 중 $CO_2$농도를 들 수 있으며 수분이 충분치 못한 조건에서는 엽은 Water Potential 내지는 대기의 상대습도가 영향한다. 식물 생리적으로는 엽중 질소농도 또한 단위엽면적당 광합성율에 영향하며, 토양질소함량이 증가할수록 질소흡수율이 증가하고 이에 따라 엽중 질소농도도 증가함을 감안할 때 토양질소함량 또한 단위엽면적당 광합성율에 영향 한다 할 것이다. 식물 내적 요인으로 광합성율에 영향하는 것으로 식물의 상대 생장율, Sink-Source ratio, 그리고 생체리듬 또는 Diurnal Variation 등을 들 수 있다.

식물의 호흡은 Lamber 등(1983)에 의하면 유지호흡(Maintenance Respiration), 생장호흡(Growth Respiration), 그리고 이온 흡수 호흡(Ion Uptake Respiration)으로 나뉜다. Szaniawski와 Kielkiewicz(1982)에 의하면 유지호흡율은 온도에 비례하여 증가하는 것으로 알려져 있으며 식물체 크기에 비례한다. 생장호흡율은 식물의 총 광합성율에 비례하는 것으로 밝혀져 McCree(1970)에 의해 식물의 총 호흡율 R은

$$R = \alpha Pg + \beta W,$$

의 모형이 제시되었는데 이때 Pg는 식물의 총 광합성율이고, W는 식물의 총

건물중이며 α와 β는 비례상수이다. Thornley(1970)는 McCree의 모형을 분석하여

$$R = Gr\ dw/dt + \beta W,$$

의 모형을 제시하였는데, 이때 dw/dt는 식물의 건물 증가율이고, Gr는 생장호흡 계수이며, β는 유지호흡율이다. 위 두 모형은

$$Gr = \alpha/(1-\alpha),$$

의 관계로 연계성을 갖는다.

Szaniawski와 Kielkiewicz(1982)는 뿌리의 호흡율이 줄기나 잎의 호흡율보다 높음을 보고하였고 Lamber등(1983)은 뿌리의 호흡에는 이온흡수, 특히 질소흡수에너지를 더해야 함을 제안하여 뿌리의 호흡 (Rr)은

$$Rr = Gr\ dWr/dt + m\ Wr + e\ dN/dt,$$

의 모형을 제시하였는데, 이 때 e는 이온흡수호흡계수이다. 이 상의 연구들을 살펴보면 식물의 호흡에 영향하는 환경요인은 기온과 총 광합성율에 영향하는 모든 요인을 들 수 있으며 뿌리의 호흡에는 질소 흡수량도 들 수 있다.

환경요인의 변이에 따른 식물의 생장 및 수량을 예측하는 식물생장모형의 개발은 식물의 생장이 광합성과 호흡에 의해 좌우되므로 환경요인의 변이에 따른 이들의 변이에 관한 모형개발이 우선적이라 할 수 있다.

## 제2절 재료 및 방법

본 실험에서는 식물의 광합성에 관여하는 제 조건의 기상환경, 즉 광량이나

기온, 대기의 $CO_2$ 농도 등과 이 조건들 상호간의 조합이 오이 생육의 변이에 영향하는 것에 대해서 연구하였다. 본 연구는 독일의 Heinz Walz GmbH사의 Gas Exchange Measuring Station을 이용하여, 환경요인의 변이를 다양하게 조절하였는데 우선 단일작용으로서의 광량을 보면, 매우 낮은 광량대에서부터 상당히 높은 광량대까지 점차적으로 광의 세기를 조절하였고, 기온에 대한 오이의 광합성 반응을 보기 위해 오이의 생육 최저 기온인 12℃부터 32℃까지 4℃간격으로 변온을 주어 총 광합성율을 측정하였으며, $CO_2$농도에 대한 광합성 반응을 살피기 위해 $CO_2$농도를 20ppm에서 부터 1200ppm 이상까지 변화를 주었다. 또한 상호작용으로서 광량과 온도에 의한 광합성율의 변화를 알아보기 위해 기온 12℃부터 32℃까지 4℃간격으로 변온을 주면서 광량을 증가시켰고, 광량과 $CO_2$농도의 상호작용에 의한 광합성율 측정에서는 광량과 $CO_2$농도를 여러 수준으로 달리하여 오이 잎의 총 광합성율 변이를, 그리고 광량과 $CO_2$농도, 기온의 상호작용에 의한 총 광합성의 변이를 측정하였고, 생체리듬 및 엽령에 따른 순 광합성율 측정에서는 연속적으로 44시간 동안 광을 조사하면서 오이의 생체리듬의 변화를 살펴보았다.

## 제3절 결과 및 고찰

### 1. 환경요인의 변이에 따른 광합성율의 변이

#### 가. 광량에 의한 광합성율의 변이

광파장이 가시광선 영역에 들어가는 광량자가 단위시간당 단위 면적을 통과하는 수를 PPF(photosynthetic photon flux)라 하는데 PPF를 달리하여 총 광합성율 (gross photosynthetic rate, GPR)을 조사하였던 바 전형적인 Michaelis-Menten식을 보였다. 즉,

$$GPR = 21.4513\ PPF/(287.784 + PPF)\ (\mu mol\ CO_2\ m^{-2}s^{-1}),$$

를 얻었다 (Fig. 4-1). 오이의 광량에 대한 반응은 개체에 따라 다소 변이는 보였지만 광 보상점이 10 20 μmol m-2 s-1 정도로 낮았으며 광 포화점은 700 μmol m-2 s-1 이상인 것을 알 수 있었다. 이는 오이가 매우 낮은 광량에서도 광합성을 할 수 있을 뿐 아니라 상당히 높은 광량에서도 지속적인 광합성율에서의 증가를 보인다고 할 수 있다.

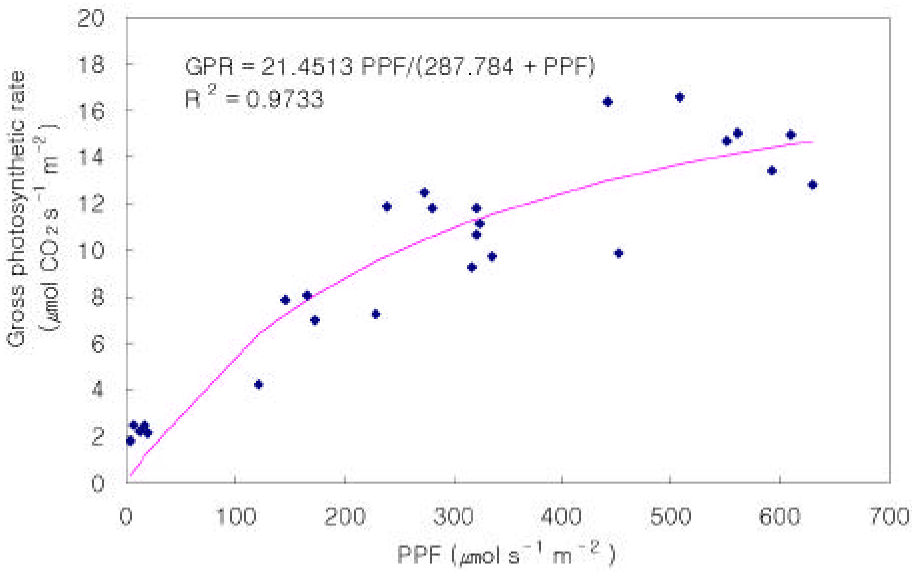



Fig. 4-1. Comparison of observed values of gross photosynthetic rate with predicted values by the model

## 나. 기온에 대한 광합성 반응

오이의 생육 최저 기온은 12℃로 알려져 있다. 12℃부터 32℃까지 4℃간격으로 변온을 주어 총 광합성율을 측정한 결과

$$GPR = 19.071\ (1-1.3704\ \exp(-0.0571T)),$$

을 얻었으며, 이때 T 는 섭씨 온도이다 (Fig. 4-2). 오이의 총 광합성율은 온도의 상승에 따라 지속적인 증가를 보였다. Acock 등 (1990)에 의하면 멜론에서의 순 광합성율은 20℃에서 40℃로 증가할수록 유의하게 증가하였으며 Kitroongruang 등(1992)은 50℃정도의 높은 온도에서야 heat stress를 받아 광합성율이 떨어지는 것을 보고하였다. 온도에 대한 반응이 24℃ 32℃ 사이에서는 큰 차이를 보이지 않아 이 사이가 오이 생육에 적정온도라 할 수 있다.

### 다. 대기의 CO2 농도에 대한 광합성 반응

식물체의 92%정도가 대기의 CO2를 동화하여 만들어진 탄수화물로 구성되었음을 고려할 때 대기 중 CO2농도의 중요성은 간과할 수 없다. 겨울철 보온을 위해 밀폐된 유리온실이나 비닐하우스에서 CO2발생기를 통해 CO2를 공급하는 것을 권장하고 있는 만큼 잎의 CO2농도에 대한 광합성 반응을 살피는 것은 적정 CO2공급에 중요하다 할 것이다. CO2농도에 대한 총 광합성율의 변이는 negative exponential 식에 의해 잘 설명되었던 바

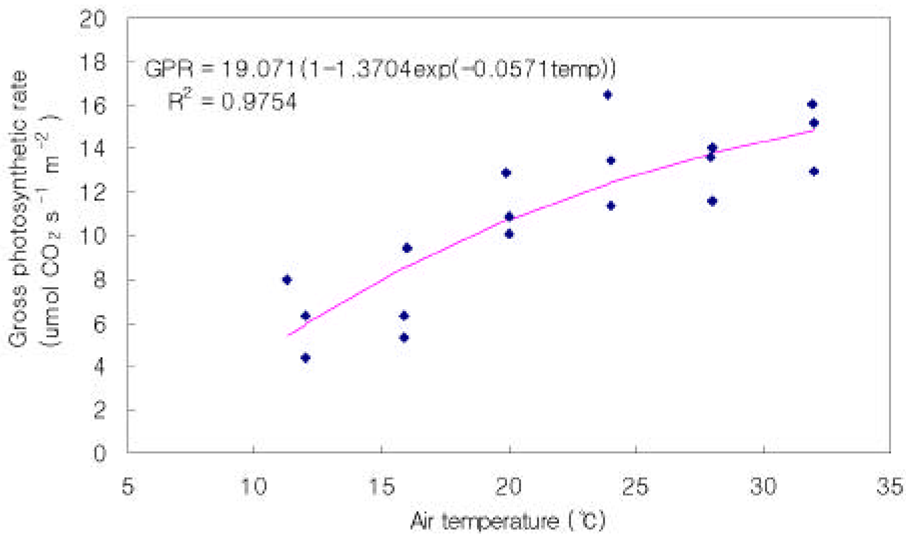



Fig. 4-2. Responses of gross photosynthetic rate due to variation of air temperature

GPR = 15.5554 (1-0.9636 exp(-0.0024 CO2)),

의 모형을 얻었는데 (Fig. 4-3), 이때 CO2는 대기의 CO2 농도를 ppm단위로 나타낸 것이다. 측정 결과 CO2 보상점은 20 40ppm 사이에 위치하는 것으로 나타났으며, CO2 포화점은 1200 1300ppm사이에 위치하였다.

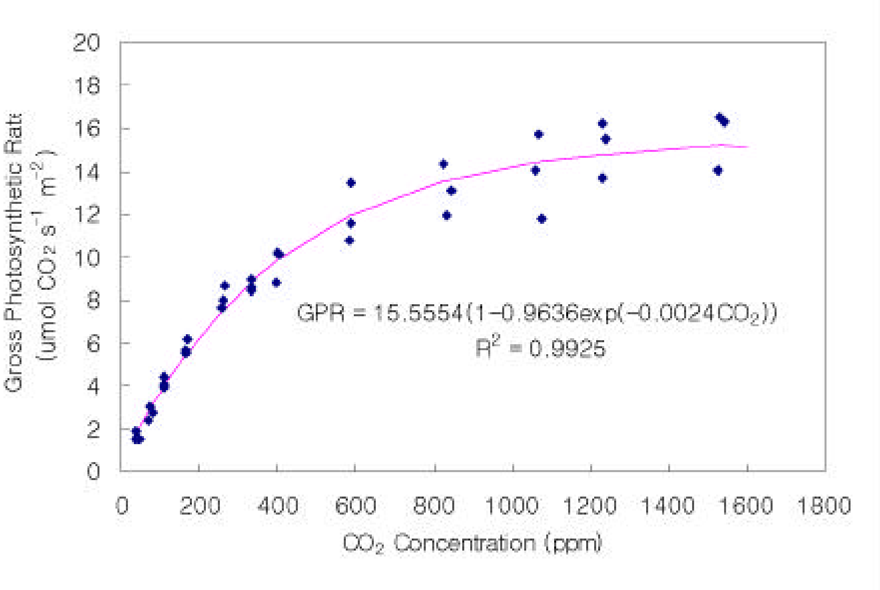



Fig. 4-3. Responses of gross photosynthetic rate under various CO2 concentration

**라. 엽중 질소 함량과 광합성율**

C3작물의 광합성 작용에 맨 처음 촉매작용을 하는 효소는 RUBP Carboxylase로서 이것의 함량은 엽중 질소 함량에 비례하여 증가한다. 또한 광합성 작용이 직접 이루어지는 엽록소도 질소가 구성성분이고 보면 엽중 질소 함량의 증가에 따라 광합성율의 증가는 당연하다. 본 연구에서 엽중 질소 함량에 따른 잎의 광합성율의 변이는 logistic curve에 의해 비교적 잘 설명되었다. 즉,

$$GPR = 24.743/(1+6.0343exp(-0.3689N)),$$

의 모형을 얻었는데 (Fig. 4-4) 이때 N은 엽중 질소 함량(%)이다. 엽중 질소 함량에 따른 총 광합성율의 반응은 이러한 형태임이 많은 연구자들에 의해 밝혀진 바 있다 (Tolley-Henry and Raper, 1986; Boote et al. , 1978; Lugg and Sinclair, 1981).

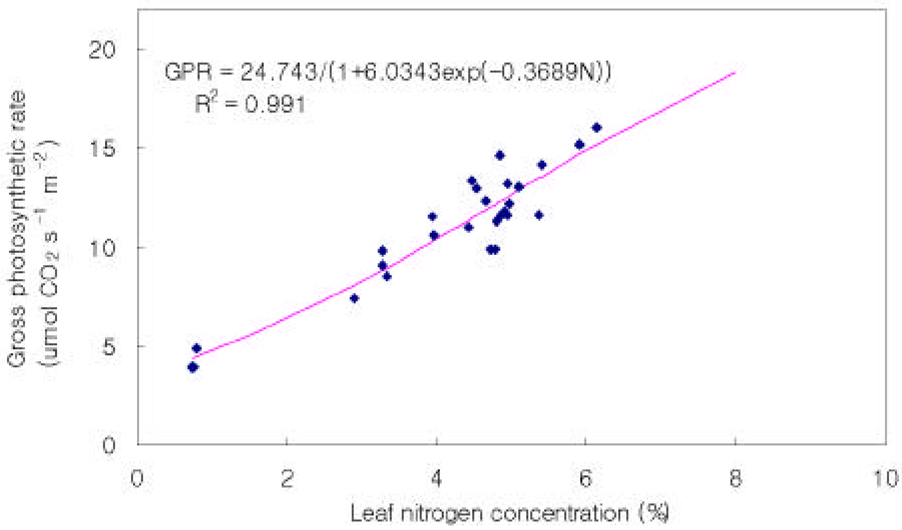



Fig. 4-4. Responses of gross photosynthetic rate due to various content of leaf nitrogen

마. 광량과 온도의 상호작용에 의한 광합성율

기온 12℃부터 32℃까지 4℃간격으로 변온을 주면서 광량을 증가시켜 주었던 바 기온이 증가할수록 점근하는 최대 총 광합성율은 증가하는 경향이었다 (Fig. 4-5, 4-6, 4-7, 4-8, 4-9, 4-10). 12℃에서는 광 포화점이 600μmol $CO_2$ $m^{-2}s^{-1}$ 이고 최대 광합성율이 9.41 μmol $CO_2$ $m^{-2}$ $s^{-1}$인 반면 온도의 상승에

따라 이들 값들이 점점 증가하다가 32℃에서는 광 포화점이 1100μmol CO2 m-2s-1 이상이었고 최대 광합성율도 16.16μmol CO2 m-2 s-1로 증가하였는데 이는 광량의 상승에 대한 총 광합성율의 증가가 기온의 상승에 의해 보다 효과적임을 말해 준다. 이들의 반응을 이용하여 통합한 식, 즉 광량과 기온의 상호작용을 고려하여 이들의 변이에 따른 총 광합성율의 변이를 설명한 식은 다음과 같다 (Fig. 4-11).

$$GPR = 14.1485\ (1-40.9673\ \exp(-0.4552T))(1-\ 0.8493\ \exp(-0.0027\ PPF)),$$

이때 T와 PPF는 각각 기온(℃)과 광량이다.

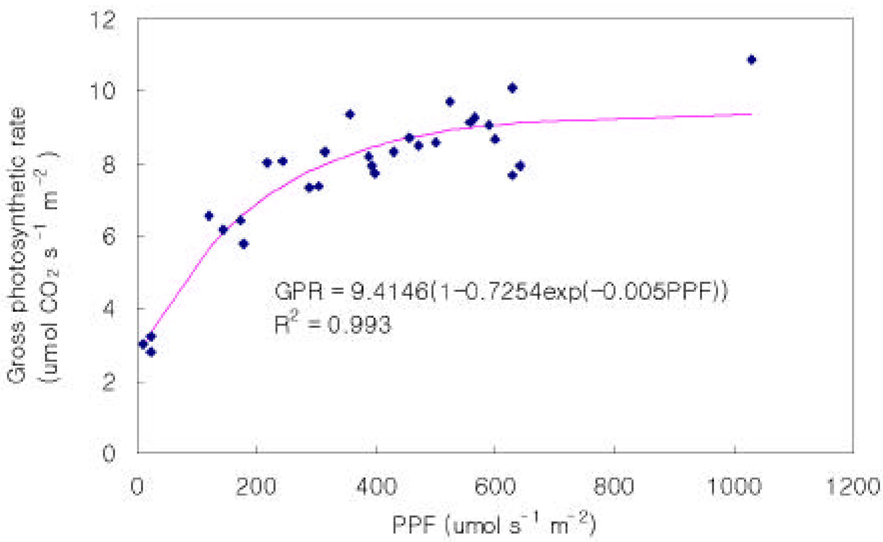



Fig. 4-5. Responses of gross photosynthetic rate of cucumber leaves to the different PPF at 12。C of air temperature

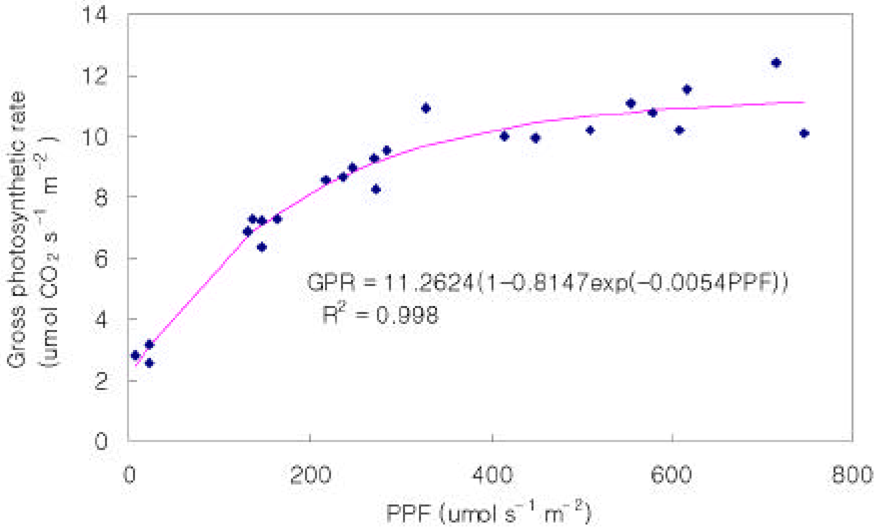



Fig. 4-6. Responses of gross photosynthetic rate of cucumber leaves to the different PPF at 16° C of air temperature

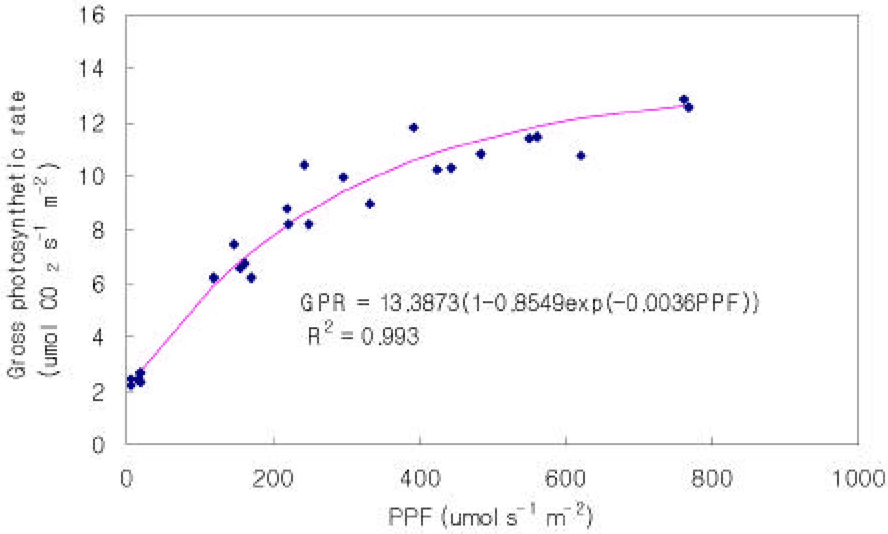



Fig. 4-7. Responses of gross photosynthetic rate of cucumber leaves to the different PPF at 20° C of air temperature

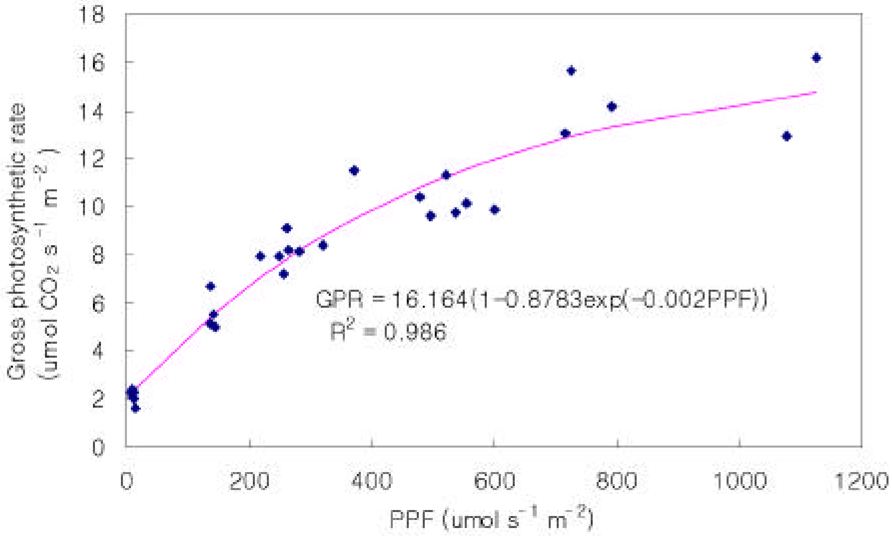



Fig. 4-8. Responses of gross photosynthetic rate of cucumber leaves to the different PPF at 24。C of air temperature

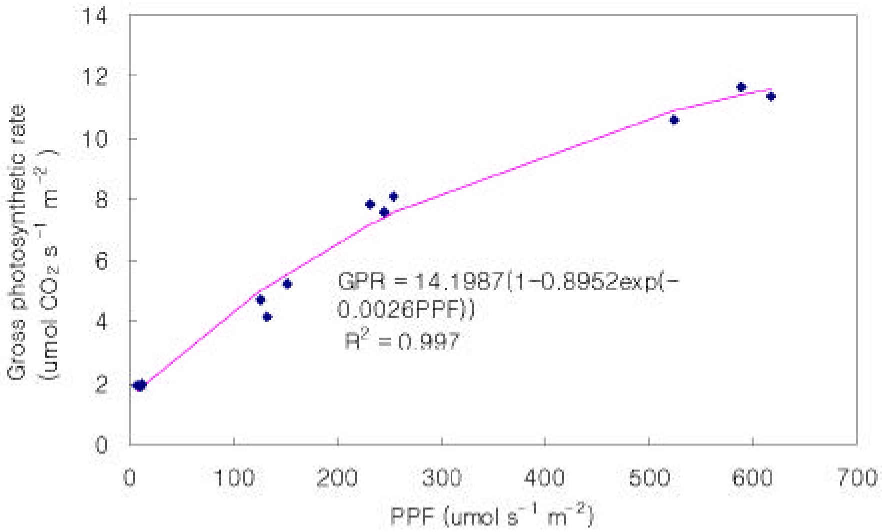



Fig. 4-9. Responses of gross photosynthetic rate of cucumber leaves to the different PPF at 28。C of air temperature

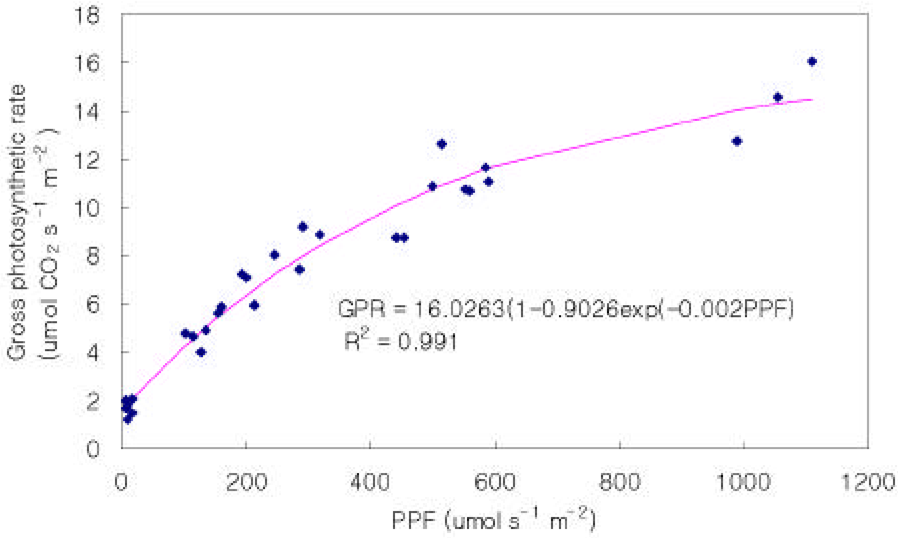



Fig. 4-10. Responses of gross photosynthetic rate of cucumber leave different PPF at 32。C of air temperature

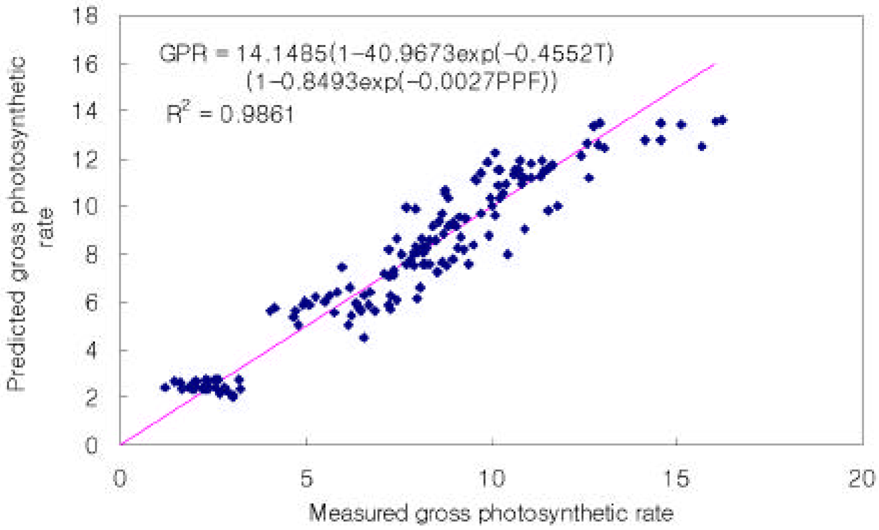



Fig. 4-11. Comparisons of observed value of leaf gross photosynthetic rate with predicted values by the equation

### 바. 광량과 $CO_2$농도의 상호작용에 의한 광합성율

광량과 $CO_2$농도를 여러 수준으로 달리하여 오이 잎의 총 광합성율을 측정했던 바 광량과 $CO_2$농도도 총 광합성율에 상승작용을 보였으며, 광량에 대한 광합성율의 반응식과 $CO_2$농도에 대한 반응식을 곱하여 모수들을 다시 추정하였던 바 다음의 모형 식을얻었다(Fig. 4-12).

$$GPR=32.9352(1-0.952\exp(-0.0022PPF))(1-0.8093\exp(-0.017CO_2)) \quad (1)$$

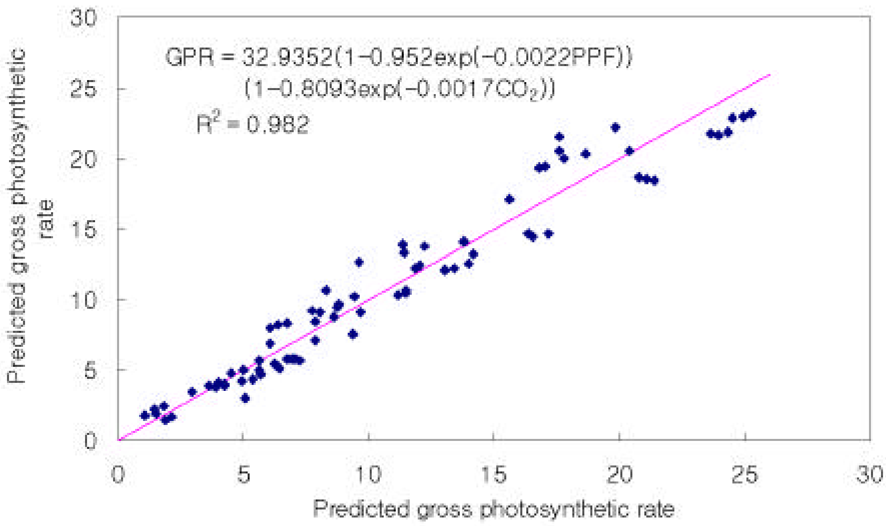



Fig. 4-12. Comparisons of values of leaf gross photosynthetic rate with predicted values by the equation

### 사. 광량, $CO_2$농도, 그리고 기온의 상호작용에 의한 총 광합성율의 변이

기온에 대한 총 광합성율의 변이를 Michaelis-Menten식으로 하여 식 (1)을 곱한 다음 기온, 광량, 그리고 $CO_2$농도를 달리하여 측정한 자료를 이용하여 비선형회귀모형의 모수추정법을 (SAS의 Nlin의 DUD법) 이용하여 모수를 추정하였던 바

$$GPR = 33.562T/(7.3775 + T)(1-0.853\exp(-0.0026PPF))(1-0.888\exp(-0.0018\ CO_2)),$$

**의 모형식을 얻었다**( Fig. 4-13).

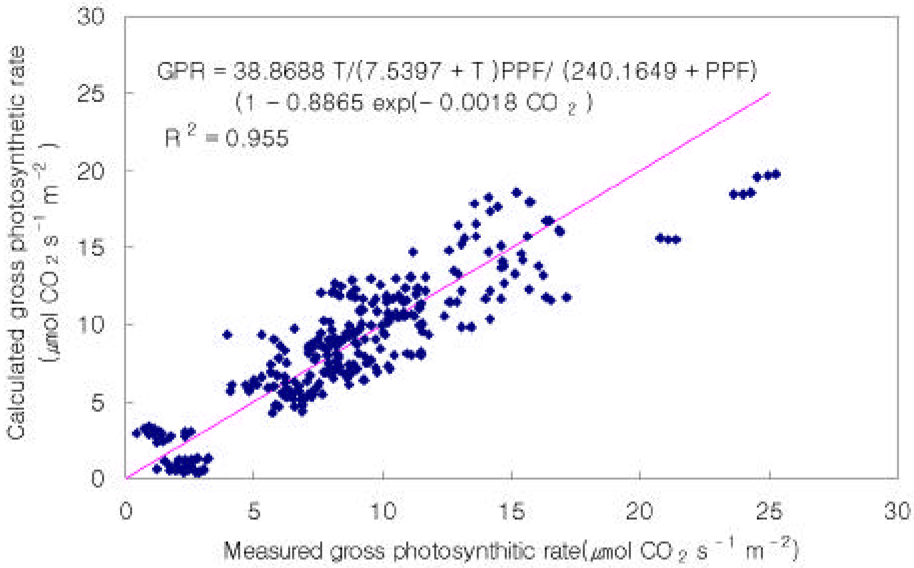



Fig. 4-13. Comparisons of observed value of leaf gross photosynthetic rate with predicted values by the equation

**아. 생체리듬 및 엽령에 따른 총 광합성율**

**광합성율에 대한 생체리듬 또는** diurnal variation**은 여러 연구자들에 의해 보고되었던 바 본 연구에서도 연속적으로** 44**시간동안 광을 조사하면서 순 광합성율을 측정하였던 바 오이의 순 광합성율에서 확실한 생체리듬을 보였다** (Fig 4-14). **오전** 11:00**시부터 측정하기 시작하였는데 광합성율은** 15:00**시까지 꾸준히 증가하다가** 23:00**시까지 감소하였으며 다음날** 6:00**시에 다시 증가하여** 14:00**시 정도에 최대를 보였다가** 19:00**시까지 감소하였으며 다시 증가하여** 23:00**시경에 최대를 보이는 경향이었다. 낮 동안의 평균 순 광합성율을 살펴보면 대략** 8 8.5μmol $CO_2$ $m^{-2}$ $s^{-1}$ **이었는데, 이 때의 조사광량은** 350 400μ mol m-2 s-1 정도로 조사광량의 차이에 따라 이 평균값에는 약간의 변이를 보였으나 조사시기에 따른 순 광합성율의 반응은 유사하였다.

엽령에 따른 광합성율의 변이를 밝히려 노력하였으나 엽령에 따른 광합성율에 일정한 경향을 찾아볼 수 없었다. 다만 오이의 엽은 발생초기부터 (출현 후 4일) 비교적 감지할 수 있는 총 광합성율을 보였으며 대체적으로 출현 후 35일 정도에 노화하여 더 이상 잎으로서의 기능을 상실하는 것으로 생각된다.

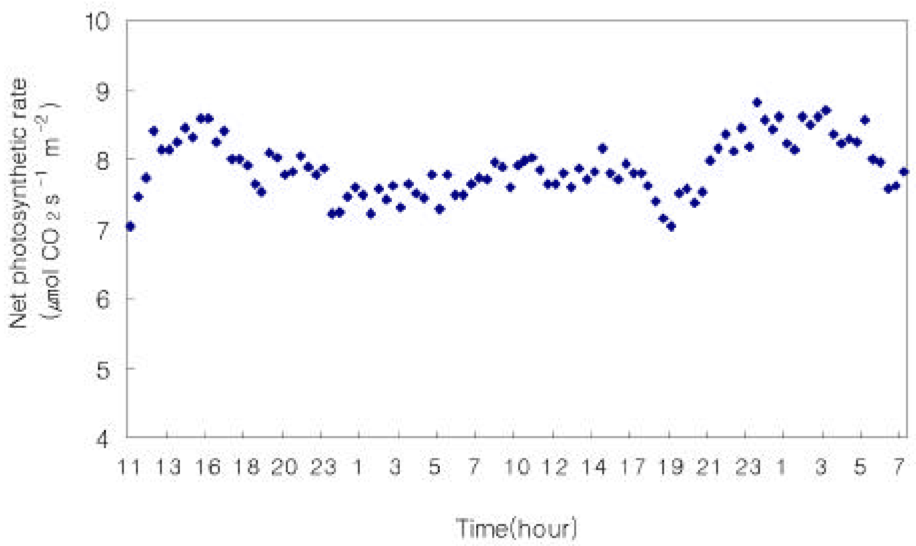



Fig. 4-14. Diurnal variations in net photosynthetic rate of cucumber leaves

# 제 5 장 환경변이에 따른 호흡율의 변이

## 제 1 절 서 론

살아 있는 모든 세포는 항상 호흡을 하며, 일반적으로 동량의 $O_2$와 $CO_2$를 각각 흡수하고 방출한다. 호흡이란 간단한 기체의 교환이란 형태로 이루어 지지만, 전체 과정은 산화-환원을 통해 화합물은 $CO_2$로 산화되고, 흡수된 $O_2$는 $H_2O$로 환원된다. 많은 환경요인은 호흡에 영향을 미친다. 기온의 상승에 따라 호흡율은 상승적으로 증가함을 알 수 있었는데 Szaniawski와 Kielkiewicz (1982)의 보고에 의하면 이러한 증가가 유지호흡율의 증가에 기인한다고 하였다. 해바라기의 유지호흡율은 0.000625  0.00121(g $CH_2$ $g^{-1}$ $h^{-1}$)을 보였다고 하였다. 또한 식물의 호흡은 호흡기질의 다소에 영향을 받는다. glucose나 sugar 또는 전분함량이 높을 때는 호흡량이 많고, 이들의 함량이 낮을 때는 호흡이 낮은 것으로 알려져 있다(Salisburg and Ross,1992). 뿌리의 호흡량은 뿌리의 유지호흡량, 뿌리의 생장호흡량 그리고 뿌리의 질소 흡수량에 의해 지배되는 것으로 밝혀져 있다(Veen,1981). Penning de Vrise(1975)에 의하면 뿌리의 생장이나 유지호흡율은 지상부 식물체와 같았다고 하였다. 따라서 본 연구는 기온과 호흡율의 변이, 총 광합성율에 의한 호흡율, DIRKS 호흡율, 질소흡수와 뿌리의 호흡율 등을 조사하였다.

## 제 2 절 재료 및 방법

본 연구는 광합성율에 관한 연구에 해당하는 환경변이에 따른 호흡율의 변이에 대해 실험을 하였다. 먼저 기온과 호흡율의 관계를 보기 위하여 기온을 12℃부터 32℃까지 4℃간격으로 상승적으로 변온을 주어 호흡율을 측정하였고,

광량과 $CO_2$농도, 기온을 달리하여 잎의 총 광합성율을 측정한 후 잎의 호흡을 측정하였다. 그리고 야간의 호흡율 변이를 위해서 광을 소등한 상태에서 연속적으로 호흡율만을 측정하고, 야간의 식물체내 glucose와 전분함량의 변이를 알아보기 위하여 주/야간 온도 26/14℃와 20/14℃의 생장상에 자라고 있는 오이를 광을 소등한 직후의 18:00시, 21:00시, 23:00시, 익일 06:00시 그리고 08:00시에 임의 표본을 채취하여 이 들의 함량을 측정하였다. 또한 질소흡수와 뿌리의 호흡율의 측정을 위하여, 주/야간 온도 26/26℃의 생장상에 수경액의 N농도가 3, 6, 11mmol 수준에서 생장시킨 식물체를 주간이 시작되는 09:00시와 야간이 시작되는 18:00시에 각 처리 당 12주의 표본을 채취하여 그 뿌리의 호흡을 측정하였다.

## 제 3 절 결과 및 고찰

### 1. 기온과 호흡율의 변이

기온(T)을 달리하여 호흡율 (RESP)을 측정한 후 그 관계식을 추정하였던 바

$$RESP = -0.0081 + 0.00043\ T + 11.9762T2 ,$$

의 모형을 얻었다(Fig. 5-1). 따라서 호흡율은 기온의 상승에 따라 상승적으로 증가함을 알 수 있었는데 Szaniawski와 Kielkiewicz(1982)의 보고에 의하면 이러한 증가가 유지호흡율의 증가에 기인한다

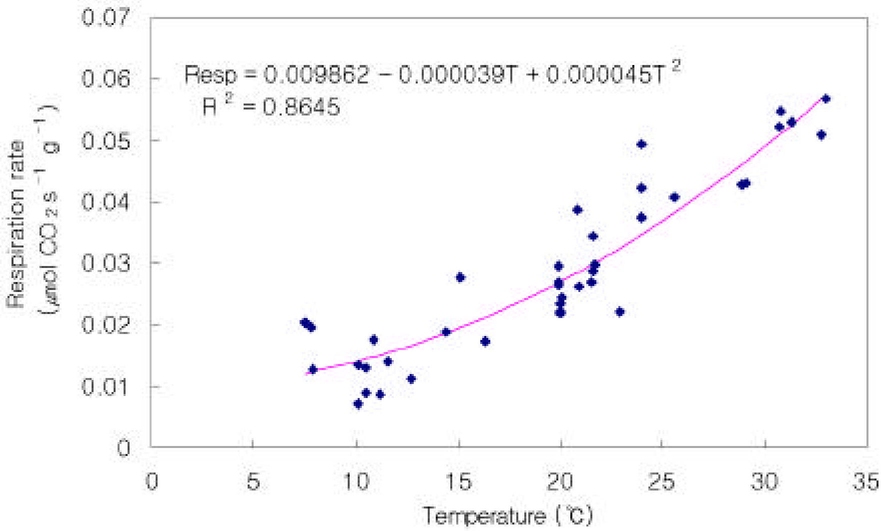



Fig. 5-1. Variations in shoot respiration rate due to variations in air temperature.

2. **기온과 총 광합성율에 의한 호흡율의 변이**

**광량**, $CO_2$**농도 그리고 기온을 달리하여 잎의 총 광합성율을 측정한 후 잎의 호흡을 측정하여 얻은 호흡율** (RESP)**을 종속변수로 하고 총 광합성율, 측정 잎의 건물중** (W) **그리고 기온** (T)**을 회귀변수로 하여 회귀분석을 실시하였던 바**

$$RESP = 0.0684\ GPR + 7.6618\ exp(0.093\ temp)\ W,\ (\mu mol\ CO_2\ plant^{-1}\ s^{-1})$$

**의 모형을 얻었다** (Fig. 5-2). **이 식에 의하면 총 광합성율의** 6.84%**가 호흡으로 소모되며 아울러 기온의 증가에 따라 기하급수적으로 증가하는 유지호흡을 통한 에너지 소모를 의미한다**. Heiman **등**(1977)**에 의하면 콩에서 총 광합성율의** 26%**가 소모된다는**, **즉**

$$RESP = 0.26\ GPR + 4.46$$

의 결과를 얻었는데 본 연구의 경우 이 보다 훨씬 낮은 값을 얻었는데 이에 비하면 오이의 생장호흡이 상대적으로 낮은 것임을 알 수 있었다. 위의 모형을 Thornley (1970)의 모형으로 표현하면,

$$Gr = 0.0684/(1-0.0684) = 0.0734$$

로서

$$RESP = 0.0734\ dW/dt + 7.6618\ \exp(0.093\ temp)\ W,\ (\mu mol\ CO_2\ plant^{-1}\ s^{-1})$$

가 되는데 Hesketh 등 (1971)은 목화에서 Gr값으로 0.36 0.38를 보고하였고 Kielkiewicz (1982)는 해바라기에서 0.32 0.34를 보고한 것과 비교하면 매우 낮은 값이다. 기온 25℃에서의 유지호흡율을 계산해 보면 78.345( $\mu$mol $CO_2$ $g^{-1}$ $s^{-1}$)이며 이것은 0.00234 g $CH_2O$ $g^{-1}$ $s^{-1}$이 되는데 Szaniawski와 Kielkiewicz (1982)의 해바라기에서 유지호흡율로서 보고한 0.000625 0.00121(g $CH_2O$ $g^{-1}h^{-1}$) 보다는 높은 결과이다. 그러나 본 계산에 이용된 총 광합성율의 평균은 898.54( $\mu$mol $CO_2$ $plant^{-1}h^{-1}$)이었고 호흡율의 평균은 131.38( $\mu$mol $CO_2$ $plant^{-1}$ $h^{-1}$)로서 총 광합성율에 대한 호흡율의 비율은 14.6%이었는데, 이는 Marcelis (1994)가 과실의 호흡에서 추정한 13 15%와 잘 일치하였다.

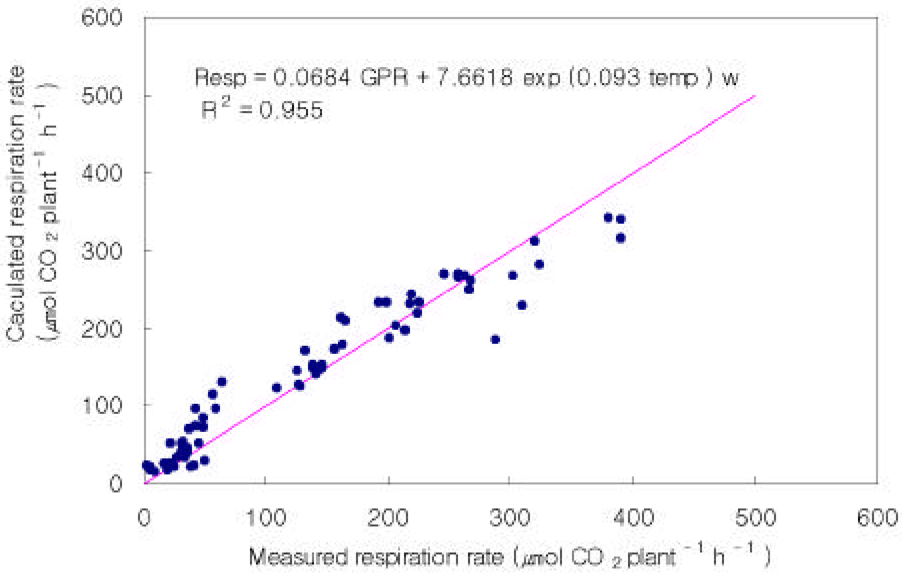



Fig. 5-2. Comparisons of measured values of shoot respiration rate with predicted values by the equation

### 3. 야간의 호흡율

식물의 호흡은 호흡기질의 다소에 영향받는다. glucose나 sugar 또는 전분함량이 높을 때는 호흡량이 많고 이들의 함량이 낮을 때는 호흡이 낮은 것으로 알려져 있다 (Salisbury and Ross, 1992). 따라서 오이의 호흡율도 밤이 길어질수록 낮아질 것으로 기대되는데, 본 연구에서 18:00시에 광이 꺼진 후부터 시작하여 다음날 6:30분까지 측정한 호흡율은 Fig. 5-3과 같다. 또한 야간의 식물체내 glucose와 전분함량의 변이를 알아보기 위하여 주/야간 온도 26/14℃와 20/14℃의 생장상에 자라고 있는 오이를 광을 소등한 직후의 18:00시, 21:00시, 23:00시, 익일 06:00시, 그리고 08:00시에 표본 채취하여 이들의 함량을 측정한 결과 표 5-1의 결과를 얻었다. 엽중 glucose 함량은 밤 시간이 지속될수록 큰 차이가 없거나 오히려 증가하는 반면 엽의 전분함량은 시간의 흐름에

따라 감소하는 경향을 보였다. 따라서 본 연구의 결과 기관의 호흡은 기관의 전분 함량에 영향받는 것으로 사료된다.

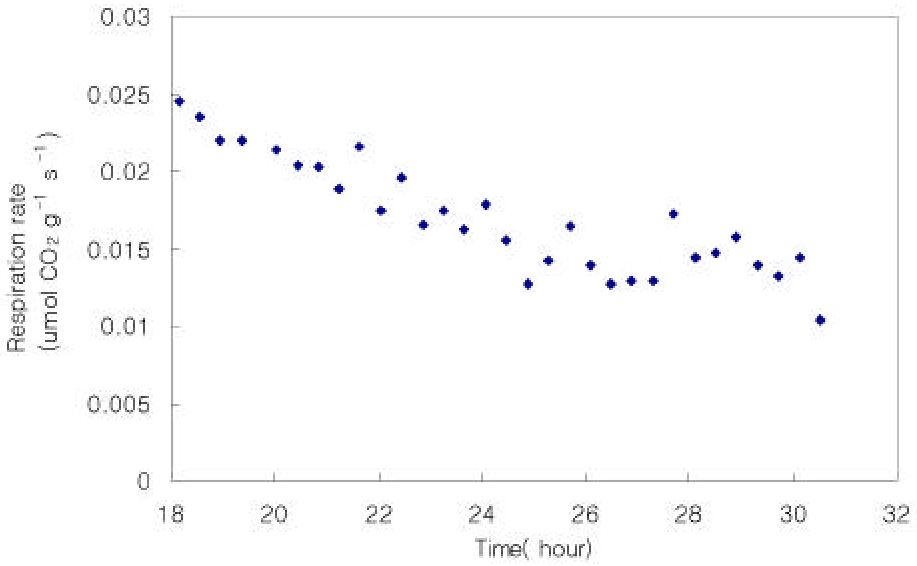



Fig. 5-3. Variations of shoot respiration of cucumber in dark period

표 5-1. 야간의 길이에 따른 glucose 및 전분함량의 변이

| 측정시간 | 26/14℃ | | 20/14℃ | |
|---|---|---|---|---|
| | Glucose (%) | Starch (%) | Glucose (%) | Starch (%) |
| 18:00 | 2.6 | 19.3 | 2.4 | 9.6 |
| 21:00 | 3.2 | 19.2 | 4.4 | 8.9 |
| 23:00 | 2.9 | 20.0 | 2.5 | 7.5 |
| 06:00 | 7.7 | 16.7 | 7.6 | 7.2 |
| 08:00 | 5.1 | 15.7 | 5.5 | 6.0 |

4. 질소흡수와 뿌리의 호흡율

주/야간 온도 26/26℃의 생장상에 수경액의 N농도가 3, 6, 11mmol 수준에서 생장시킨 식물체를 주간이 시작되는 09:00시와 야간이 시작되는 18:00시에 각

처리 당 12주씩 표본을 채취하여 그 뿌리의 호흡을 측정하고, 그 평균값이 표 5-2에 주어져 있다. 수경재배의 경우 질소 농도의 차이가 식물 생장에 차이를 주지 못하는 것은 질소의 사치흡수 (luxury absorption)의 결과이며, 따라서 수경액의 질소농도 차이에 의해 식물체의 질소함량에 차이를 유발시키기는 매우 어렵다. 이것은 수경액의 질소농도의 차이에 의해 뿌리의 질소흡수율에 차이가 거의 없음을 의미한다. 따라서 수경액의 질소농도간 질소흡수에 의한 호흡율에서의 차이가 있을 수 없는 것으로 판단되며, 본 실험에서도 수경액의 질소 농도간 호흡율의 차이는 감지하기 어려웠다. 그러나 뿌리의 호흡은 측정시간에 따라 다소 차이가 보이며 오후의 호흡율이 주간의 시작점의 호흡율보다는 높은 것으로 나타났다. 또한 주간의 시작점에서의 뿌리의 호흡율은 앞에서 측정한 지상부의 호흡 (Fig. 5-3)보다는 약간 높게 나타났음을 알 수 있었다. 야간이 시작되는 19:00시에 오이의 지상부 호흡율은 최대 0.025 (μmol $CO_2$ g-1 s-1 )를 보인 (Fig. 5-3) 반면 뿌리에서는 0.021 (μmol CO2 g-1 s-1)를 (표 5-2) 보였는데 이는 지상부 식물체의 동화산물의 농도가 뿌리의 그것보다 월등히 높은데 기인하는 것으로 사료된다. 뿌리의 호흡량은 뿌리의 유지호흡량, 뿌리의 생장호흡량 그리고 뿌리의 질소흡수량에 의해 지배되는 것으로 밝혀져 있다 (Veen, 1981). Penning de Vries (1975)에 의하면 뿌리의 생장이나 유지호흡율은 지상부 식물체 (shoot)의 그것들과 같았고, 따라서 뿌리의 질소흡수에 따른 호흡율, 질소흡수호흡율은 주간의 시작점에서의 지상부 호흡율과 뿌리의 호흡율의 차이와 뿌리의 질소흡수율을 비교함으로서 구할 수 있는데, Fig. 5-3에 의하면 주간의 시작점에서의 지상부 호흡율은 0.010(μmol CO2 g-1 s-1)로 추정된다.

뿌리의 호흡율은 주/야간 생육온도 26/26℃ 조건에서 양액 N농도 3, 6, 11mmol로 한 생장상에서 생육시킨 식물체에서 측정하였는데, 이때 호흡을 측정한 개체들의 기관별 총 질소 함량은 표 5-3과 같으며 이를 이용하여 구한 개체의 총 질소함량은 표 5-4에 제시되어 있다. 표 5-4의 자료를 이용하여 식물체의 질소 상대 흡수율 RGRn, 즉

dN/dt = RGRn N,

을 구하였는데 이때 N은 식물체 총 질소함량 (g plant-1)이다. 상대 질소 흡수율을 이용하여 구한 질소흡수율 dN/dt과 시기별 양액 N농도별 09:00시에 측정한 뿌리호흡량의 값이 표 5-5에 제시되어 있다.

표 5-2. 양액의 N농도와 측정시간에 따른 뿌리 호흡율의 변이

| 측 정 시 간 | 양액 N 농도 ( mmol ) | 호 흡 율 ( μmol CO2 g-1 s-1) |
|---|---|---|
| 09:00 | 11 | .01502 |
| | 6 | .01701 |
| | 3 | .01896 |
| 18:00 | 11 | .02125 |
| | 6 | .01582 |
| | 3 | .02023 |
| | | 평균 .01805 |

표 5-3. 주/야간 생육온도 26/26℃에서 수경액의 N농도 차이에 따른 오이의 기관별 총 질소 함량의 변이

| 조사 시기 | 양액 N 농도(mmol) | 총질소함량(%) 엽 | 경 | 근 |
|---|---|---|---|---|
| 1월 23일 | 3 | 3.72 | 3.28 | 3.71 |
| | 6 | 4.23 | 3.35 | 3.57 |
| | 11 | 4.91 | 3.96 | 4.46 |
| 26일 | 3 | 4.18 | 3.40 | 3.89 |
| | 6 | 5.25 | 4.35 | 3.20 |
| | 11 | 6.02 | 4.75 | 4.65 |
| 29일 | 3 | 4.20 | 3.76 | 3.82 |
| | 6 | 4.88 | 4.17 | 4.07 |
| | 11 | 5.08 | 5.03 | 4.24 |
| 2월 1일 | 3 | 4.28 | 3.16 | 4.23 |
| | 6 | 3.82 | 3.25 | 3.04 |
| | 11 | 4.06 | 3.79 | 3.63 |
| 4일 | 3 | 4.62 | 3.57 | 4.35 |
| | 6 | 4.85 | 3.54 | 4.13 |
| | 11 | 5.50 | 4.71 | 4.65 |

표 5-4. 양액의 질소농도에 따른 조사시기별 개체의 총 질소함량 (g $plant^{-1}$)

| 조사시기 | 양액의 N 농도 3mmol | 6mmol | 11mmol |
|---|---|---|---|
| 1월 23일 | .157 | .189 | .114 |
| 26일 | .298 | .375 | .269 |
| 29일 | .392 | .580 | .326 |
| 2월 1일 | .507 | .610 | .362 |
| 4일 | .860 | 1.121 | .658 |
| RGRn ($gN\ gN^{-1}d^{-1}$) | 0.1311 | 0.1349 | 0.1268 |

표 5-5. 조사시기에 따른 농도별 09:00시에 측정한 뿌리 호흡량과 질소 흡수율

| 측정시기 | 양액 N농도 (mmol) | 뿌리호흡량 ($mmol\ CO_2\ d^{-1}$) | dN/dt ($g\ N\ d^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| 1월 26일 | 3 | 0.72743 | .033687 |
| | 6 | 0.65734 | .044058 |
| | 11 | 0.41820 | .025913 |
| 1월 29일 | 3 | 1.29988 | .049919 |
| | 6 | 1.36120 | .066037 |
| | 11 | 0.57355 | .037908 |
| 2월 4일 | 3 | 4.63677 | .109618 |
| | 6 | 6.15484 | .148356 |
| | 11 | 1.31378 | .081122 |

표 5-5의 뿌리 호흡량에서 낮이 시작되는 09:00시에서의 뿌리의 유지 및 생장 호흡율 0.010 ($\mu mol\ CO_2\ g^{-1}\ s^{-1}$)을 뺀 후 dN/dt와 회귀분석을 하면, 즉 뿌리 호흡량 (R)은

$$R = 18.556\ dN/dt$$

로 추정되는데, 이때 계수의 단위는 mmol $CO_2$로서 18.556 mmol $CO_2$ 는 0.5552 g $CH_2O$가 되며 이는 1g의 N을 흡수하는데 소모되는 에너지량, 즉 뿌리의 질소 흡수 에너지가 된다.

# 제 6 장 군락상태에서의 총 광합성율

## 제 1 절 서 론

단엽과 식물 개체 또는 식물군의 광 반응의 차이의 기본적인 원인은 상층의 잎이 하층의 잎보다 많은 일사량을 흡수한다는 점이다. 이 경우 상층 잎은 높은 광 수준에 노출되어 포화되고 많은 빛이 포화되지 않은 하층의 음지 잎에 전달되거나 반사된다. 결과적으로 전체로서의 하나의 식물이나 작물 등은 아마도 광합성을 최대화 할 수 있는 충분한 빛을 거의 받지 못 할 것이다. 또한 단위엽면적당 광합성율도 개체의 총 광합성율을 결정하는데 중요하지만 광합성을 하는 엽면적의 크기 또한 개체의 총 광합성율을 결정한다. 본 연구에서는 개체의 엽면적 추정과 엽면적 지수의 추정에 대한 모형을 제시하고자 한다.

## 제 2 절 재료 및 방법

단위엽면적당 광합성율도 개체의 총 광합성율을 결정하는데 중요하지만 광합성을 하는 엽면적의 크기 또한 개체의 총 광합성율을 결정한다. 작물군락의 canopy 내에 위치한 잎들은 직사광선을 받아 광합성을 하기보다는 일부분의 직사광선과 주변에서 오는 반사광, 그리고 상위에 위치한 엽을 투과해 오는 광을 받아 광합성을 한다. 따라서, canopy 내에 위치한 잎들은 상위 엽보다는 낮은 광량을 받게 되는데 이 경우 하위 엽까지 도달하는 동안에 약해진 정도는 소멸계수에 의해 설명된다. 이 소멸계수를 추정하기 위해서는 입사광, 투과광 그리고 엽면적 지수를 측정하여야 한다. 본 연구에서는 미국 LI-COR사의 LAI-1800 Plant canopy analyser와 광량계를 이용하여 하우스 내에서 오이 개체의 각 마디별 엽의 엽면적 지수와 입사광, 투과광을 측정하였다.

# 제 3 절 결과 및 고찰

## 1. 개체의 엽면적 추정

단위엽면적당 광합성율도 개체의 총 광합성율을 결정하는데 중요하지만 광합성을 하는 엽면적의 크기 또한 개체의 총 광합성율을 결정한다. 수리적 모형의 간결성을 위하여 대개의 경우 지상부 건물중(shoot dry weight)을 상태변수로 놓고 예측한 후 엽중 비율(leaf weight ratio)을 이용하여 엽중을 추정하고 엽면적 비율을 이용하여 엽면적을 추정하는 것이 보편적으로 이루어지고 있는 방법이다. 98년 5월의 하우스재배 오이에서 조사한 지상부 건물중(Ws)과 엽중 (LDW)간의 모형식을 세워 보았던 바 다음의 식을 얻었다(Fig. 6-1).

$$LDW = 0.6584\ Ws$$

엽중 비율은 작기에 따라 다소 달라지는데 본 연구의 경우 96년 5월 조사에서는 0.6589을, 1996년 9월에 정식한 오이에서는 0.6116을, 97년 12월 정식오이에서는 0.6907을, 그리고 98년 3월 정식한 오이에서는 0.6423을 얻었다. Marcelis (1994)에 의하면 일사량이 증가할수록 엽중 비율이 증가한다고 하였고, Horie 등(1979)은 일사량에 의한 엽중 비율에 대한 영향은 없었다고 하였다. 본 연구의 경우 97년 12월 정식오이의 경우를 제외하면 일사량의 증가에 따라 엽중 비율은 증가하였다. 그러나 엽중 비율은 생육일수에 따라 달라진다. 식물생장에 관한 연구에서 보편적으로 관찰되는 현상은 줄기의 상대생장율이 잎의 상대생장율보다 크다는 것이다. 따라서 생육이 진전될수록 leaf/shoot 비율이 점점 낮아지게 되는데 구조역학적으로 실린더형의 초형을 가진 식물체가 지상에 서기 위해서는 줄기의 건물중은 초장의 4승에 비례해야 한다고 볼 때 당연한 현상이다 (Tilman, 1988). 이러한 현상은 본 연구의 오이에서도 나타나 엽중/지상부중의 비율은 생육이 진전됨에 따라 점점 감소하였다. 개체의 엽중/지상부중의 비율 (Rls)과 정식일로부터 생육일수 (t)와의 회귀분석에서 전술한

바와 같이

$$Rls = 0.7372 - 0.00193\ t$$

를 얻었으며 따라서 시간에 따른 엽중 (WL)은

$$WL = Rls \cdot Ws$$

로 추정된다.

하우스 재배오이의 여러 엽면적 (LA)과 엽건물중 (LDW)의 조사자료를 이용하여 엽중을 이용한 엽면적의 추정식을 여러 모형을 통해 시도하였던 바 다음의 식을 얻었다 (Fig. 6-2).

$$LA = 432.23\ LDW - 4.241\ LDW2$$

이 모형에 의하면 주당 엽중이 낮은 어린 시기에는 엽중과 엽면적은 직선관계를 보이지만 식물체가 점차 성장하여 노화하게 되면 엽면적은 엽중의 직선식으로 추정할 수 없고 엽중에 비해 비교적 낮은 엽면적을 보임을 말해 준다. 이것은 엽의 생장이 지속될수록 상대 엽면적 (SLA)이 감소함을 의미한다

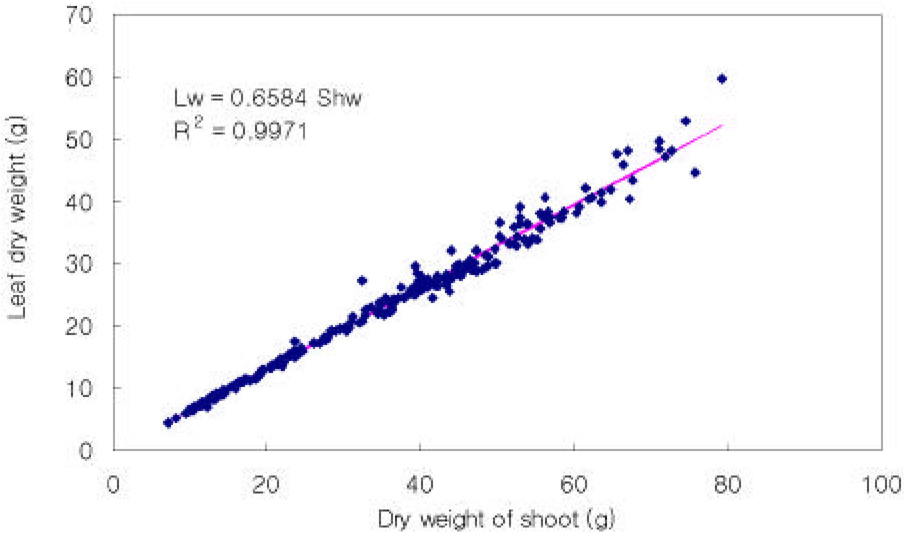



Fig. 6-1. Estimation of leaf dry weight by leaf weight ratio

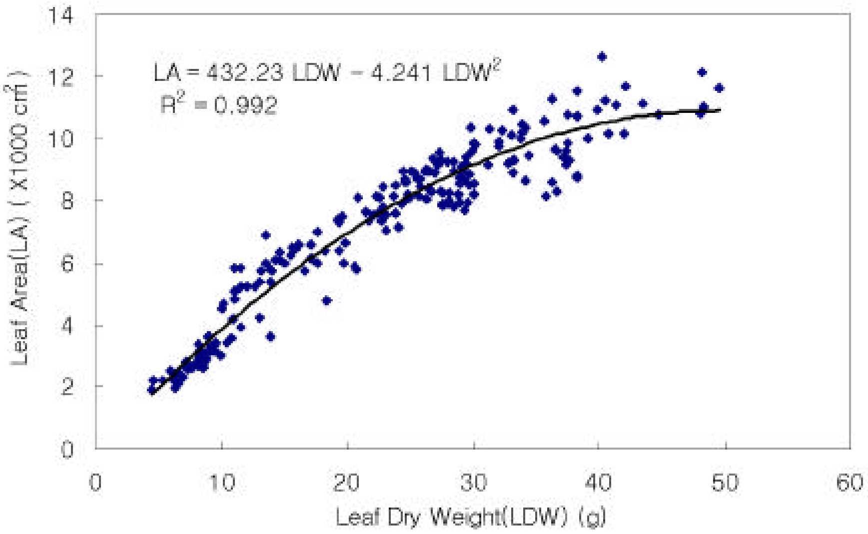



Fig. 6-2. Relationship between leaf area and leaf dry weight

## 2. 엽면적 지수 ( LAI )의 추정

작물 군락의 canopy 내에 위치한 잎들은 직사광선을 받아 광합성을 하기보다는 일부분의 직사광선과 주변에서 오는 반사광, 그리고 상위에 위치한 엽을 투과해 오는 광을 받아 광합성을 한다. 따라서 canopy내에 위치한 잎들은 상위 엽보다는 낮은 광량을 받게 되는데 이 경우 하위 엽까지 도달하는 동안에 약해진 정도는 소멸계수에 의해 설명된다. Lambert-Beer의 법칙에 의하면 특정 매질을 통과하는 투과광의 비율은 매질의 농도와 투과거리에 반비례한다고 한다. 작물군락의 canopy를 투과하는 광량 ( I )도 이 원리를 이용하여 canopy 상층의 입사광을 Io라 할 때

$$I = Io \exp( -k\ LAI )$$

로 설명할 수 있는데, 이때, k를 소멸계수 (extinction coefficient)라 부르며, 이 경우 LAI의 추정은 필수적이다. 엽면적 지수는 주당 엽면적의 크기에 비례하며 대개의 경우 특히 식물이 어린 시기에는 재식거리에 반비례한다. 본 연구의 경우 재식거리를 달리한 실험의 측정자료를 가지고 엽건물중(LDW)과 재식거리 ( Ps )에 따른 엽면적 지수를 추정하였던 바,

$$LAI = (11.831 + 1.6832\ LDW)/Ps$$

의 모형을 얻었다 (Fig. 6-3).

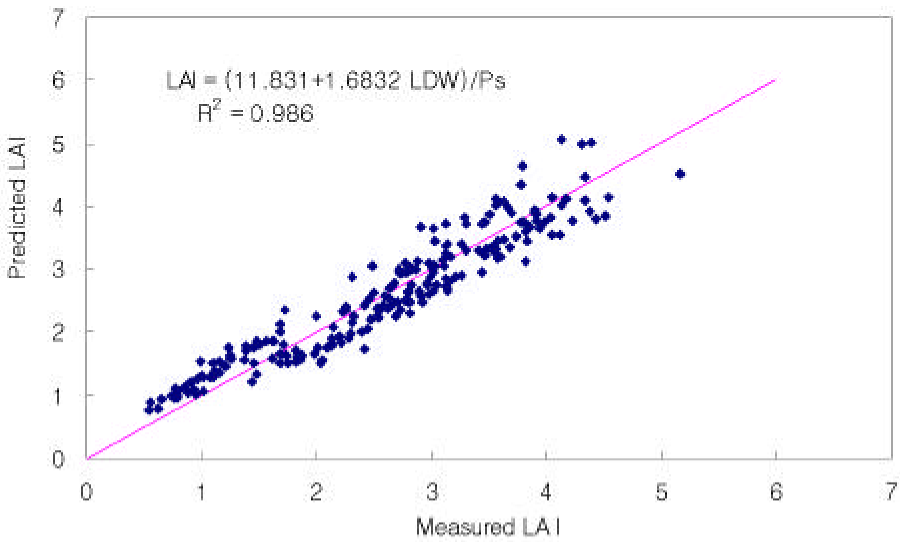



Fig. 6-3. Comparisons of measured values of leaf area index with predicted values by the equation

또한 Plant canopy analyser와 광량계를 이용하여 입사광, 투과광 그리고 엽면적 지수를 측정하여 소멸계수를 추정하였는데 본 연구의 경우,

$$k = -0.3427$$

을 얻었고 이 값을 이용하여 canopy내 측정한 투과광과 모형식으로 추정한 입사광의 비교는 Fig. 6-4.에 제시되어 있다.

3. 군락상태에서 단위면적위의 총광합성율의 추정

군락상태에서 단위면적위의 총광합성율 (Pg)은

$$Pg = \int_0^{LAI} GPL(l)dl$$

이 되는데 이때 GPL은 잎의 총광합성율이며 LAI는 총엽면적지수이고 l은 누적 엽면적지수이다. 광량, $CO_2$농도 그리고 기온에 따른 잎의 총광합성율은 (GPL1)

$$GPL1 = 38.8688\ T/(7.5397 + T)\ L/(240.1649 + L)\ (1-0.8865\ \exp(-0.0018\ CO_2)),$$

로 추정되었고 또한 엽중질소농도에 따른 잎의 총광합성의 반응은

$$GPL2 = 24.743/(1 + 6.0343\ \exp(-0.3689\ Ns))$$

으로 추정되었다. GPL1과 GPL2를 통합하여 광량, 기온, 대기 $CO_2$농도 그리고 엽중농도를 변수로 한 엽의 총광합성율은

$$GPL = 1.7858/(1 + 5.1729\ \exp(-0.4161\ Ns)) \cdot GPL1,\ (\mu mol\ CO_2\ (m^2\ leaf)^{-1}\ s^{-1}),$$

로 추정되었는데 이때 Ns는 엽중질소함량이다. 따라서

$$Pg = \int_0^{LAI} 1.7858/(1 + 5.1729\ \exp(-0.4161\ Ns)) \cdot GPL1\ dl$$

$$= 69.4119\ T/(7.5397 + T)(1 - 0.8865\ \exp(-0.0018\ CO_2)) \cdot$$

$$1/(1 + 5.1729\ \exp(-0.4161\ Ns)) \int_0^{LAI} I/(240.1694 + I)\ dl$$

이다.

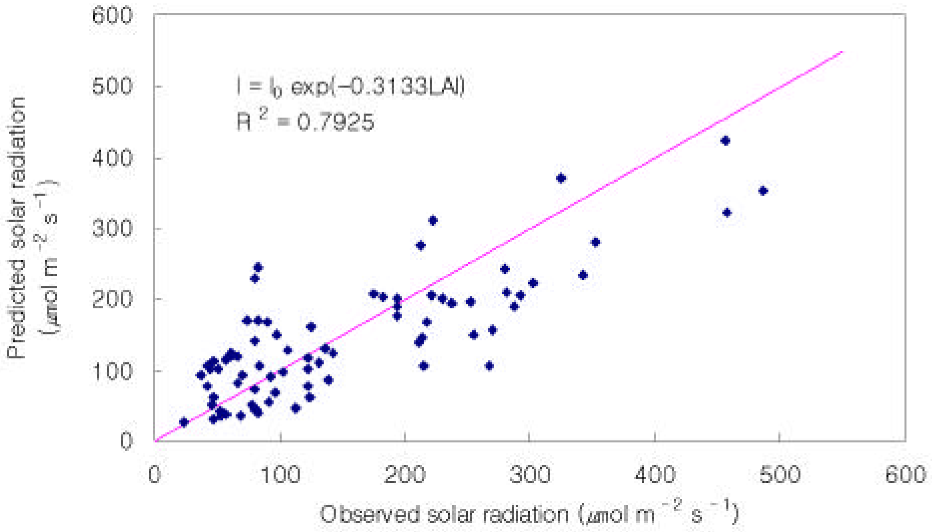



Fig. 6-4. Comparisons of measured values of solar radiation under differednt LAI with predicted values by the equations

# 제 7 장 주야간 변온과 양액의 N농도 및 광 환경의 차이가 오이 생장에 미치는 영향

## 제 1 절 서 론

오이는 오전 중 70%의 탄소동화작용을 한다. 효율의 극대화를 위해 오전 온도는 25 28℃로 관리하고, 오후에는 엽의 온도가 올라감에 따라 수분증발이 심해 에너지가 많이 소요되므로 23 25℃로 관리한다. 밤에는 낮 동안 생성한 탄소동화물질을 각 부위로 이동시키는데 초저녁에 이동을 촉진하는 온도인 16 18℃로 4 6시간 관리하고, 그 이후는 작물이 피해를 받지 않는 최저온도인 12 13℃로 관리한다. 생육상태를 잘 관찰해가며 관리하는 것이 중요하다. 특히 병해의 발생, 과실의 착과상태에 따라 생육단계별로 온도 관리가 필요하다. 식물의 생장모형을 이용하여 생장예측을 하기 위해서는 N농도 처리를 달리하면서 엽면적과 건물중의 증가량 등을 통해 상대 생장율을 산출하면 된다. 또한 환경조건에 따른 Shoot/Root 비율의 변이는 기능적 평형( Brouwer and de Wit, 1969 )에 의해 비교적 잘 설명되어진다. 기능적 평형 (functional equilibrium)이란 엽에서 동화하는 탄수화물과 뿌리에서 흡수하는 질소의 기관에서의 이용은 이 들의 동화나 흡수에 가까운 기관에서 우선적으로 이용된다는 가설이다. 수경액의 N농도가 낮을 경우 뿌리에서의 질소흡수가 적을 것이며, 질소의 이용 우선권은 뿌리가 가지고 있으므로 일단 뿌리에서 이용되고 나머지 여분의 질소는 지상부로 이동하게 된다. 그러나 질소흡수가 원래 적었고, 뿌리에서 일단 이용했으므로 지상부로 전이될 질소량은 한정되어 있어 지상부 생장은 억제되고, 따라서 S/R율이 감소한다는 것이다. 기능적 평형의 가설은 여러 연구자들에 의해 식물생장모형을 세우는데 이용되고 있다( Brouwer and de Wit, 1969 ; Thornley 1972a, 1972b ). 광이 작물생장에 미치는 영향은 광

도, 광의 지속시간과 광질의 세 가지 면에서 볼 수 있는데 광도가 강할수록 탄소동화작용이 조장되어 탄수화물의 생성량이 많아지므로 생장이 왕성하지만, 광도가 약하면 생장이 쇠퇴하여 수확량이 감소된다. 광도는 맑은 여름날 100Klux 정도가 되는데 오이가 필요로 하는 빛의 세기는 절반수준인 50 60Klux로서 그 이상 강한 햇빛은 쓸모 없으나 온도나 공기 중의 $CO_2$조건이 변화되면 유효하게 이용된다. 한편 겨울철은 맑은 날이라고 해도 40 60Klux 밖에 되지 않고, 시설하우스 내에는 야외의 60 80% 수준으로 오히려 부족하며, 특히 오이의 잎이 얇아지고 줄기가 가늘어지며, 뿌리의 발달도 약화되어 오이의 착과율이 저하되고 기형과의 발생이 많다. 따라서 하우스 형식과 구조가 중요하며 재식밀도, 곁순 제거, 잎 따기 등의 작업이 적정하게 이루어져야 한다. 따라서 본 연구는 주야간의 변온, 양액의 N농도 차이 및 광 환경의 차이가 오이생장에 미치는 영향에 대하여 연구할 목적으로 이루어졌다.

## 제 2 절 재료 및 방법

### 1. 주야간 변온이 생육에 미치는 영향 조사

#### 가. 주/야간 온도 23/16℃ 조건하 수경액의 N농도 차이에 따른 오이생육형질에서의 변이

1997년 6월 2일 공시 재료인 겨우살이 청장오이종자( F1 HYBRID WINTER LONG GREEN )를 충분히 관수한 파종상에 바로커 상토를 사용하여 고르게 파종한 후 CG 108 Growth chamber (생장상) 내로 옮겨서 유묘관리를 시작하였다.

발아 15일 후인 6월 20일에 48l 양액수조에 6주씩 N농도 처리 당 60주를 정식하였다. 생장상 내의 환경조건으로 광 조건은 약 400μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$, $CO_2$ 농도는 340±10ppm, 상대습도는 70%, 일장은 10시간, 양액 조성은 Hoagland 용액을 이용하되 N농도 처리를 3수준, 즉 3mmol, 6mmol, 11mmol로 하여 생

육시켰다.

실험목적은 주/야간 생육온도 23/16℃ 조건하 수경액의 N농도 차이에 따른 오이 생육에서의 변이를 밝히는 데 있다. 생육조사는 7월 7일부터 2 3일 간격으로 처리당 10개체를 표본 채취하여 주당 엽면적, 주당 엽, 경 및 근 건물중을 조사하였고, 잎, 줄기 그리고 뿌리의 Glucose, Starch, $NO_3^-$, $NH_4^+$, T-N(전질소) 함량을 조사하였다.

나. 주/야간 생육온도 26/26℃에서 수경액의 N농도 차이에 따른 오이 생육형질에서의 차이

1997년 12월 26일 공시 품종인 겨우살이 청장오이종자 ( F1 HYBRID WINTER LONG GREEN )를 파종하고, 1월 10일 정식 하였다. CG 108 GROWTH CHAMBER(생장상)의 환경적 조건은 실험 가와 동일하고, 주/야간 생육온도만 26/26℃로 변경하였다. 정식 후 식물체가 자라는 속도에 따라 양액공급을 조절하였다. 1월 12일에 제 3엽, 17일 제 4엽, 19일 제 5엽 출현 후 이 실험의 목적인 주/야간 생육온도 26/26℃에서 수경액의 N농도 차이에 따른 오이 생육형질에서의 차이를 밝히는 생육 조사를 하였는 데 3mmol, 6mmol, 11mmol의 N 농도 수준에 따라 3시간 간격 즉, 09시 18시까지 1주씩 1월 23일부터 3일 간격으로 주당 엽수, 주당 엽면적, 주당 엽, 경 및 근건물중, 그리고 절간 길이를 조사하였다. 광합성율은 생장상 내에서 LCA-3와 PLC로 일정개체를 엽위별로 측정하고, 호흡율은 조사일 09시와 18시에 생장상에서 표본을 뽑아 바로 근을 절취한 후 호흡측정 기기인 YSI MODEL 5300으로 측정하였고, 생육조사의 시간대별 표본을 이용하여 잎, 줄기 그리고 뿌리의 Glucose, Starch, $NO_3^-$, $NH_4^+$ 의 함량을 조사하였다.

다. 주/야간 생육온도의 차이에 따른 오이 생육형질에서의 변이

주/야간 생육온도는 CG 108 생장상에는 주/야간 26/14℃ 그리고 PGV 36 생장상에는 주/야간 20/14℃를 설정하여 동시에 실험을 실시하였다. 주/야간 온도조건만 다르고, 나머지 환경조건은 동일하게 설정하려 하였지만 생장상의 종

류가 달라 광 조건을 균일하게 둘 수는 없어 이 두 가지 주/야간 온도조건에 따른 생장반응의 직접적인 비교는 힘들었다.

1998년 3월 25일에 공시 재료인 겨우살이 청장오이종자 (F1 HYBRID WINTER LONG GREEN) 350립을 침종하여 10시간 경과 후에 petri dish에 여과지 2장 깔고 종자를 파종하여 28℃ INCUBATOR에 넣고 38시간 경과 후 0.5- 1.0㎝정도 발근된 상태에서 오이재배용 묘상자에 상토를 넣고 충분히 관수한 후 파종하였다. 파종된 종자는 각각의 생장상에 설정된 환경조건에서 생장시켰으며 4월 18일에 정식하였다.

주야간 생육온도 이외의 환경조건으로는 대기의 $CO_2$ 농도는 340±10ppm이고, 광량은 약 400μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$, 상대습도는 70%, 일장은 10시간, 양액 조성은 Hoagland 용액을 이용하되 CG 108 생장상에는 N농도를 3mmol, 6mmol, 11mmol의 3수준으로, PGV36 생장상에는 N농도를 6mmol로 하였다. 주/야간 생육온도의 차이에 따른 오이 생육형질에서의 차이를 밝히기 위하여 정식 후 15일인 5월 2일부터 1차 조사를 시작으로 3일 간격으로, 개체는 각 N농도 처리별 3주씩 채취하여 주당 엽수, 주당 엽면적, 주당 엽, 경 및 근건물중 및 생체중, 초장을 조사하였고 잎, 줄기 그리고 뿌리의 Glucose, Starch, $NO_3^-$, $NH_4^+$의 함량을 조사하였다.

라. 수경액의 N 농도 6mmol, 주/야간 온도 24/14℃ 조건하 PGV 36 생장상에서의 생육반응

1998년 4월 29일 10시간 동안 공시 품종 겨우살이 청장오이종자를 침종 하였고, 4월 29일  5월 1일까지 전과 동일한 방법으로 최아하였다. 파종은 5월 1일 PGV 36 생장상 내 주/야간 24/14℃ 조건으로 하였고, 5월 23일 정식하였다. 환경적 조건은 수경액의 N 농도 6mmol, 광 조건 400μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$, 나머지 조건은 전과 동일하게 처리하였다. 생육조사는 정식 후 15일인 6월 6일부터 3일 간격으로 6회(6월 6일, 9일, 12일, 15일, 18일, 21일)에 걸쳐 3주씩 선발하여 주당 엽수, 주당 엽면적, 주당 엽, 경 및 근건물중 및 생체중, 간장(절위)을 조사하였다. 생육조사를 마친 표본을 잎, 줄기 그리고 뿌리별로 Glucose, Starch, $NO_3^-$, $NH_4^+$의 함량을 조사하였다.

마. 주/야간 온도 26/14℃ 조건에서 수경액 N 농도 6mmol에서 차광율에 따른 오이 생육변이

1998년 4월 29일 공시 재료인 겨우살이 청장오이종자 ( F1 HYBRID WINTER LONG GREEN )를 10시간 동안 침종하고, 4월 29일 5월 1일에 최아는 전과 동일하게 하였고, 5월 1일 파종하여 5월 23일(22일묘)에 정식하였다.

CG 108 생장상 내 환경적 조건은 주/야간 온도 26/14℃ 조건에서 수경액의 N 농도 6mmol에서 차광 정도( 0%, 15%, 25% )를 달리하였다. 차광 정도 0%, 15%, 25%에 따라 각 각 3주씩 선발하여 생육조사를 실시하고, 각 조사는 정식 후 15일인 6월 6일부터 시작하여 3일 간격으로 하였고, 주당 엽수, 주당 엽면적, 주당 엽, 경 및 근생체중 및 건물중, 초장을 조사하고, 잎, 줄기 그리고 뿌리의 Glucose, Starch, $NO_3^-$, $NH_4^+$의 함량을 조사하였다.

바. 주/야간 온도 24/14℃, N 농도 6mmol에서 높은 광량 하에서의 생육조사

실험 라와 동일조건이나 광 조건은 Lamp 5개 사용으로 광 조건이 달라졌다. 1998년 6월 4일 10시간 동안 공시 품종인 겨우살이 청장오이 ( F1 HYBRID WINTER LONG GREEN )를 침종하고, 6월 4일 6월 6일까지 최아한 다음 6월 6일 파종하고, 파종 후 23일이 지난 6월 29일에 정식에 들어갔다. 정식은 PGV 36 생장상에 주/야간 생육온도 24/14℃로, 광 조건은 Halogen Lamp 5개 사용하였고, 양액은 6mmol만 공급하고, 나머지 조건은 전과 동일하게 처리하였다.

이 실험은 주/야간 생육온도 24/14℃, N 농도 6mmol 및 Halogen Lamp 5개 사용 조건 하에서의 생육조사의 결과를 알아보는 데 있다. 정식 후 15일부터 1차 조사 시작하여 3일 간격으로 6회(7월 14일, 17일, 20일, 23일, 26일, 29일)에 걸쳐 3주의 임의 표본을 통해 주당 엽수, 주당 엽면적, 주당 엽, 경 및 근 건물중 및 생체중, 초장, 간장(절위)를 조사하였고 잎, 줄기 그리고 뿌리의 Glucose, Starch, $NO_3^-$, $NH_4^+$의 함량을 조사하였다.

사. 양액의 N 농도 차이에 따른 오이 생육형질에서의 차이

1998년 7월 4일 공시 재료인 겨우살이 청장오이종자를 10시간 동안 침종시키고, 7월 4일 7월 6일 38시간 동안 전과 동일한 방법으로 최아시켰고, 7월 6일 파종, 7월 29일 PGV 36 생장상에 주/야간 생육온도 24/14℃조건으로 정식하였다. 정식시 생장상 내의 환경적 조건은 광 조건은 Halogen Lamp 5개를 사용하였고, 양액 조성은 Hoagland 용액을 이용하되 N 농도 처리를 2수준 0.1과 1.0mmol로 하였다.

본 실험의 목적은 양액의 N 농도 차이에 따른 오이 생육형질에서의 차이를 밝히는 것으로, 생육조사는 7월 29일 정식 시 처리 당 10주 표본을 임의로 채취하여 조사하였고, 정식 후 15일부터는 N 농도 처리 당 표본을 3주씩 선발하여 3일 간격으로 주당 엽수, 주당 엽면적, 주당 엽, 경 및 근 건물중 및 생체중, 초장, 간장(절위)을 조사하였고, Glucose, Starch, $NO_3^-$, $NH_4^+$의 함량 분석을 하였다.

2. 임의 표본 개체의 성분분석

위의 각 실험들은 공시재료인 겨우살이 청장오이종자( F1 HYBRID WINTER LONG GREEN )를 생장상 내에서 유묘관리 후 정식하여 3일 간격으로 6회에 걸쳐 3개체의 임의 표본을 채취하여 생육조사하고, 이를 분석하였다.

분석 항목에는 T-N(전 질소), $NH_4^+$, $NO_3^-$, GLUCOSE, STARCH가 포함되어 있고, 각 각의 분석은 다음과 같이 실시하였다.

가. T-N(전 질소)

전 질소 함량은 Kjeldahl 소화법에 따라 구하였다. 생육조사가 끝난 임의표본을 80℃의 dry oven에서 48시간 이상 건조시킨 후에 잘게 잘라 소화 24시간 전에 70℃의 dry oven에 보관한 다음 데시케이터에서 1시간 정도 두어 습기를

제거한다. 0.1g의 범위가 되도록 시료량을 조정하여 Kjeldahl flask에 취한 후 Blank와 시료에 1g의 selenium 시약을 넣어 진한 황산 용액 5mℓ로 기벽에 붙어 있는 시료가 씻기도록 가한 다음 흔들어 잘 혼합하였다. 시료가 무색이 될 때까지 Kjeldahl flask 분해용 분해대에서 380℃로 3시간 정도 소화를 진행시킨다. 분해가 끝나면 식힌 후 flask 표면에 응고가 일어날 때 소량의 증류수를 가하여 잘 혼합하여 100mℓ 시험관에 따라 부은 후 나머지 량도 증류수로 표선까지 채운 다음 잘 혼합하여 표준용액과 시료를 0.2mℓ 취하고, 10M NaOH와 50mℓ Na-nitroprusside, 50mℓ Na-hypochlorite로 이루어진 시약 2.5mℓ를 넣어 상온에 둔 후 10시간이 경과되지 않도록 하여 660nm spectrophotometer에서 흡광도를 측정하고 전 질소 농도를 계산하였다.

나. Glucose

건조된 시료 0.1g를 15mℓ 원심분리기용 시험관에 넣고 80% ethanol 10mℓ를 가한 후 80 85℃ 항온수조에서 30분간 흔들어 준 다음 원심분리기에 4000RPM으로 10분간 분리시킨 후 50mℓ 시험관에 상등액을 부어 넣는다. 앞의 과정을 3회 실시한 후에 80 85℃ 항온수조에 추출액을 넣고 기벽에 묻은 추출물이 묻어 나오도록 소량의 증류수로 2 3회 씻어낸 후에 표선까지 증류수를 채운다. 이 최종 추출물과 표준용액에서 0.5mℓ씩 취하여 시험관에 넣고 얼음물에서 5mℓ Anthrone 시약을 가한 다음 vortex mixer로 잘 섞어준다. 100℃ 항온수조에서 7.5분간 발색시킨 후 꺼내어 얼음물에 넣고 상온에 도달할 때까지 기다린 다음 잘 섞어 2시간 후에 625nm spectrophotometer에서 흡광도를 측정하여 표준용액의 회귀직선으로부터 glucose 농도를 계산하였다.

다. $NH_4^+$(질산태 질소)

glucose 최종 추출액과 표준용액 0.25mℓ를 시험관에 넣고, 0.125mℓ의 cyanide/acetate buffer를 가한 후에 0.125mℓ의 3% ninhydrine과 methoxy ethanol을 가하여 잘 섞어 항온수조의 끓는 물에서 15분간 흔들어 준 다음 바

로 꺼내어 2.5㎖ 1:1 propanol/water를 가하여 잘 혼합한다. 이것을 상온에서 식힌 다음 570nm에서 흡광도를 측정하고 계산식에 따라 $NH_4^+$ 함량을 구하였다.

라. $NO_3^-$(암모니아태 질소)

glucose 최종 추출액과 표준용액 0.2㎖씩 취한 후에 0.8㎖ 5g salicylic acid가 들어간 100㎖ 96% 황산을 가한 다음 잘 혼합하여 20분간 실온에서 기다린 다음 19㎖ NaOH 40g이 500㎖의 증류수에 녹아있는 시약을 첨가하여 잘 섞은 다음 상온에서 식힌 후 410nm에서 흡광도를 측정하고 $NO_3^-$-농도를 구하였다.

마. STARCH

glucose 추출 후 남은 시료를 dry oven에 1일 정도 보관하였다가 2㎖ 증류수를 원심분리기용 시험관에 가한 다음 100℃에서 15분 동안 흔들어 준 다음 상온에서 식힌 후에 2㎖ 9.2N $HClO_4$를 가한 다음 15분간 vortex mixer로 흔들어 준다. 여기에 6㎖ 증류수를 가한 다음 원심분리기에서 4000RPM, 10분간 원심분리 후 상등액을 50㎖ vol.flask에 다시 따른 다음 표선까지 증류수로 채운 다음 분석은 glucose와 동일하게 하고, 표준용액의 회귀직선으로부터 starch농도를 구하였다.

## 제 3 절 결과 및 고찰

### 1. 주/야간 변온에 따른 오이의 절간 신장성

오이의 주/야간 변온에 따른 오이 생육에서의 변이를 밝히기 위해 동일 조건의 생장상에 주/야간 온도를 달리하여 절간장을 조사하여 비슷한 절간장을 가지는 시기의 주/야간 변온처리의 결과가 표 7-1에 제시되어 있다. 절간장을 비교해 보면 주/야간 온도 26/14℃에서 1 4 마디 사이에 짧은 마디가 하나 더

발생한 것을 제외하고는 마디별 절간장의 차이는 없었고 초장의 신장도 생육 후기로 갈수록 차이를 찾아볼 수 없었다.

표 7-1. 주/야간 변온처리에 따른 절위의 절간 신장성

| 주/야간 온도(℃) | 조 사 시 기 | 절 간 장 ( cm ) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 26/26 | 1월 26일 | 1.0 | 1.4 | 2.5 | 6.4 | 8.2 | 9.6 | 9.3 | 7.2 | 4.5 | 2.9 | 1.6 | 1.2 | 1.0 |
| 26/14 | 6월 18일 | 2.1 | 1.2 | 1.3 | 1.9 | 6.1 | 8.7 | 9.9 | 8.7 | 9.4 | 8.3 | 5.2 | 2.4 | |
| 24/14 | 7월 29일 | 1.3 | 1.2 | 2.4 | 8.4 | 8.4 | 9.1 | 9.7 | 9.4 | 7.8 | 4.0 | 1.8 | | |

## 2. 주/야간 생육 온도에 따른 오이 기관의 상대 생장율

주/야간 생육 온도의 차이에 따른 조사시기별, 기관별 건물중 및 엽면적의 변이는 표 7-2에, 그리고 오이의 기관별 상대 생장율은 표 7-3에 제시되어 있다. 생육시기와 생육조사 시기가 달라서 직접적으로 생장량을 비교하기는 어렵고, 상대 생장율을 가지고 비교하는 것은 가능하다. 주/야간 생육온도 처리간 상대 생장율을 비교해 보면 지상부 건물중의 상대 생장율에서는 주/야간 같은 온도를 준 26/26℃ 처리가 가장 높은 0.1357을 보였고, 주/야간 온도차이가 가장 큰 26/14℃ 처리가 0.1109로 가장 낮은 값을 보였다. 엽 건물중, 경 건물중, 근 건물중 그리고 엽면적의 상대 생장율에서도 주/야간 생육온도에서 차이가 없는 26/26℃ 처리가 가장 높아 오이에서의 주/야간 변온에 따른 효과는 거의 없는 것으로 사료된다.

**표 7-2. 주/야간 생육온도의 차이에 의한 조사시기별 생장형질의 변이**

| 주/야간 생육온도(℃) | 조 사 시 기 | 건물중 엽 (g) | 건물중 경 (g) | 건물중 근 (g) | 주당 엽면적 (cm2) |
|---|---|---|---|---|---|
| 23/16 | 7월 7일 | 1.04 | .38 | .23 | 311.4 |
| | 9일 | 1.41 | .45 | .32 | 327.9 |
| | 12일 | 1.76 | .49 | .30 | 490.9 |
| | 14일 | 2.45 | .77 | .51 | 630.0 |
| | 17일 | 3.96 | 1.18 | .55 | 1028.6 |
| | 19일 | 5.34 | 1.60 | .62 | 1239.7 |
| 26/26 | 1월 23일 | 3.39 | .79 | .54 | 1044.1 |
| | 26일 | 5.34 | 1.68 | .66 | 1914.7 |
| | 29일 | 8.32 | 3.15 | 1.05 | 2975.9 |
| | 2월 1일 | 11.22 | 4.21 | 1.45 | 4015.1 |
| | 4일 | 15.66 | 5.96 | 3.62 | 5496.7 |
| 26/14 | 6월 6일 | 1.67 | .36 | .36 | 633.5 |
| | 9일 | 2.48 | .56 | .45 | 889.5 |
| | 12일 | 2.89 | .92 | .55 | 1259.3 |
| | 15일 | 4.82 | 1.53 | .71 | 2129.9 |
| | 18일 | 5.67 | 1.94 | .71 | 2618.8 |
| | 21일 | 8.12 | 2.74 | 1.09 | 3355.3 |
| 24/14 | 7월 14일 | 1.00 | .22 | .16 | 323.8 |
| | 17일 | 1.60 | .33 | .44 | 569.6 |
| | 20일 | 2.51 | .59 | .54 | 895.7 |
| | 23일 | 3.50 | .98 | .62 | 1236.2 |
| | 26일 | 4.45 | 1.36 | 1.07 | 1699.8 |
| | 29일 | 5.32 | 1.71 | 1.00 | 1893.1 |

**표 7-3. 주/야간 생육온도의 차이에 의한 처리별 상대 생장율에서의 변이**

| 주/야간 온도(℃) | 상 대 생 장 율 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 지상부 건물중 | 엽 건물중 | 경 건물중 | 근 건물중 | 엽면적 |
| 23/16 | .1313 | .1346 | .1213 | .0816 | .1237 |
| 26/26 | .1357 | .1268 | .1650 | .1526 | .1354 |
| 26/14 | .1109 | .1038 | .1370 | .0682 | .1152 |
| 24/14 | .1184 | .1120 | .1429 | .1140 | .1184 |

### 3. 양액의 N농도 차이에 따른 오이의 생육반응

#### 가. 오이의 기관별 생육

식물생장모형으로 가장 간단한 것이 지수적 생장모형 (Exponential growth model)으로 비교적 짧은 시간 단위의 식물생장예측에 이용된다. 이 모형은

$$dW/dt = rW,$$

로 표현되며, 이때 W는 식물체 기관의 건물중이 되며 r은 상대 생장율이다. 오이의 생장은 지속적으로 이루어지는 것으로 이 모형이 식물의 생장예측에 적절할 것으로 생각되나, 이는 실제 생육을 조사함으로서 적절 여부는 판정해야 할 것이다.

본 연구에서 이루어진 양액의 질소 농도처리 실험은 3가지로 구분된다. Hoagland용액의 N농도 수준이 11mmol로 구성되어 있어 본 연구에서는 N 11mmol을 대조구로 두면서 N 3mmol과 N 6mmol의 수경재배에서 오이의 생육반응을 비교하는 실험을 주/야간 생육온도 23/16℃와 26/26℃로 수행하였고, 엽중 질소함량을 낮추어 광합성반응을 살피기 위해 N 0.1mmol과 1.0mmol 수준에서 수행하였다. 이러한 생육조건하에서 조사된 식물체 기관별 시간에 따른 건물중 증가량과 엽면적의 증가량은 표 7-4, 7-5, 7-6에 제시되어 있다.

이 들 자료를 이용하여 오이의 기관별 생장에 대해서 지수적생장 여부를 밝히기 위하여 회귀분석을 통해서 상대 생장율을 구하고, 유의성검정을 하였던바 대개의 경우 고도로 유의하였고, 나머지는 5%수준에서 유의하였는데 이 자료들이 여러 생육단계에서 얻어진 것을 감안할 때 지수적생장모형이 오이의 건물 증가에 대한 생장 모형으로 적절함을 말해 준다. 처리에 따라 회귀분석을 통해 얻어진 상대 생장율은 표 7-7에 제시되어 있다.

처리에 따른 기관의 상대 생장율을 살펴보면 양액의 N농도가 6mmol까지 증가할수록 상대 생장율은 증가하였으며, 11mmol에서 감소하였다. 이는

11mmol의 수경액 질소는 너무 높은 것을 의미한다. 수경액의 N 농도에 따른 기관별 분배 비율의 평균이 표 7-8에 주어져 있다. 이 결과에 의하면 수경액의 N 농도가 높을수록 엽, 경 또는 지상부에 동화산물을 투자하는 비율이 높고, 뿌리에의 투자비율이 낮으며, 따라서 Shoot/Root (S/R)비율이 높아졌다. 또한 상대 엽면적에서도 수경액의 N농도가 높을수록 높아지는 경향이 있어, 단위 엽중당 엽면적이 증가하는 경향이었다.

표 7-4. 주/야간 생육온도 26/26℃하 수경액 N농도 차이에 따른 오이의 생육형질에서의 변이

| 조 사 시 기 | 양액 N 농도(mmol) | 주 당 엽면적 (cm2) | 건물중 엽 (g) | 경 | 근 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1월 23일 | 3 | 920.4 | 3.035 | .758 | .515 |
| | 6 | 1044.1 | 3.391 | .794 | .543 |
| | 11 | 702.8 | 1.791 | .445 | .198 |
| 26일 | 3 | 1866.6 | 5.153 | 1.635 | .693 |
| | 6 | 1914.7 | 5.339 | 1.682 | .663 |
| | 11 | 1419.7 | 3.349 | 1.019 | .415 |
| 29일 | 3 | 2329.4 | 6.367 | 2.493 | .802 |
| | 6 | 2975.9 | 8.325 | 3.152 | 1.053 |
| | 11 | 1881.7 | 4.421 | 1.602 | .482 |
| 2월 1일 | 3 | 2836.0 | 8.166 | 3.449 | 1.135 |
| | 6 | 4015.1 | 11.222 | 4.207 | 1.449 |
| | 11 | 2660.5 | 6.101 | 2.363 | .678 |
| 4일 | 3 | 3804.3 | 12.590 | 5.017 | 2.273 |
| | 6 | 5496.7 | 15.665 | 5.964 | 3.625 |
| | 11 | 3336.8 | 8.469 | 3.128 | .963 |

표 7-5. 주/야간 온도 23/16℃하 수경액의 N농도 차이에 따른 오이 생육형질에서의 변이

| 조 사 시 기 | 양 액N 농도(mmol) | 주 당 엽면적 (cm2) | 주 당 건 물 중 (g) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 엽 | 경 | 근 |
| 7월 7일 | 3 | 282.6 | 1.268 | .421 | .311 |
| | 6 | 311.4 | 1.041 | .383 | .227 |
| | 11 | 311.5 | .960 | .366 | .197 |
| 9일 | 3 | 375.6 | 1.306 | .387 | .281 |
| | 6 | 327.9 | 1.407 | .452 | .319 |
| | 11 | 337.4 | 1.316 | .439 | .271 |
| 12일 | 3 | 494.3 | 1.750 | .537 | .322 |
| | 6 | 490.9 | 1.765 | .486 | .304 |
| | 11 | 533.1 | 1.603 | .516 | .268 |
| 14일 | 3 | 489.9 | 1.831 | .607 | .395 |
| | 6 | 630.0 | 2.450 | .771 | .509 |
| | 11 | 689.0 | 2.058 | .685 | .379 |
| 17일 | 3 | 872.1 | 3.296 | 1.165 | .422 |
| | 6 | 1028.6 | 3.956 | 1.178 | .547 |
| | 11 | 1083.4 | 3.563 | 1.178 | .458 |
| 19일 | 3 | 1136.7 | 4.524 | 1.365 | .653 |
| | 6 | 1239.7 | 5.336 | 1.597 | .615 |
| | 11 | 1154.2 | 4.069 | 1.385 | .511 |

표 7-6. 주/야간 생육온도 24/14℃에서 양액 N농도 차이에 따른 오이 생육형질에서의 변이

| 조 사 시 기 | 양액 N 농 도 (mmol) | 주 당 엽면적 (cm2) | 주 당 건 물 중 엽 (g) | 경 | 근 |
|---|---|---|---|---|---|
| 7월 29일 | 0.1 | 236.9 | .37 | .13 | .09 |
| | 1.0 | 263.1 | .42 | .15 | .10 |
| 8월 5일 | 0.1 | 365.9 | 1.09 | .20 | .28 |
| | 1.0 | 551.0 | 1.41 | .27 | .28 |
| 8일 | 0.1 | 529.7 | 1.25 | .28 | .34 |
| | 1.0 | 648.1 | 1.62 | .40 | .45 |
| 11일 | 0.1 | 838.5 | 1.63 | .47 | .67 |
| | 1.0 | 1072.6 | 2.31 | .65 | .60 |
| 14일 | 0.1 | 1259.4 | 2.81 | .78 | .95 |
| | 1.0 | 1623.5 | 3.43 | .99 | .98 |
| 17일 | 0.1 | 1613.9 | 3.16 | 1.01 | .86 |
| | 1.0 | 1958.8 | 4.12 | 1.26 | 1.06 |
| 20일 | 0.1 | 1706.9 | 3.75 | 1.28 | 1.10 |
| | 1.0 | 2155.1 | 4.86 | 1.47 | 1.52 |

표 7-7. 수경액의 질소 농도에 따른 오이 식물체 기관의 상대 생장율

| 주/야간 생육 온 도(℃) | 양 액 N 농 도 (mmol) | 상 대 생 장 율 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 지상부 건물중 | 엽 건물중 | 경 건물중 | 근 건물중 | 엽면적 |
| 23/26 | 3 | .1083 | .1074 | .1109 | .0612 | .1105 |
| | 6 | .1313 | .1346 | .1213 | .0816 | .1237 |
| | 11 | .1200 | .1217 | .1153 | .0770 | .1206 |
| 26/26 | 3 | .1202 | .1102 | .1509 | .1154 | .1085 |
| | 6 | .1357 | .1268 | .1650 | .1526 | .1354 |
| | 11 | .1318 | .1236 | .1580 | .1218 | .1248 |
| 24/14 | 0.1 | .1205 | .1177 | .1324 | .1284 | .1162 |
| | 1.0 | .1230 | .1219 | .1290 | .1382 | .1162 |

표 7-8. 수경액의 질소농도에 따른 오이 식물체 기관별 분배비율, S/R 그리고 SLA

| 주/야간 생육 온 도 (℃) | 양액 N 농 도 (mmol) | 기관별 분배비율 (%) 엽 | 경 | 근 | 지상부 | S/R | SLA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23/26 | 3 | 66.3 | 21.2 | 12.4 | 87.6 | 7.384 | 262.7 |
| | 6 | 67.1 | 20.9 | 12.0 | 88.0 | 7.749 | 260.0 |
| | 11 | 66.3 | 22.5 | 11.2 | 88.8 | 8.229 | 306.0 |
| 26/26 | 3 | 66.5 | 23.5 | 10.0 | 90.0 | 9.237 | 336.2 |
| | 6 | 67.2 | 22.5 | 10.3 | 89.7 | 9.162 | 346.5 |
| | 11 | 69.1 | 23.0 | 7.9 | 92.1 | 11.768 | 414.4 |
| 24/14 | 0.1 | 63.4 | 17.8 | 18.8 | 81.2 | 4.428 | 475.5 |
| | 1.0 | 64.9 | 18.2 | 16.9 | 83.1 | 4.982 | 467.7 |

환경조건에 따른 S/R율의 변이는 기능적 평형 (functional equilibrium) (Brouwer and de Wit, 1969)에 의해 비교적 잘 설명되어 진다. 기능적 평형이란 엽에서 동화하는 탄수화물과 뿌리에서 흡수하는 질소의 기관에서의 이용은 이들의 동화나 흡수에 가까운 기관에서 우선적으로 이용된다는 가설이다. 수경액의 N농도가 낮을 경우 뿌리에서의 질소흡수가 적을 것이며 질소의 이용 우선권은 뿌리가 가지고 있으므로 일단 뿌리에서 이용되고 나머지 여분의 질소는 지상부로 이동하게 된다. 그러나 질소흡수가 원래 적었고 뿌리에서 일단 이용했으므로 지상부로 전이될 질소량은 한정되어 있어 지상부 생장은 억제되고, 따라서 S/R율이 감소한다는 것이다. 기능적 평형의 가설은 여러 연구자들에 의해 식물생장모형을 세우는데 이용되어 왔다 (Brouwer and de Wit, 1969; Thornley 1972a, 1972b).

4. 광 환경의 차이가 오이 생장에 미치는 영향

본 연구에서 광량에 변이를 주어 수행한 실험은 두 가지로 구분된다. 하나는 CG 108 생장상에서 약 400μmol m-2 s-1의 광량을 준 후 차광율 0%, 15%,

25%의 3수준을 두어 오이의 생장량을 조사한 것이고, 다른 하나는 PGV 36 생장상에서 광원 수를 2개와 5개로 설정한 후 수행된 실험이다. 두 실험에서 조사된 자료가 표 7-9와 표 7-10에 제시되어 있으며, 이들 자료 또한 오이의 기관별 지수적 생장 여부를 밝히기 위해 이용되었는데, 회귀분석을 통해 상대 생장율을 구하고, 모형의 적합성에 대한 유의성 검정을 실시하였던 바 대부분의 경우 고도로 유의하였고 나머지 소수의 몇 경우는 유의성을 보여 지수적 생장모형이 오이의 생장모형으로 적합함을 재확인하였다. 조사광량에 따른 오이의 상대 생장율은 표 7-11에 제시되어 있다. 광량이 높을수록 기관의 상대 생장율은 증가하는 경향을 보였다.

조사광량의 차이에 다른 오이의 기관별 분배비율, S/R율 그리고 SLA,는 표 7-12 에 제시되어 있다. 이 경우도 광량이 낮을수록 뿌리에의 분배비율이 높고, S/R율이 낮아지는 경향이 뚜렷하여, 수경액의 N 농도에 따른 S/R율에 대한 기능적 평형을 재확인 하였다.

**표 7-9. 주/야간 온도 26/14℃, N 6mmol에서 차광정도에 따른 오이생육변이**

| 조 사 시 기 | 차광율 (%) | 주 당 엽면적 ($cm^2$) | 주 당 건 물 중 엽 (g) | 경 | 근 |
|---|---|---|---|---|---|
| 6월 6일 | 0 | 633.5 | 1.67 | .36 | .36 |
| | 15 | 401.0 | .92 | .23 | .18 |
| | 25 | 370.8 | .93 | .21 | .22 |
| 9일 | 0 | 889.5 | 2.48 | .56 | .45 |
| | 15 | 664.4 | 1.47 | .39 | .22 |
| | 25 | 636.4 | 1.48 | .34 | .29 |
| 12일 | 0 | 1259.3 | 2.89 | .92 | .55 |
| | 15 | 1110.2 | 2.16 | .62 | .36 |
| | 25 | 899.0 | 1.98 | .57 | .36 |
| 15일 | 0 | 2129.9 | 4.82 | 1.53 | .71 |
| | 15 | 1298.4 | 2.26 | .68 | .36 |
| | 25 | 1345.1 | 2.99 | .92 | .46 |
| 18일 | 0 | 2618.8 | 5.67 | 1.94 | .71 |
| | 15 | 2011.3 | 3.61 | 1.16 | .57 |
| | 25 | 1684.2 | 3.96 | 1.17 | .47 |
| 21일 | 0 | 3355.3 | 8.12 | 2.74 | 1.09 |
| | 15 | 1997.4 | 3.64 | 1.10 | .51 |
| | 25 | 1559.2 | 3.64 | 1.14 | .56 |

**표 7-11. 생장상 조사광량에 따른 오이 식물체 기관의 상대 생장율**

| 주/야간 온 도(℃) | 차광율(%) 또는 광원수 | 상 대 생 장 율 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 지상부 건물중 | 엽 건물중 | 경 건물중 | 근 건물중 | 엽면적 |
| 26/14 | 0 | .1109 | .1038 | .1370 | .0682 | .1152 |
| | 15 | .0949 | .0916 | .1065 | .0768 | .1096 |
| | 25 | .1019 | .0970 | .1204 | .0606 | .1000 |
| 24/14 | 2 | .0946 | .0952 | .0922 | .0851 | .1218 |
| | 5 | .1184 | .1120 | .1429 | .1140 | .1184 |

표 7-10. 주/야간 온도 24/14℃, N 6mmol에서 광원의 수에 따른 오이생육반응

| 조사 시기 | 광원수 | 주당 엽면적 (cm2) | 주당건물중 (g) 엽 | 경 | 근 |
|---|---|---|---|---|---|
| 6월 6 | 2 | 180.2 | .49 | .15 | .14 |
| 9 | | 216.6 | .61 | .18 | .13 |
| 12 | | 348.8 | .88 | .24 | .23 |
| 15 | | 528.5 | 1.13 | .25 | .31 |
| 18 | | 696.3 | 1.37 | .42 | .42 |
| 21 | | 1062.1 | 2.12 | .62 | .39 |
| 7월 14 | 5 | 323.8 | 1.00 | .22 | .16 |
| 17 | | 569.6 | 1.60 | .33 | .44 |
| 20 | | 895.7 | 2.51 | .59 | .54 |
| 23 | | 1236.2 | 3.50 | .98 | .62 |
| 26 | | 1699.8 | 4.45 | 1.36 | 1.07 |
| 29 | | 1893.1 | 5.32 | 1.71 | 1.00 |

표 7-12. 생장상 조사광량에 따른 오이식물체 기관별 분배비율, S/R 그리고 SLA

| 주/야간 온도(℃) | 차광율(%) 또는 광원수 | 기관별 분배비율(%) 엽 | 경 | 근 | 지상부 | S/R | SLA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26/14 | 0 | .686 | .200 | .114 | .886 | 8.158 | 415.1 |
| | 15 | .690 | .198 | .111 | .889 | 8.066 | 513.7 |
| | 25 | .690 | .191 | .119 | .881 | 7.749 | 431.0 |
| 24/14 | 2 | .651 | .184 | .165 | .835 | 5.210 | 432.7 |
| | 5 | .681 | .177 | .142 | .858 | 6.240 | 354.6 |

# 제 8 장 과실의 건물중 증가 특성

## 제 1 절 서 론

과실의 생장으로 생육진단이 가능하다. 과형이 짧은 경우는 야간 온도가 너무 낮을 때 나타나며, 주름이 강하고 혹이 큰 것은 초세가 강할 때 나타난다. 또한 과실 전체가 늙은 듯한 느낌이 들면 며칠 후부터 상품성이 매우 나빠지기 쉽다. 이는 양분의 불균등한 배합 때문이다. 과실이 길게 자라면 영양 과잉으로 과번무한 상태이고, 끝이 뾰족한 과실은 영양과 수분부족, 뿌리 활력이 낮을 때 많이 생기고, 곤봉형 과실은 야간온도가 너무 낮거나, 엽수의 부족, 뿌리 활력의 저하가 주된 원인이다. 따라서 본 연구는 과실의 형태에 의해 과실의 생육진단이 가능하도록 생육시기의 진전에 따른 오이 개체 과실들의 과장과 과경의 크기를 조사하기 위해 시행되었다.

## 제 2 절 재료 및 방법

본 연구에서는 과실의 생장, 특히 건물중의 증가 특성을 알아보기 위하여 1998년 조숙재배 오이 개체를 하우스 구역별 5개체, 총 40개체를 지정하여 개체에 착생하는 모든 과실의 과장과 중간 부위의 과실 반지름과 엽수를 4월 21일부터 9일간에 걸쳐 측정하였다. 비 파괴적 방법으로 과실의 건물중을 추정하기 위해서 따로 수확한 과실들의 과장, 중간 부위의 과실 반지름 그리고 생과중을 측정하고 과장과 과실 반지름을 이용하여 과실의 부피를 추정하였으며 부피와 생과중의 관계에 대한 모형을 만들었다. 과실의 생체중과 건물중의 관계를 밝히기 위하여 수확한 과실을 4등분하여 절편을 만든 다음 그것의 무게를 측정한 후 건조기에서 완전 건조한 다음 건물중을 측정하였다.

## 제 3 절 결과 및 고찰

과실의 생체중과 건물중의 관계를 밝히기 위하여 수확한 과실을 4등분하여 절편을 만든 다음 그것의 무게를 측정한 후 건조기에서 완전 건조한 다음 건물중을 측정하였다. 그 중 3개체의 조사 결과를 제시한 것이 표 8-1, 8-2, 8-3이다. 표 8-1의 개체는 4월 21일 21개의 엽에 5개의 과실이 달려 있었는데, 그 중 2, 3번째 과실이 정상적으로 자라고 있었고, 1, 4, 그리고 5번 과실은 마지막 조사일인 4월 29일까지 전혀 생장을 하지 못하였으며, 특히 1번과는 곡과로 상품가치가 없었다. 6번 과실은 4월 22일부터 서서히 생장하다가 2번과가 수확한 4월 27일부터 급격한 생장을 시작하였고, 7번과는 4월 24일에서 4월 26일까지는 거의 생육이 정지된 상태로 남아 있다가 2번과가 수확한 후 생육이 진전되다가 3번과가 수확한 4월 28일부터 급격한 생장을 보였다. 표 8-2의 경우는 조사시작일 17개의 엽이 있었던 개체를 4월 24일까지 매일 1 2개의 엽수의 증가를 1번과와 2번과의 생장이 급속한 24일, 25일에는 엽의 출현속도가 낮아졌다. 이 개체는 조사 초기에 5개의 과실이 달려 있었는데, 그 중 1번과와 2번과는 빠른 생장을, 그리고 5번과는 느린 생장을 보였으며 3, 4번 과실은 생육이 정지되어 있는 상태였다. 5번과는 4월 26일 1번 과실이 수확된 후부터 빠른 생장을 보였으며 4월 25일부터 서서히 자라기 시작한 6번 과실과 7번 과실은 4월 28일 2번과가 수확된 후부터 빠른 생장을 보였다. 표 8-3의 개체는 조사시작일 19개의 엽과 5개의 과실이 달려있는 개체로 1번 과실만이 급속히 성장하고 있었고 나머지 과실들은 매우 느린 생장을 보였다. 그러나 4월 24일 1번 과실이 수확된 후 3번 과실은 급속한 성장을, 그리고 2, 4번 과실은 비교적 빠른 속도로 생장하였으며, 4월 22일부터 자라기 시작한 6번 과실은 4월 27일부터 급격한 성장을 보였고 5번 과실과 4월 23일 자라기 시작한 7번 과실은 느린 성장을 보였다. 이상의 관찰을 종합해 볼 때 20 25개의 엽을 가진 오이 개체에서 동시에 원활히 자랄 수 있는 과실수는 7 8개의 과실 중 2 4개일 뿐

나머지 4  5개의 과실은 생육이 정지되거나 중단되어 곡과로 전락하는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 first-set fruit inhibition으로 불리우며(Schaffer et al., 1996), Ells (1983)에 의하면, 피클 오이에서 한 개 의 과실을 생육시키기 위해서는 9  10개의 엽이 필요하다고 하였는데 이는 본 실험의 결과와 유사하였다. 이 사실들의 확인은 과실 건물중의 증가율, 엽면적, 단위 엽면적당 광합성율, 그리고 호흡율을 비교해 봄으로서 가능하며 그러기 위해서는 비 파괴적 건물 생산량의 평가가 불가피하다.

표 8-1. 생육시기의 진전에 따른 오이 개체의 과실들의 과장과 과경의 크기 (예 1)

| 과실 번호 | 조사시기 | 4/21 | 4/22 | 4/23 | 4/24 | 4/25 | 4/26 | 4/27 | 4/28 | 4/29 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 엽수 | 21 | 21 | 22 | 23 | 24 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 1 | 과장 | 61.0 | 67.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 69.0 | 67.0 | 67.0 |
| | 과경 | 7.4 | 9.9 | 10.0 | 9.9 | 10.0 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 10.9 |
| 2 | 과장 | 96.0 | 126.0 | 149.0 | 195.0 | 210.0 | 220.0 | | | |
| | 과경 | 18.0 | 23.2 | 26.3 | 30.6 | 37.5 | 41.0 | | | |
| 3 | 과장 | 44.0 | 97.0 | 102.5 | 112.0 | 142.0 | 182.0 | 203.0 | 240.0 | |
| | 과경 | 10.9 | 14.3 | 15.5 | 21.4 | 25.0 | 28.0 | 31.4 | 36.5 | |
| 4 | 과장 | 51.0 | 57.0 | 57.5 | 59.0 | 60.0 | 57.0 | 59.0 | 57.0 | 54.4 |
| | 과경 | 5.0 | 7.4 | 7.7 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.7 | 7.5 | 7.4 |
| 5 | 과장 | 50.0 | 52.0 | 53.0 | 55.3 | 55.0 | 55.0 | 56.5 | 57.0 | 59.0 |
| | 과경 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 7.0 | 7.2 | 7.2 | 7.5 |
| 6 | 과장 | | 34.5 | 37.0 | 43.7 | 49.0 | 55.0 | 59.0 | 69.0 | 95.0 |
| | 과경 | | 4.4 | 4.6 | 5.7 | 6.0 | 6.5 | 8.3 | 9.2 | 12.0 |
| 7 | 과장 | | | | 32.0 | 35.0 | 35.0 | 45.0 | 53.0 | 67.3 |
| | 과경 | | | | 4.4 | 4.4 | 4.4 | 5.1 | 5.7 | 7.4 |

표 8-2. **생육시기의 진전에 따른 오이 개체의 과실들의 과장과 과경의 크기**(**예**2)

| 과실번호 | 조사시기 | 4/21 | 4/22 | 4/23 | 4/24 | 4/25 | 4/26 | 4/27 | 4/28 | 4/29 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 엽수 | 17 | 19 | 21 | 22 | 22 | 23 | 24 | 24 | 25 |
| 1 | 과장 | 90.9 | 107.0 | 136.0 | 190.0 | 214.0 | 240.0 | | | |
| | 과경 | 14.4 | 18.2 | 21.2 | 27.7 | 31.5 | 36.0 | | | |
| 2 | 과장 | 75.0 | 92.0 | 100.0 | 133.0 | 163.0 | 195.0 | 220.0 | 248.0 | |
| | 과경 | 11.7 | 14.1 | 15.1 | 21.0 | 24.8 | 30.4 | 33.3 | 36.5 | |
| 3 | 과장 | 57.0 | 62.0 | 64.0 | 65.0 | 65.0 | 64.4 | 65.5 | 64.0 | 64.0 |
| | 과경 | 7.7 | 9.0 | 9.6 | 9.7 | 6.2 | 9.0 | 6.1 | 9.1 | 9.4 |
| 4 | 과장 | 54.0 | 60.0 | 59.0 | 62.0 | 62.0 | 62.4 | 63.0 | 64.0 | 62.8 |
| | 과경 | 5.5 | 7.3 | 6.6 | 6.9 | 6.6 | 7.5 | 7.4 | 7.2 | 7.0 |
| 5 | 과장 | 32.0 | 42.7 | 47.0 | 53.0 | 57.0 | 70.0 | 77.0 | 95.0 | 132.6 |
| | 과경 | 4.5 | 5.8 | 5.5 | 6.5 | 7.9 | 7.4 | 7.3 | 7.2 | 16.0 |
| 6 | 과장 | | | | | 42.2 | 45.7 | 50.0 | 59.0 | 76.4 |
| | 과경 | | | | | 5.8 | 5.9 | 6.0 | 7.0 | 8.8 |
| 7 | 과장 | | | | | 36.0 | 38.6 | 43.0 | 49.0 | 62.4 |
| | 과경 | | | | | 4.4 | 5.0 | 5.3 | 6.3 | 7.5 |

표 8-3. **생육시기의 진전에 따른 오이 개체의 과실들의 과장과 과경의 크기** (**예** 3)

| 과실번호 | 조사시기 | 4/21 | 4/22 | 4/23 | 4/24 | 4/25 | 4/26 | 4/27 | 4/28 | 4/29 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 엽수 | 19 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 23 | 24 | 24 |
| 1 | 과장 | 140.0 | 173.0 | 230.0 | 230.0 | | | | | |
| | 과경 | 20.7 | 25.4 | 29.3 | 34.0 | | | | | |
| 2 | 과장 | 65.0 | 70.0 | 69.0 | 71.0 | 75.0 | 75.4 | 82.0 | 98.0 | 129.6 |
| | 과경 | 10.4 | 12.2 | 11.0 | 12.9 | 12.8 | 13.0 | 13.0 | 15.8 | 20.4 |
| 3 | 과장 | 56.0 | 59.0 | 60.0 | 67.0 | 93.0 | 134.0 | 131.0 | 155.0 | 199.6 |
| | 과경 | 8.1 | 12.0 | 10.0 | 12.8 | 14.3 | 17.2 | 19.5 | 25.0 | 29.9 |
| 4 | 과장 | 45.0 | 49.0 | 50.0 | 52.0 | 56.0 | 65.7 | 72.0 | 86.0 | 113.4 |
| | 과경 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.5 | 9.5 | 11.4 | 15.8 | 18.5 |
| 5 | 과장 | 33.0 | 46.0 | 46.0 | 49.0 | 52.0 | 51.6 | 54.0 | 61.6 | 72.0 |
| | 과경 | 4.2 | 6.4 | 6.0 | 6.0 | 6.8 | 7.2 | 7.4 | 7.8 | 11.0 |
| 6 | 과장 | | 37.0 | 39.0 | 47.5 | 53.0 | 62.0 | 67.0 | 84.0 | 107.8 |
| | 과경 | | 5.0 | 5.0 | 5.4 | 6.4 | 7.2 | 8.0 | 10.0 | 14.0 |
| 7 | 과장 | | | | 37.5 | 40.0 | 48.5 | 53.0 | 63.0 | 80.5 |
| | 과경 | | | | 4.5 | 5.2 | 6.0 | 6.7 | 7.7 | 10.5 |

비 파괴적 방법으로 과실의 건물중을 추정하기 위해서 따로 수확한 과실들의 과장, 중간 부위의 과실 반지름 그리고 생과중을 측정하고 과장과 과실 반지름을 이용하여 과실의 부피를 추정하였으며 부피와 생과중의 관계에 대한 모형을 만들었다. 과실의 생체중과 건물중의 관계를 밝히기 위하여 수확한 과실을 4등분하여 절편을 만든 다음 그것의 무게를 측정한 후 건조기에서 완전 건조한 다음 건물중을 측정하였다.

오이의 과실은 실린더형으로 그 부피 (V)는

$$V = \Pi R^2 L,$$

의 식을 통하여 계산하였는데 이때 R은 과실의 반지름이고 L은 과장이다. Marcelis (1992)는 이 방법으로 추정한 과실의 부피와 실제 측정한 과실의 부피가 거의 일치함을 보고하였다. 본 연구의 경우에도 추정한 과실의 부피 (EV)와 실제 측정한 과실의 부피 (V) 사이에는 고도로 유의한 직선관계, 즉

$$EV = 1.1248\ V$$

가 있었는데 (Fig. 8-1), 식에 의해 추정된 부피가 실제 부피보다 높은 것은 과실의 형태가 완전한 실린더형이 아니기 때문이다.

추정된 과실의 부피와 생체중(FWF)의 관계식을 회귀분석을 통하여 구하였는데,

$$FWF = 0.8715\ V$$

을 얻었다 (Fig. 8-2). 또한 과실의 생체중과 건물중(DWF)은 직선적인 관계를 보였는데 회귀분석을 통해,

DWF = 0.0439 FWF

의 관계식을 얻었다 (Fig. 8-3). 위의 식들을 이용하여 과실의 과장과 과경을 이용하여 추정한 조사시기에 따른 생육이 왕성한 개체의 건과중의 변이는 표 8-4에 제시되어 있다. 1번과는 4월 24일에 수확한 것으로 수확전 일인 4월 23일에서 24일까지 5.5g의 건물 증가량을 보였으며, 2번과는 4월 26일 수확한 것으로 수확 전 하루사이에 3.16g의 건물 증가량을, 그리고 3번과는 수확전일 4월 28일부터 하루사이에 4.49g의 건물 증가량을 보였다. 따라서 왕성히 자라는 과일의 건물 축적량은 대략 4 5g $d^{-1}$이 된다. 엽수가 20개인 개체의 총 엽면적은 대략 75 $dm^2$이며 (표 1-11. 참조) 단위 엽면적 당 총 광합성율은 대략 10 μmol $CO_2$ $s^{-1}$ $m^{-2}$이고 호흡율은 총 광합성율의 15%이므로, 10시간 일장하 20개의 엽을 가진 개체의 순 광합성량은 6.87g $CH_2O$ $d^{-1}$ $plant^{-1}$이 되며 이 양은 과실의 탄수화물 구성비를 90%라 할 때 7.63g의 건과중이 자란 것에 해당한다. 표 8-4의 경우 4월 23일과 4월 24일 사이에 총 과실 건물중의 증가량은 7.4g $d^{-1}$로서, 앞의 이론적인 계산과 매우 잘 일치하며, 이는 2개의 과실이 왕성히 자라는 양에 해당하고, 따라서 1개의 과실을 생산하는데 9 10개의 엽이 필요하게 된다.

개 개의 과실 건물중의 증가는 전형적인 exponential growth curve를 보였는데 제 3번과의 생육 일수에 따른 건물 증가량을 나타낸 것이 Fig. 8-4이다. 따라서 총 과실의 건물 증가량도 지수적 생장을 보일 것은 당연한 것이나 성숙과실의 수확에 따른 과실 건물중 증가에 일시적 정지현상을 찾아볼 수 있었다. 표 8-4의 과실 건물중의 증가를 살펴보면 1,2 3번과가 동시에 자라는 4월 23일과 4월 24일에는 하루동안의 총 과실 건물량의 증가는 7.4g이고 3, 6, 7 8번과가 동시에 자라는 4월 28일과 4월 29일의 1일 과실 건물 증가량은 4.67g인 반면에 1번과의 수확 직후인 4월 25일에는 하루 동안에 2.32g, 그리고 2번과의 수확직후인 4월 27일에는 하루동안에 0.94g의 과실 건물 증가량을 보였다.

표 8-4. 과장과 과경을 이용하여 추정한 오이 개체의 시간에 따른 건물 증가량

| 조 사 | 과실 건물중 (g) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 시 기 | 1번과 | 2번과 | 3번과 | 4번과 | 5번과 | 6번과 | 7번과 | 8번과 | 총과실 |
| 4/21 | 3.26 | .41 | .20 | .06 | .04 | .02 | | | 3.99 |
| 4/22 | 5.75 | .77 | .35 | .08 | .07 | .03 | | | 7.05 |
| 4/23 | 6.38 | 1.00 | .31 | .08 | .07 | .02 | | | 7.86 |
| 4/24 | 11.88 | 2.45 | .69 | .09 | .07 | .05 | .03 | | 15.26 |
| 4/25 | 11.88 | 4.08 | 1.37 | .10 | .07 | .05 | .03 | | 17.58 |
| 4/26 | 11.88 | 7.24 | 2.65 | .10 | .06 | .05 | .03 | | 22.00 |
| 4/27 | 11.88 | 7.24 | 3.48 | .10 | .08 | .07 | .05 | .03 | 22.94 |
| 4/28 | 11.88 | 7.24 | 6.26 | .10 | .08 | .11 | .11 | .04 | 25.81 |
| 4/29 | 11.88 | 7.24 | 10.75 | .09 | .08 | .21 | .18 | .06 | 30.48 |

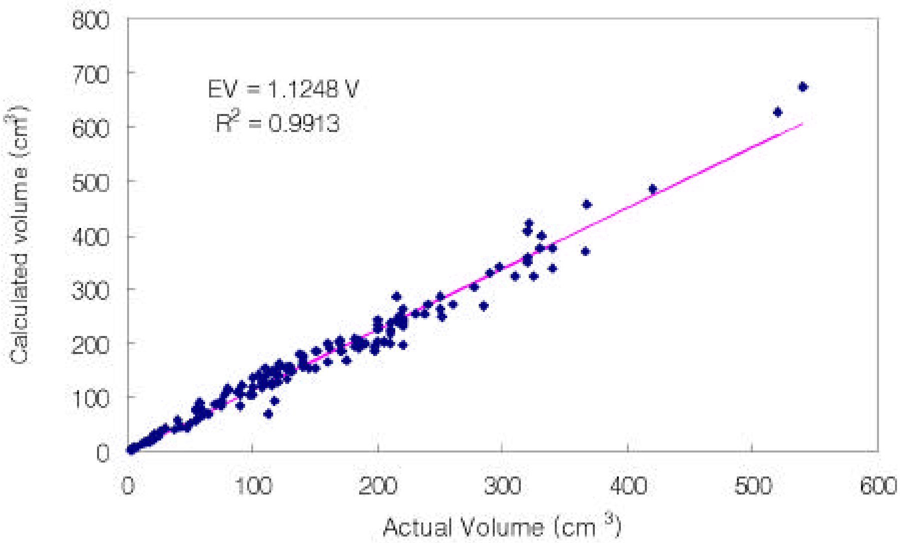



Fig. 8-1. Comparisons of values of actual volume of fruits with calculated values

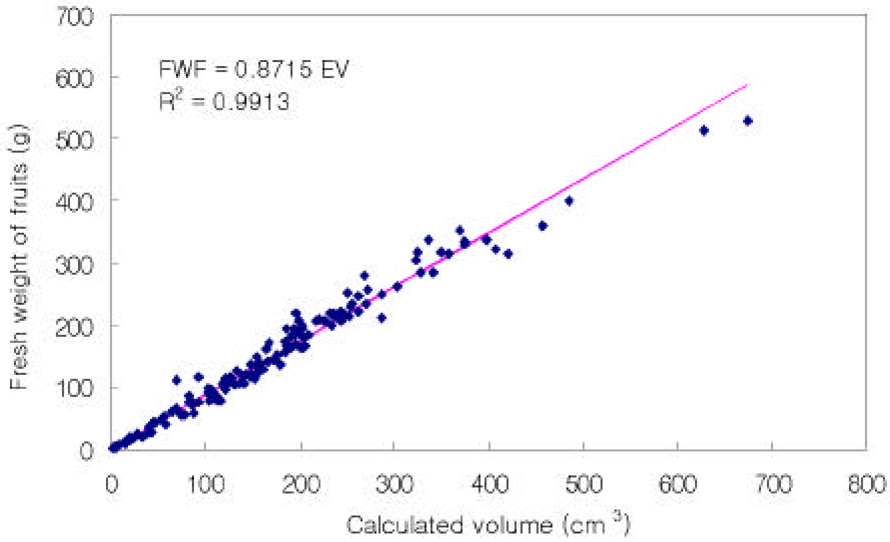



Fig. 8-2. Relationship between calculated volume of fruit and its freshweight.

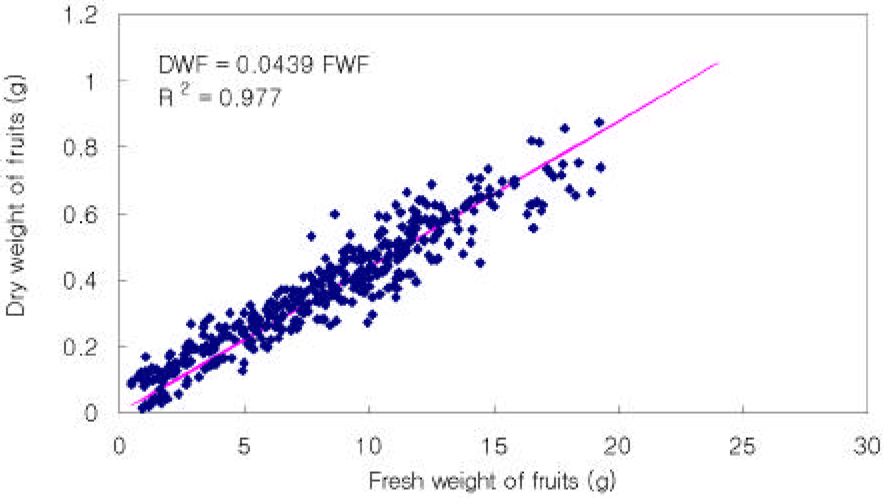



Fig. 8-3. Relationship between fresh weight of fruit and its dry weight

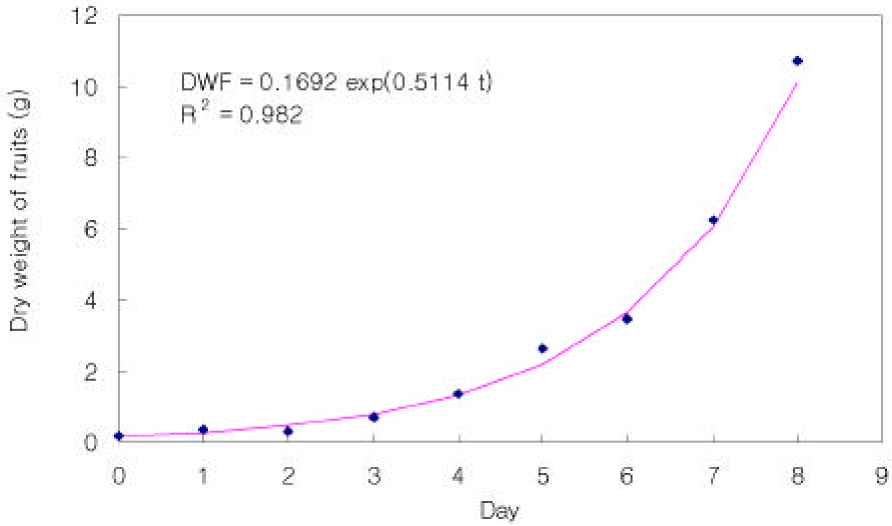



Fig. 8-4. Exponential growth of dry weight of individual fruit

# 제 9 장 과실의 광합성율 및 호흡율과 동화산물의 잎에서 과실로의 이동속도

## 제 1 절 서 론

과실의 총 광합성율이나 총 호흡율은 건과중이 클수록 높게 나타나는데, 이는 광합성을 하는 과실 표면적은 건과중이 클수록 높아지므로 당연한 것이며 호흡 역시 건물중에 비례하기 때문이다. 과실의 크기가 작으면 과중 당 과실 표면적이 상대적으로 넓으며, 과실이 클수록 과실 내부에 포함되는 세포들의 비율이 높아지며, 이 들은 광합성을 하지 못할 뿐 아니라 대기와의 접촉도 용이하지 않아 호흡도 낮아지는 것으로 사료된다. 따라서 효율적으로 광합성 및 호흡을 하는 과실 부위를 유효과실지수라 하면, 이는 과실의 표면적에 비례하고 건물중에 반비례하게 될 것이다. 또한 기온의 변이에 따른 광합성율 및 호흡율의 변이를 측정할 수 있으며, 과실 생장에 소요된 동화산물의 소모비율을 파악하는 것은 동화산물의 과실로의 전이속도를 계산하는데 필요하다. Marcelis 등 (1994)은 과실 생장에 소요되는 탄수화물의 13 15%가 호흡에 의해 소모됨을 보고하였다. 또한 탄수화물의 잎에서 과실로의 이동속도는 100 130㎎ $CH_2O$ $h^{-1}$ 정도라고 Chaffer 등 (1996)이 보고하였다. 따라서 본 연구는 과실 크기에 따른 광합성율과 호흡율, 온도에 따른 광합성율과 호흡율의 변이 및 동화산물의 이동속도 등에 대해서 조사하였다.

## 제 2 절 재료 및 방법

본 연구는 독일의 Heinz Walz GmbH사의 Gas Exchange Measuring

Station을 이용하여, 다양한 크기의 오이 과실들을 온도 20℃에서 총 광합성율과 총 호흡율을 측정하였고, 기온의 변이에 따른 과실의 광합성율 및 호흡율의 변이를 알아보기 위하여 크기가 비슷한 3개의 과실을 12℃에서 시작하여 4℃씩 높여 가면서 32℃까지 호흡율과 광합성율을 측정하였다. 동화산물의 잎에서 과실로의 이동속도는 수확 시기에 채취한 과실의 과장과 과경을 이용하여 추정한 오이 개체의 시간에 따른 건물 증가량을 보인 표 8-4를 이용하여 계산하였다.

## 제 3 절 결과 및 고찰

### 1. 과실의 광합성율 및 호흡율

과실의 탄수화물 구성비를 90%로 보면 2817mg $CH_2O$가 과실로 축적되는 것이 된다. 따라서 과실의 생장에 소요된 동화산물의 과실호흡에의 소모비율은 다양한 크기의 오이 과실을 이용하여 기온 20℃에서 측정한 과실의 총 광합성율, 총 호흡율, 단위 g당 광합성율 그리고 단위 g당 호흡율이 표 9-1에 제시되어 있다. 과실의 총 광합성율이나 총 호흡율은 건과중이 클수록 높아졌는데 이는 광합성을 하는 과실 표면적이 건과중이 클수록 높아지므로 당연한 것이며 호흡 역시 건물중에 비례함은 당연한 것이다. 과실의 총 호흡율에 대한 총 광합성율의 비율은 과실의 크기에 따라 달라졌으며, 표 8-4의 자료에 의하면 0.34  0.71의 범위에 분포하였고 평균은 0.55였다. 이는 과실의 호흡율에 대한 과실 자체의 광합성을 통한 탄수화물의 공급율이 대략 55% 정도임을 말해준다. 과실의 총 광합성율이나 호흡율은 과실의 크기에 비례하므로 과실간 비교를 위해 단위 g당 광합성율과 호흡율을 구해 본 결과 과실이 크면 클수록 이들이 감소함을 알 수 있었다. 이는 과실이 작으면 과중 당 과실 표면적이 상대적으로 넓으며 과실이 클수록 과실 내부에 포함되는 세포들의 비율이 높아지며 이들은 광합성을 하지 못할 뿐 아니라 대기와의 접촉도 용이하지 않아

호흡도 낮아지는 것으로 생각된다. 따라서 효율적으로 광합성 및 호흡을 하는 과실부위를 유효 과실 지수(Index of effectively metaboliting fruit cells, X)라 하면, 이는 과실의 표면적에 비례하고, 건물중에 반비례할 것이다. 즉

$$X = \text{fruit surface area} / \text{fruit dry weight}$$

이다. 유효 과실 지수는 과실이 작을수록 높으며 클수록 낮다. 유효 과실 지수(X)와 단위 g당 광합성율(FPS)은 고도로 유의한 직선관계를 보였는데 (Fig. 9-1), 최소자승법에 의해 추정된 식은

$$FPS = -0.0034 + 0.000293\ X$$

였다. 또한 유효과실지수와 단위 g당 호흡율(FRS)는

$$FRS = -0.0073 + 0.00056\ X$$

로 고도로 유의한 직선식을 얻었는데 (Fig. 9-2), 이는 과실의 단위 g당 광합성율이나 호흡율은 유효 과실 지수에 의해 적절히 설명할 수 있음을 의미한다.

기온의 변이에 따른 과실의 광합성율 및 호흡율의 변이를 알아보기 위하여 크기가 비슷한 3개의 과실을 12℃부터 시작하여 4℃씩 높여 가면서 32℃까지 호흡율과 광합성율을 측정한 결과가 표 9-2에 제시되어 있다. 과실 당 호흡율에 대한 과실 당 광합성율의 비율은 그 평균이 0.54로서 앞의 경우와 비슷한 값을 보였다. 과실의 광합성율과 호흡율은 기온이 증가할수록 높아졌지만 그 증가속도는 호흡율에서 높았다. 기온 12℃에서의 호흡율은 매우 낮아 과실 총 광합성율과 비슷하거나 낮은 값을 보인 반면 기온이 증가함에 따라 호흡율의 증가는 상대적으로 높아 32℃에서는 호흡율이 광합성율의 2 3배에 도달함을 알 수 있었다.

기온의 상승에 따른 단위 g당 광합성율의 변이는 Fig. 9-3에 나타나 있다. 측정에 이용된 3개의 과실들이 크기가 다르고, 많은 변이를 보였지만 28℃의 측정 차에서 최대값을 보였으며 32℃에서는 오히려 감소하는 경향이었다. 기온(temp)에 따른 단위 g당 광합성율(FPS) 반응은

$$FPS = 0.0071 / (1 + 19.0458 \exp(-0.1674\ temp))$$

의 모형을 통해 대체로 설명할 수 있었다. 기온에 따른 과실 단위 g당 호흡율의 변이는 Fig. 9-4에 나타나 있다. 단위 g당 호흡율은 과실의 대소에 크게 영향받지 않고 3개의 과실이 비교적 비슷한 증가곡선을 보였으며 기온이 높아질수록 증가하였다. 기온에 따른 단위 g당 호흡율(FRS)의 반응은

$$FRS = 0.0160 / (1+241.788 \exp(-0.2938\ temp))$$

은 식으로 비교적 잘 설명되어질 수 있었는데, 광합성율의 반응식과 비교해 볼 때 온도의 상승에 따른 증가 속도가 훨씬 급격한 것을 알 수 있었다.

호흡과실의 생장에 소요된 동화산물의 소모비율을 파악하는 것은 동화산물의 과실로의 전이속도를 계산하는데 필요하다. 표 9-1의 자료에 의하면 다양한 과실에 의한 과실 총 호흡율의 평균은 0.0863μmol $CO_2$ $s^{-1}$ $fruit^{-1}$이다. 이것은 223mg $CH_2O$ $d^{-1}$ $fruit^{-1}$ (0.0863 x10-6 x 44g/mol x 30/44 x 3600 sec/hr x 24 hr/d)에 해당하며 표 8-4의 경우 한 개체에 대략 2개의 과실이 동시에 자라므로 한 개체의 과실들에 의한 하루동안의 호흡량은 446mg $CH_2O$ $d^{-1}$ $plant^{-1}$이 된다. 한 개체의 하루동안 과실건물중의 증가는 3.31g 정도이며 (표 8-4),

$$446/(2979) = .1497$$

로서, 이는 과실로의 전이 탄수화물 중 약 15%가 과실의 호흡으로 소모됨을 의미한다. Marcelis 등(1994)은 과실 생장에 소요되는 탄수화물의 13  15%가 호흡에 의해 소모됨을 보고하였는데 이것은 본 연구의 결과와 일치한다.

2. 동화산물의 잎에서 과실로의 이동속도 (transpiration rate)

표 8-4에 의하면 총 과실 중은 4월 21일 3.99g에서 8일 후인 4월 29일 30.48g로 증가하여서 과실중의 하루 평균 증가량은 3.31g d-1로 계산할 수 있다. 과실건물중의 90%가 탄수화물로 구성되었다고 가정하면 이 양은 2.98 g $CH_2O$ d-1의 속도로 동화산물이 과실 생장에 소모되었음을 의미한다. 여기에 과실의 호흡율을 과실에 생장에 이용되는 동화산물의 15%로 계산하고, 과실의 광합성율을 호흡율의 50%로 계산하면 이동탄수화물의 7.5%가 호흡에 소모됨을 의미한다. 따라서 탄수화물의 잎에서 과실로의 이동속도는 133 mg $CH_2O$ h-1가 (2979mg $CH_2O$ d-1 x 1.075/(24 h d-1))된다. Chaffer 등(1996)은 100  130mg $CH_2O$ h-1의 속도로 동화산물이 잎에서 과실로 이동함을 보고한 바 있다.

표 9-1. 20℃기온에서 과실 크기에 따른 과실의 광합성율 및 호흡율

| 과실건물중 (g) | 과실 총광합성율 (µmol $CO_2$ fruit-1s-1) | 과실 총호흡율 (µmol $CO_2$ fruit-1s-1) | 과실1g 광합성율 (µmol $CO_2$ g-1s-1) | 과실1g 호흡율 (µmol $CO_2$ g-1s-1) |
|---|---|---|---|---|
| 7.891 | .040530 | .082410 | .005136 | .010444 |
| 7.485 | .034950 | .052050 | .004669 | .006954 |
| 8.464 | .048840 | .096960 | .005771 | .011456 |
| 20.547 | .043680 | .081360 | .002126 | .003960 |
| 17.931 | .051270 | .152760 | .002859 | .008520 |
| 19.969 | .051990 | .124440 | .002604 | .006232 |
| 12.056 | .052710 | .086130 | .004372 | .007144 |
| 10.814 | .049050 | .088020 | .004536 | .008140 |
| 9.432 | .061260 | .086610 | .006495 | .009183 |
| 5.243 | .039900 | .072510 | .007610 | .013830 |
| 4.701 | .033690 | .065550 | .007167 | .013944 |
| 4.563 | .031410 | .046890 | .006883 | .010275 |

표 9-2. **온도에 따른 과실의 광합성율 및 호흡율의 변이**

| 온도 (℃) | 건과중 (g) | 과 실 총광합성율 (μmol CO2 fruit-1s-1) | 과 실 총호흡율 (μmol CO2 fruit-1s-1) | 과 실 1g 광합성율 (μmol CO2 g-1s-1) | 과 실 1g 호흡율 (μmol CO2 g-1s-1) |
|---|---|---|---|---|---|
| 12.0 | 4.450 | .013380 | .010740 | .003007 | .002413 |
| 12.0 | 5.901 | .012900 | .015060 | .002186 | .002552 |
| 12.0 | 6.559 | .015480 | .015660 | .002360 | .002388 |
| 15.9 | 4.450 | .014340 | .018210 | .003222 | .004092 |
| 16.0 | 5.901 | .010980 | .019680 | .001861 | .003335 |
| 16.0 | 6.559 | .017520 | .026820 | .002671 | .004089 |
| 20.0 | 4.450 | .026910 | .050160 | .006047 | .011272 |
| 20.0 | 5.901 | .014400 | .059970 | .002440 | .010163 |
| 20.0 | 6.559 | .020010 | .072000 | .003051 | .010978 |
| 23.9 | 4.450 | .032430 | .058530 | .007287 | .013153 |
| 24.0 | 5.901 | .023520 | .069270 | .003986 | .011739 |
| 24.0 | 6.559 | .033360 | .082350 | .005086 | .012556 |
| 27.9 | 4.450 | .040950 | .070800 | .009202 | .015910 |
| 27.9 | 5.901 | .030690 | .077250 | .005201 | .013092 |
| 27.9 | 6.559 | .038850 | .093300 | .005923 | .014225 |
| 31.9 | 4.450 | .035670 | .080850 | .008016 | .018168 |
| 32.0 | 5.901 | .025350 | .085980 | .004296 | .014571 |
| 32.0 | 6.559 | .034590 | .108150 | .005274 | .016490 |

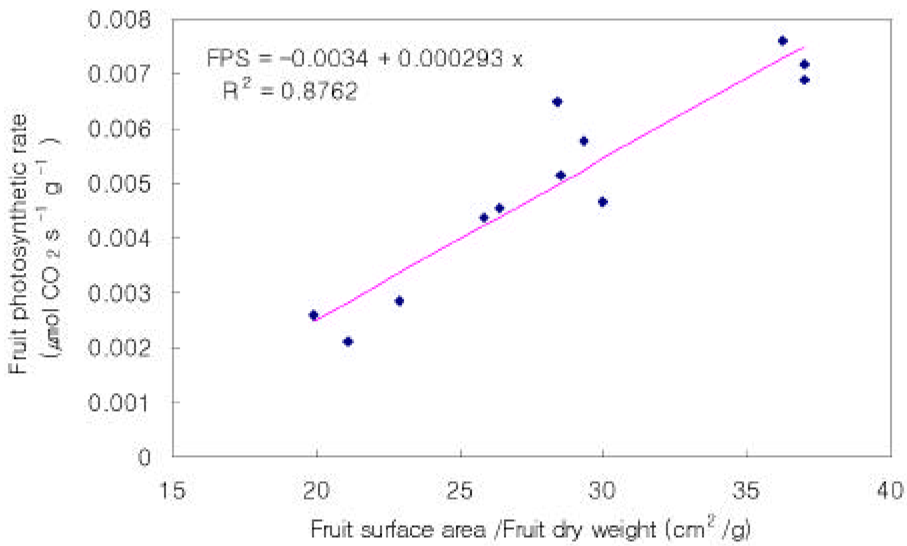



Fig. 9-1. Relationship between fruit photosynthetic rate (FPS) and index of effectively metaboliting fruit cells (X).

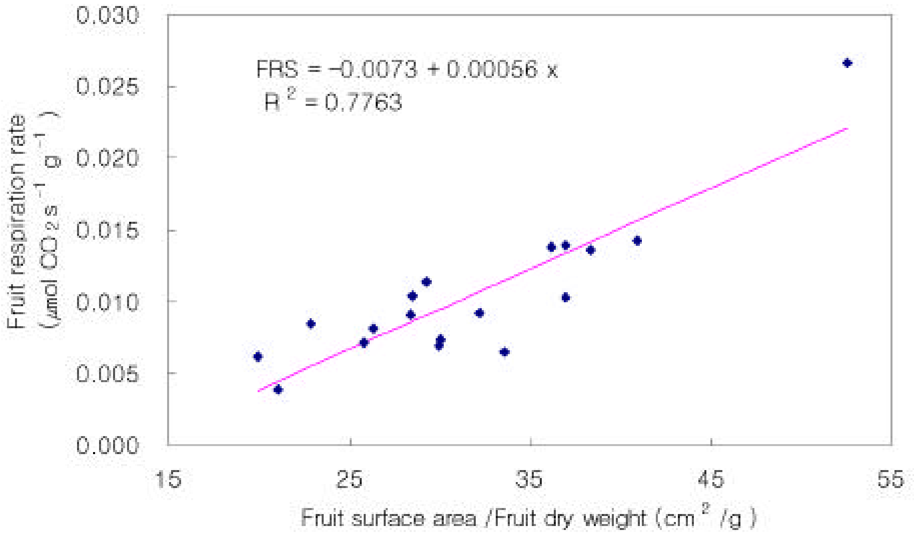



Fig. 9-2. Relationship between fruit respiration rate (FRS) and index of effectively metaboliting fruit cells (X).

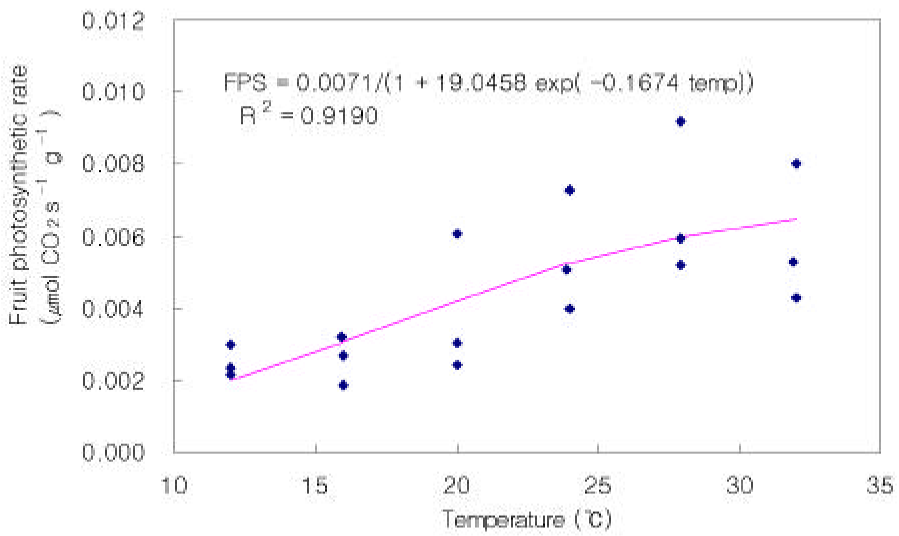



Fig. 9-3. Variations of fruit photosynthetic rate under different air temperature.

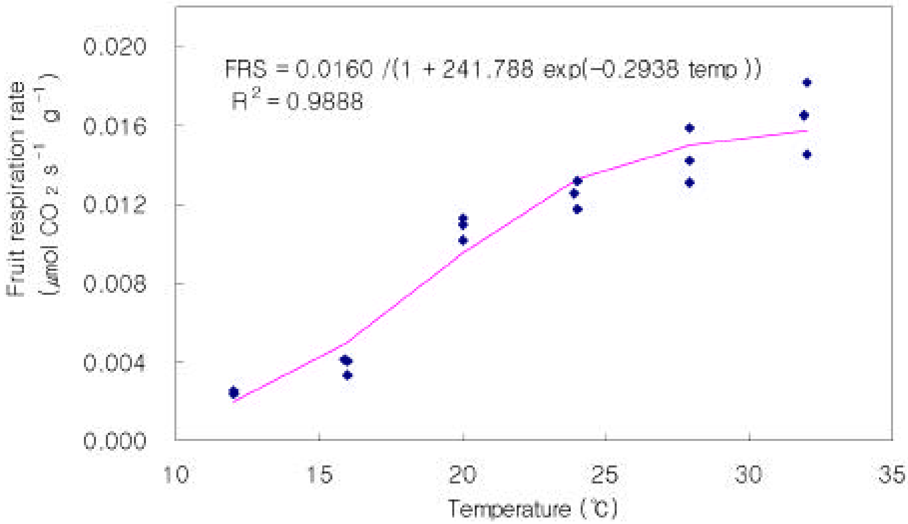



Fig. 9-4. Variations of fruit respiration rate under different air temperature.

# 제 10 장 환경조건에 따른 오이의 수량예측모형

## 제 1 절 서 론

생장상에서 양액의 N농도에 따른 오이의 생육반응이나 광 환경의 차이에 따른 생육반응을 살펴본 결과 지상부 건물중, 엽중, 경중 그리고 근중의 생육은 지수적 생장을 보였다. 기관별 동화산물의 분배비율을 살펴볼 때 기능적 평형(functional equilibrium)에 의해 비교적 잘 설명되어 졌다. 지상부 (shoot)와 지하부 (root)의 생장에 있어서 상호의존적 현상은 기능적 평형에 의해 잘 설명되어져 왔으며 많은 연구자에 의해 식물생장모형을 설정되는데 이용되어 왔다. 식물의 생장은 잎에서 동화한 탄수화물과 뿌리에서 흡수한 염기, 특히 질소에 의해 이루어진다. 기능적 평형이란 이러한 생장에 필수적인 물질의 이용은 그것을 동화하거나 흡수하는 기관에서 우선적으로 이루어진다는 가설이다. 양액의 질소농도가 높을 때 뿌리의 질소흡수가 많아지고 따라서 지상부로의 질소이동도 많아진다. 잎에서 동화된 탄수화물은 우선적으로 잎 또는 지상부 생육에 이용되므로 지상부의 생육이 왕성해져 많은 탄수화물이 소모된다. 지상부에서 탄수화물이 많이 소모된 만큼 뿌리로의 탄수화물의 전이 (translocation)가 적어지며 따라서 지하부 생육이 상대적으로 저조해져 shoot/root 비율이 커진다. 양액의 N농도가 낮을 경우 뿌리에서 N흡수율은 상대적으로 낮아지므로 그만큼 지상부로의 이동이 적어진다. 따라서 지상부 생육은 낮아지고 탄수화물의 여분은 많아지며 그만큼 뿌리에서 탄수화물 전이가 증가하게 된다. 뿌리에서는 우선적으로 질소를 이용하므로 뿌리의 생육은 탄수화물의 전이가 증가된 만큼 높아지게 되며 따라서 shoot/root 비율은 낮아진다. 광조건이 좋을 경우에는 지상부에서의 광합성율이 증가하게 되며 잎의 질소함량에 걸맞는 생육은 이루어지나 보다 많은 양의 탄수화물이 뿌리로 전이되게 되며 그만큼 뿌리의

생육은 많아지고, 따라서 shoot/root 비율이 낮아진다. 반면에 광이 낮은 조건에서는 광합성율이 낮아지며, 이에 따라 동화산물의 양은 감소하게 되나 동화산물은 우선적으로 지상부에서 이용되므로 뿌리에로의 이동은 그만큼 감소하게 된다. 따라서 뿌리의 생육은 상대적으로 낮아서 이 경우 shoot/root 비율은 높아지게 된다. 이것이 지상부 및 지하부 환경조건에 따라 생기는 shoot/root 비율의 변이를 설명하는데 이용되는 기관간 기능적 평형이다.

환경조건의 변이에 따른 식물생장에 소요되는 자원, 즉 동화산물이나 질소의 유용도에 따른 식물체 기관의 가변적 생장에서의 변이, 즉 shoot/root 비율의 변이를 설명하는데 일반적으로 전술한 기관간 기능적 평형 (Lim 등, 1990), 최적 자원 분배이론 (teleonomic approach of optimal resource allocation) (Johnson and Thornley, 1987), 그리고 자원분배에 관한 cost/benefit 분석 (Givnish, 1986)의 세 가지 이론이 이용되어 왔다. 외부 환경조건, 즉 일사량, 기온, 대기 $CO_2$ 농도, 그리고 양액의 N농도 등의 변이에 따른 shoot/root 비율의 변이를 설명하고 매 순간 변하는 환경에 동적으로 반응하는 식물체 생장을 예측하기 위해서는 생장모형을 세우는데 기능적 평형의 가설을 이용하는 것이 보다 합리적이다. 그 이유는 매순간 변하는 환경조건은 광합성량에 영향하고 이것은 또한 동화산물의 기관별 농도에 영향하며 기관별 농도의 차이는 그 기관의 생장에 즉각적으로 반영되기 때문이다. 본 연구에서는 기능적 평형을 이용하여 오이의 식물생장모형을 설정하고 매 순간 변화하는 외부환경의 조절을 통한 최적생산을 이루는데 적절한 모형이 되도록 하였다.

## 제 2 절 재료 및 방법

### 1. 오이의 생장모형

#### 가. 수리적 모형의 설정

본 모형에서는 Fig. 10-1에 나타난 모형을 근간으로 설정되었다. 상태변수

(state variable)는 건과중, 지상부중 (shoot dry weight), 근중, 과실의 가용탄수화물 (soluble $CH_2O$) 농도, 지상부 가용탄수화물 농도, 뿌리의 가용탄수화물 농도, 과실의 가용질소 (soluble N) 농도, 지상부 가용질소 농도, 뿌리의 가용질소 농도, 그리고 지상부의 저장탄수화물(storage $CH_2O$) 농도의 10개로 구성된다.

### 나. 오이 기관의 생장

앞의 실험에서 지상부 환경과 지하부 환경의 변이를 주었을 때 일어나는 Shoot/Root 비율은 비교적 잘 기능적 평형에 의해 설명되어 진다. 따라서 지상부 건물중을 $W_s$, 지하부 건물중을 $W_r$, 그리고 과실의 건물중을 $W_f$라 하면 이들의 생장율은 지수적 생장을 따르므로 다음과 같은 모형으로 설명할 수 있다.

$$dW_s/dt = k_s\ C_s\ N_s\ W_s,$$

$$dW_r/dt = k_r\ C_r\ N_r\ W_r,$$

$$dW_f/dt = k_f\ C_f\ N_f\ W_f$$

이때 $k_s$, $k_r$, 그리고 $k_f$는 상수이며, $C_s$, $C_r$, 그리고 $C_f$은 각각 지상부, 뿌리, 그리고 과실의 가용탄수화물 농도이며 $N_s$, $N_r$ 그리고 $N_f$은 각각 지상부, 뿌리 그리고 과실의 가용질소 농도이다.

### 다. 오이의 엽출현 속도, 그리고 개화

적산온도는 작물의 생육단계를 진단하는데 빈번히 이용된다. 본 연구에서는 정식일부터 일 최저기온 ($T_{min}$)과 일 최고기온 ($T_{max}$)을 이용하여 오이의 엽수를 추정하였는데, 이때 적산온도 (AC)의 계산은 다음과 같다.

$$AC = \sum (T_{min} + T_{max})/2$$

정식일로부터 출현 엽수의 조사일까지의 적산온도를 계산하고, 해당 출현엽수와의 회귀분석을 통하여 엽출현 속도를 계산하였던 바 2월 초순에 파종하여 3월 초순에 정식한 조숙재배에 있어서는 엽출현수 (NL)와 적산온도간에는 고도로 유의한 직선관계, 즉,

$$NL = -4.1782 + 0.0216\ AC,\ (R2 = 0.9729,\ df=54)$$

를 보였다. 개화시기는 조숙재배의 경우 정식일로 부터 적산온도 620 625℃에 도달하였다. 개화시기는 출현엽수와 밀접한 관계가 있어 대체로 엽수가 8 9일 때 개화한다. 본 모형에서는 적산온도를 계산하여 출현엽수를 계산하고 엽수가 9에 달할 때 생식생장이 시작되는 것으로 하였다.

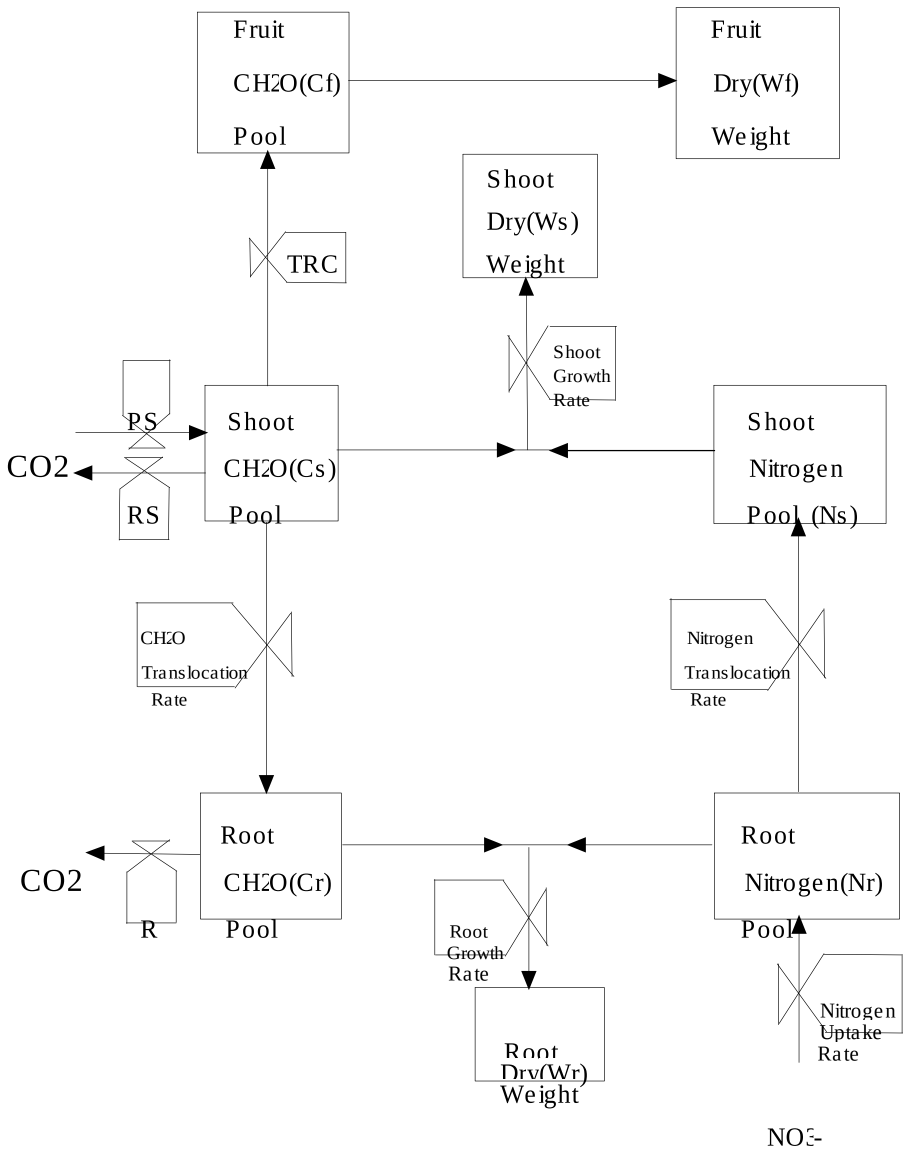



Fig. 10-1. System diagram

라. 군락상태에서의 총 광합성율

모형의 간결성을 위해 지상부 건물중을 상대변수로 두었지만, 단위면적당 생산량을 추정하기 위해서 정확한 엽면적의 추정은 필수적이다. 식물생장에 관한 연구에서 보편적으로 관찰되는 현상은 줄기의 상대 생장율이 잎의 상대 생장율보다 크다는 것이다. 따라서 생육이 진전될수록 leaf/shoot 비율이 점점 낮아지게 되는데 구조 역학적으로 실린더형의 초형을 가진 식물체가 지상에 서기 위해서는 줄기의 건물중은 초장의 4승에 비례해야 한다고 볼 때 당연한 현상이다 (Tilman, 1988). 이러한 현상은 본 연구의 오이에서도 나타나 엽중/지상부중의 비율은 생육이 진전됨에 따라 점점 감소하였다. 개체의 엽중/지상부중의 비율 (Rls)과 정식일로부터 생육일수 (t)와의 회귀분석에서 전술한 바와 같이

$$Rls = 0.7372 - 0.00193\ t$$

를 얻었으며(Fig. 10-2), 따라서 시간에 따른 엽중 (WI)은

$$WL = Rls \cdot Ws$$

로 추정하였다. 추정된 엽중을 이용하여 엽면적 지수(LAI)를 추정하였는데, 그 식은

$$LAI = (11.831 + 1.6832\ WL)/PS,$$

이었으며, 이때 PS는 재식거리이다. 또한 LAI에 따른 광의 소멸계수는 -0.3427로서 LAI하의 광량은 $I = I0\ exp(-0.3427\ LAI)$ 이었는데, 이때 I0는 입사광량이다. 따라서 군락상태에서 개체의 총 광합성율(Pg)는

$$Pg = \int_0^{LAI} GPL(l)dl$$

이 되는데, 이때 GPL은 잎의 총 광합성율이며, LAI는 총 엽면적 지수이고, l은 누적 엽면적 지수이다.

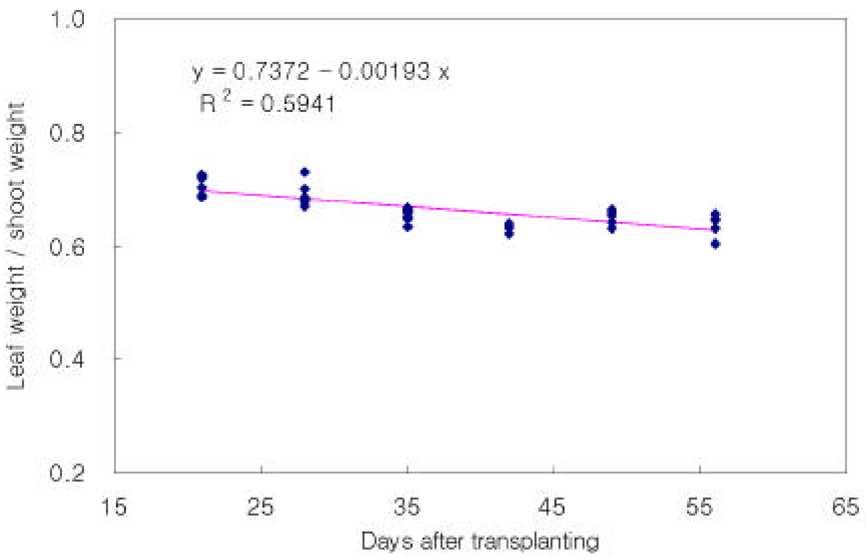



Fig. 10-2. Temporal variation of leaf weight/shoot weight ratio.

광량, $CO_2$농도 그리고 기온에 따른 잎의 총 광합성율은 (GPL1)

$$GPL1 = 38.8688\ T/(7.5397 + T)\ L/(240.1649 + L)\ (1-0.8865\ \exp(-0.0018\ CO_2)),$$

로 추정되었고, 또한 엽중질소농도에 따른 잎의 총 광합성의 반응은

$$GPL2 = 24.743/(1 + 6.0343\ \exp(-0.3689\ Ns))$$

으로 추정되었다. GPL1과 GPL2를 통합하여 광량, 기온, 대기 $CO_2$농도 그리고 엽중농도를 변수로 한 엽의 총 광합성율은

$GPL = 1.7858/(1 + 5.1729 \exp(-0.4161\ Ns)) \cdot GPL1$, ($\mu mol\ CO_2\ (m^2\ leaf)^{-1}\ s^{-1}$),

로 추정되었는데 (Fig. 10-3), 이때 Ns는 엽중질소함량이다. 따라서

$$Pg = \int_0^{LAI} 1.7858/(1 + 5.1729 \exp(-0.4161\ Ns)) \cdot GPL1\ dl$$

$$= 69.4119\ T/(7.5397 + T)(1 - 0.8865 \exp(-0.0018\ CO_2)) \cdot$$

$$1/(1 + 5.1729 \exp(-0.4161\ Ns)) \int_0^{LAI} I/(240.1694 + I)\ dl$$

Thornley 등 (1990)에 의하면

$$Pg = 69.4119T/(7.5397+T)(1-0.8865 \exp(-0.0018\ CO_2)) \cdot$$

$$1/(1 + 5.1729 \exp(-0.4161\ Ns))*P, \ (\mu mol\ CO_2\ (m^2\ ground)^{-1}\ s^{-1}),$$

이때, $P = 1/k \ln((\alpha k\ Io + 69.4119(1-m))/(\alpha k\ Io \exp(-k\ LAI) + 69.4119(1-m)))$가 되고, k는 소멸계수이며, α는 상수 (photochemical efficiency)이고, m은 엽의 투광계수 (transmission coefficient)이다. 이는 단위의 변환을 통해

$$Pg = Pm*T/(7.5397 + T)(1 - 0.8865 \exp(-0.0018\ CO_2)) \cdot$$

$$1/(1 + 5.1729 \exp(-0.4161\ Ns))*P, \ (g\ CH_2O\ (m^2\ ground)^{-1}\ h^{-1}),$$

이때 $P = 1/k \ln((\alpha k\ Io + Pm(1-m))/(\alpha k\ Io \exp(-k\ LAI) + Pm(1-m)))$이 되는데

$$Pm = 69.4119*10^{-6} mol*44g/mol*0.68*3600\ s\ h^{-1}$$

$$= 7.4765(g\ CH_2O(m^2\ ground)^{-1}\ h^{-1}) \ \text{------------------------} (1)$$

가 된다.

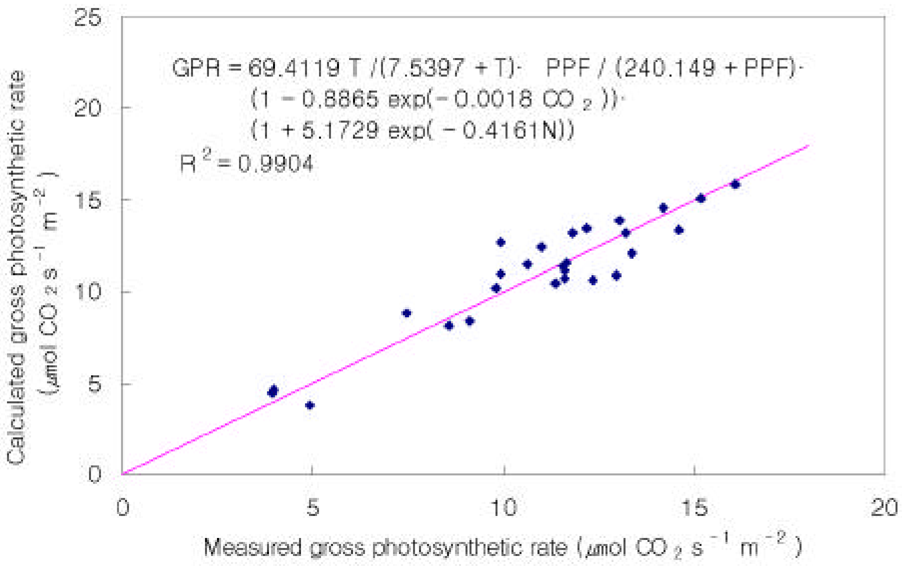



Fig. 10-3. Comparisons of measured gross photosynthetic rate and calculated values by the model equation including variations of light, temperature, CO2 concentration and nitrogen content in leaves

동화산물의 소비량의 크기 (sink demand)에 따른 엽의 광합성반응에는 서로 상반된 연구 결과들이 보고되어 왔다. Marcelis (1991)에 의하면 식물체에 달려있는 과실수를 조절한 후 엽의 광합성율과 엽의 탄수화물농도를 측정한 결과 과실의 제거에 따른 순광합성율이나 엽중 탄수화물농도에서의 차이를 밝혀내지 못했고 따라서 광합성율에의 최종산물에 의한 억제 (feedback inhibition 또는 end-product inhibition)은 없다고 보고하였다. 그러나 Janoudi 와 Widders (1993)는 하우스나 포장 조건에서 과실이 달린 개체의 광합성율이 과실을 제거한 개체의 광합성율보다 대략 25% 높은 것을 보고하였다. 이들은 단위 엽면적당 광합성율 뿐 아니라 식물체 기관별 건물중도 조사하였는데 과실이 달린 오이의 엽면적은 과실이 없는 개체의 엽면적에 비하여 유의하게 적었으나, 총 건물생산량은 두 조건 하의 개체들간 차이가 없어 과실이 달린 개체

의 단위 엽면적당 광합성율이 월등히 높았음을 주장하였다. 오이에서의 과실의 유무에 따른 광합성율의 반응에서 Barrett 등 (1978), Ramirez 등 (1988), 그리고 Pharr 등 (1985)도 이와 비슷한 연구 결과를 보고한 적이 있다. 본 연구에서 sink demand가 클수록 단위 엽면적당 광합성율이 높다는 가설을 받아들이고 이를 모형에 포함시켰다. sink demand가 높을 때는 체관을 통한 동화산물이 많아진다 (Thone and Koller, 1974). 따라서 sink demand의 크기에 따른 효과는 지상부의 가용성 탄수화물의 농도에 즉각 영향하므로 이것의 크기가 가용성 탄수화물 농도의 크기를 좌우하게 된다. 즉, 가상의 지상부 탄수화물 농도의 최대값 Csmax를 설정하면 Csmax와 실제 지상부 탄수화물 농도 Cs의 차이가 크면 클수록 sink demand가 높은 것이 된다. 따라서 sink demand의 크기에 따라 광합성율이 비례하여 증가하는 모형은 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$Tpg = \beta (Csmax - Cs)\ Pg,$$

이때, Tpg는 sink demand의 효과를 고려한 단위 지표면적당 총 광합성율이고, β는 비례상수이다.

마. 군락상태에서의 호흡율(R)

호흡율(R)은 전술한 바와 같이

$$R = 0.0734\ dW/dt + 7.6618\ \exp(0.093\ T)W,\ (\mu mol\ CO_2\ plant^{-1}\ h^{-1})$$
$$= 0.0734\ dW/dt + 0.000229\ \exp(0.093\ T)W,\ (g\ CH_2O\ plant^{-1}\ h^{-1})$$

를 추정한 바 있다. 따라서 지상부 호흡율(Rs1)은 다음과 같다.

$$Rs1 = 0.0734\ dWs/dt + 0.000229\ \exp(0.093\ T)Ws,$$

지상부의 호흡을 야간에 측정하였던 바 이것은 지상부의 호흡기질의 농도에 따라 많은 차이가 있었다. 야간이 시작되는 시점에서의 호흡율이 0.025 μmol $CO_2$ $g^{-1}$ $h^{-1}$ 인데 비하여 익일 아침의 호흡율은 0.013 μmol $CO_2$ $g^{-1}$ $h^{-1}$에 불과하여 야간시작점의 1/2에 해당하였다. 야간 시작점에서의 전분함량은 대략 20%이었으며 익일 아침의 전분함량은 대략 15%이었는데 이러한 호흡기질의 농도 차이가 호흡율에서의 차이를 유발하는 것으로 사료된다. 따라서 이러한 효과를 포함시킨 지상부 호흡은 ($R_s$) 다음과 같다.

$$R_s = (a + b\ S)\ R_{s1}$$

이때, S는 지상부 전분 함량이며, a와 b는 상수이다.

지하부, 즉 뿌리의 호흡율($R_r$)은

$$R_r = 0.0734\ dW_r/dt + 0.00339\ \exp(0.093\ T)W_r + R_N$$

이 되는데, 이때 T는 기온(℃)이며 $R_N$은 질소 흡수 호흡율이다. 뿌리의 질소 흡수 호흡율($R_N$)은 이미 추정하였던 바 다음과 같다.

$$R_N = 0.5552\ dN/dt$$

과실의 호흡율은 과실의 생장에 이용되는 탄수화물의 15%로 밝혀져 있으며 과실의 총 호흡량의 50%는 과실자체의 광합성에 의해 공급되는 것으로 나타났다. 따라서 과실의 호흡율 ($R_f$)는 다음의 식으로 계산할 수 있다.

$$R_f = 0.075\ dW_f/dt$$

바. 뿌리에서의 질소 흡수

수경재배의 경우 장 시간에 걸친 질소흡수율은 수경액의 N농도의 증가에 따라 증가하는 sigle phase 흡수를 보이며 Michaelis - Menten식에 의해 설명할 수 있다 (Edwards and Asher, 1974 ; Clement 등 1978; Raper 등 1976 ; Pitman, 1976). 즉, 단위 그램의 뿌리에서의 질소 흡수율로 V라 하면,

$$V = V_{max} N/(k_n + N)$$

이 된다. 그러면 전체 뿌리에서 흡수되는 질소의 흡수율 ($U_n$)은

$$U_n = V_{max} N W_r/(k_n + N)$$

이 된다. 그런데 질소의 흡수는 동화산물의 호흡을 통해 얻어지는 에너지의 소모를 필요로 하므로 (Minotti and Jackson, 1970; Jackson 등, 1976b; Pearson and Steer, 1977), 뿌리의 질소 호흡율은 뿌리의 가용탄수화물 농도에 비례할 것이다. 따라서

$$V_{max} = \ell C_r/(K_c + C_r)$$

이다. Jackson 등 (1976a)에 의하면 $NO_3^-$ 의 순흡수율은 능동적 흡수에 의해 식물체에 들어오는 양과 원형질막을 사이에 두고 일어나는 뿌리 안과 밖의 $NO_3^-$ 농도차에 의한 수동적 확산에 의한 $NO_3^-$ 의 배출에 의해 결정된다고 하며, 특히 수경재배에 있어서는 수동적으로 배출되는 $NO_3^-$ 의 양이 상당히 많다고 한다. 이러한 뿌리세포와 수경액의 N 농도차는 가상의 지하부 (뿌리) 가용 질소 함량 $N_{max}$ 과 지하부 가용 질소 함량과의 차로 대신할 수 있으며, 따라서 순질소흡수율은

$$V_{rmax} = \varrho (N_{rmax} - N_r) C_r / (K_c + C_r)$$

로 표현할 수 있다.

### 사. 지상부 가용탄수화물의 타기관에의 분배

가용탄수화물($CH_2O$)는 체관을 통해 지상부에서 지하부로 전이되며, 이것은 다시 물관을 통해 뿌리에서 지상부로 이동한다. 본 연구에서는 가용탄수화물의 지상부에서 지하부로의 순 전이율(net translocation rate)만 고려하기로 한다. 지상부에서 타기관으로의 가용탄수화물의 전이율(net translocation rate)를 T라 하면, T는 지상부 동화산물의 다소(source strengh) 비례하고, 탄수화물의 소비처의 요구도에 비례하는 것으로 알려져 있다. 지상부 동화산물의 다소는 지상부 가용탄수화물의 농도로 대신할 수 있으며 소비처의 요구도 (sink demand)는 그 기관의 가상의 탄수화물 농도의 최대값 $C_{rmax}$를 설정하고 $C_{rmax}$와 실제 탄수화물 농도와의 차이로 대신할 수 있다. 즉,

$$T_{cr} = \Phi_r C_s (C_{rmax} - C_r)$$

$$T_{cf} = \Phi_f C_s (C_{fmax} - C_f)$$

가 되며, 이때 $T_{cr}$과 $T_{cf}$는 각각 뿌리와 과실로의 순 전이율을 말하며, $\Phi_r$과 $\Phi_f$는 상수이고, $C_{rmax}$와 $C_{fmax}$는 각각 뿌리와 과실의 가상의 최대 가용탄수화물 농도이다.

### 아. 가용탄수화물의 저장탄수화물로의 분배

지상부 식물체의 저장탄수화물은 낮동안에 엽록체에 축적하게 되는데 이것은 밤에 이루어지는 식물체 생장의 에너지원으로 이용된다. 가용성탄수화물의 저장탄수화물로의 변환율을 $F_{cs}$ 그리고 저장탄수화물의 가용탄수화물로의 변환율을 $F_{sc}$라 하면 $F_{cs}$는 지상부 가용탄수화물의 농도와 지상부 저장탄수화물의

요구도와 비례하는 것으로 나타낼 수 있었다. 즉, 낮 동안에는

$$F_{cs} = \Phi_d C_s (S_{max} - S)$$

로 표현되는데, 이때 $\Phi_d$는 상수이며, $S_{max}$ 는 가상의 최대 저장탄수화물 농도이며, 따라서 $S_{max}-S$는 저장탄수화물 요구도이다.

개체의 지상부 생장 및 유지를 위한 가용탄수화물의 요구량을 D라 하면,

$$D= R_s + U_s + T_{cr} + T_{cf} + C_s\, dw_s/dt$$

가 되며, 이때 $U_s$는 지상부 생장에 소모되는 탄수화물의 양이며, $C_s\, dW_s/dt$는 자라고 있는 지상 부위의 탄수화물의 양을 의미한다. 밤 사이에 이루어지는 저장탄수화물의 가용탄수화물로의 변환율 $F_{sc}$는 저장탄수화물의 농도와 D에 비례하며 지상부 가용탄수화물 농도에 반비례하는 것으로 표현된다. 즉, 밤에는

$$F_{SC} = \Phi_n D(C_{smax} - C_s)S,$$

로 표현되는데, 이때 $\Phi_n$는 비례상수이다.

자. 가용탄수화물 및 가용질소의 식물체 생장에로의 이용

Penning de Vries등 (1979)에 의하면 식물체 1g은 0.92g의 탄수화물로 이루어졌다고 한다. 지상부, 뿌리 그리고 과실을 형성하는데 이용되는 탄수화물양을 각각 $U_s$, $U_r$, 그리고 $U_f$라 하면 이들은 다음과 같다.

$$U_s = 0.92\ dw_s/dt,$$
$$U_r = 0.92\ dw_r/dt$$
$$U_f = 0.92\ dw_f/dt$$

Tolley-Henry and Raper(1986)에 의하면 외부에서 질소를 공급하지 않고 수경재배를 했을 때 콩뿌리의 질소농도의 최소값은 0.0171g/g이었다. 또한 Hanway and Weber (1971)에 의하면 근류균이 없고 질소비료를 주지 않은 콩에서 잎, 줄기 그리고 뿌리의 질소농도는 각각 1.0, 0.5 그리고 1.3%이었다. 본 연구에서는 오이의 기관 별 구조에 이용되는 질소량이 같다고 보고 또한 구조 질소농도를 1.5%로 가정하였다. 지상부, 뿌리 그리고 과실을 형성하는데 이용되는 질소량을 각각 $U_{sn}$, $U_{rn}$ 그리고 $U_{fn}$이라 하면 이들은 다음과 같다.

$$U_{sn} = 0.015\ dw_s/dt,$$

$$U_{rn} = 0.015\ dw_r/dt,$$

$$U_{fn} = 0.015\ dw_r/dt$$

### 차. 질소의 기관별 분배

질소는 뿌리에서 흡수되어 물관을 통해 지상부로 이동하고 또한 체관을 통해 지상부에서 뿌리로 이동하는 순환을 보인다. 순환하는 질소의 양은 흡수되는 질소량과 노엽에서 분해되어 어린 잎으로 이동하는 질소량 그리고 동화된 질소량 간의 균형을 통해서 이루어진다 (Simpson 등, 1982). 본 연구에서는 모형의 간결성을 위해 뿌리에서 지상부로 이동하는 질소만을, 즉 질소의 순 이동율(net translocation rate)만 고려하기로 한다. 뿌리에서 지상부로의 질소 이동율 ($N_{rs}$)은 뿌리의 질소농도와 지상부의 질소요구도에 비례한다고 한다. 즉

$$N_{rs} = \lambda_{rs}\ (N_{smax} - N_s)\ N_r$$

로서, $\lambda_{rs}$는 상수이고 $N_r$은 뿌리의 질소농도이며, $N_{smax}$는 가상의 최대 지상부 N농도이며, $N_{smax} - N_s$는 지상부의 질소요구도의 척도이다.

지상부(shoot)에서 과실로의 질소이동율로 비슷하게 모형을 설정할 수 있다. 지상부에서 과실로의 질소이동율 $N_{sf}$는 지상부의 질소농도와 과실의 질소요구

도에 비례한다고 할 수 있으며 그 모형은

$$N_{sf} = \lambda_{sf} (N_{fmax} - N_f) N_s$$

으로 설정할 수 있으며, 이때 $\lambda_{sf}$는 상수이다.

### 카. 모형방정식

Fig. 10-1의 compartment에서의 에너지보존의 법칙을 이용하면, 지상부 가용탄수화물의 변화율은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$d(W_sC_s)/dt = P_g - R_s - U_s - F_{cs} + F_{sc} - T_{cr} - T_{cf}$$

위의 Total 미분방정식을 풀면,

$$dC_s/dt = ( P_g - R_s - U_s - F_{cs} + F_{sc} - T_{cr} - T_{cf} - C_s\, dW_s/dt )/W_s$$

비슷한 방법으로

$$dC_r/dt = ( T_{cr} - R_r - U_r - C_r\, dW_r/dt )/W_r,$$

$$dC_f/dt = ( T_{cf} - R_f - U_f - C_f\, dW_f/dt )/W_f,$$

$$dN_s/dt = ( N_{rs} - U_{sn} - N_{sf} - N_s\, dW_s/dt )/W_s,$$

$$dN_r/dt = ( U_n - N_{rs} - U_{rn} - N_r\, dW_r/dt )/W_r,$$

$$dN_f/dt = ( N_{sf} - U_{fn} - N_f\, dW_f/dt )/W_f,$$

$$dS/dt = ( F_{cs} - F_{sc} - S\, dW_s/dt )/W_s$$

## 2. 모형검증 실험 및 모수추정

본 연구의 모형검증 실험은 1998년 2월의 조숙재배를 통해 이루어 졌다. 공시품종으로는 겨우살이 청장오이를 이용하였다. 조숙재배에서는 1998년 2월 5일 종자를 10시간 동안 침종 후 25℃ 인큐베이터에서 38시간 동안 최아시켰다. 2월 7일에 재배용 폿트와 상토를 이용하여 파종하고, 겨우살이 청장오이외 7품종은 각 각 30립씩 파종상에 구분하고 유묘관리를 하였다. 매일 오전 10시와 오후 3시에 충분히 관수하고, 발아온도 유지와 야간의 급격한 온도 저하를 막기 위하여 오후 4시부터 익일 오전 9시까지 비닐 멀칭을 하였다. 정식은 3월 7일 bench식 양액재배 생장대에 재식거리 20cm로 하였고 양액급여 방식은 전과 동일하게 하였다.

출엽수는 1998년 3월 12일부터 5월 5일까지 bench당 3개체씩의 임의표본을 2일 간격으로 조사하였고, 생과중은 4월 20일 부터 5월 18일까지, 생육조사는 3월 28일부터 1주일 간격으로 6회에 걸쳐 초장, 엽수, 엽면적, 엽, 경 그리고 근건물중을 조사하였다. 기상환경의 계측은 외부기상으로서 기온, 상대습도, 일사량, 강수량, 풍속을 측정하였으며, 하우스 내의 기상으로는 평균기온, 최저기온, 최고기온, 상대습도, 일사량 등을 매 10분 간격으로 자동 측정하였다.

본 모형에서 추정한 모수수는 16개이다. 이들 모수값의 추정은 Simplex법 (Nelder and Mead, 1963)을 이용하였는데 이때 목적함수 (object function)는

$$\text{minimize} \quad \sum\sum (y_{ij} - ey_{ij})^2, \quad I=1,2,3,\ j=1,2,\ \ldots,\ 6,\ (\text{과실의 경우 } I= 1,2,\ \ldots,\ 14)$$

이고, $y_{ij}$는 j번째 조사시기의 지상부건물중 (i=1), 뿌리 건물중 (i=2) 그리고 과실건물중 (i=3) (g dw $m^{-2}$)이며 $ey_{ij}$는 모형에서 추정한 $y_{ij}$값이다. 모수추정에 이용된 자료 중 생육조사 결과는 표 10-1에, 수량조사 결과는 표 10-2에 제시되어 있으며 정식일 3월 7일부터 마지막 수확일 5월 18일까지 두 종류의 하우스당 각각 4개의 조사지점의 매 시간 일사량, 기온, 그리고 $CO_2$농도의 평균값을 모형에 입력하여 오이생장 및 수량에 반영하였다.

미분방정식의 해법은 Fourth order Runge Kutta method를 이용하였으

며, 이때 시간단위는 1시간으로 하였고 step의 크기는 0.1로 하였다. Simulation의 시작점은 정식일로 하였으며 상태변수의 초기값은 표 10-3, 그리고 Simplex 법에 의해 추정된 모수값은 표 10-4와 같다. Simplex법에 이용한 모수추정 프로그램은 Fortran 언어를 이용하여 만들었으며, 프로그램은 부록에 주어져 있다.

표 10-1. 1998년 2월 파종 조숙재배 오이의 생육조사 결과

| 조사구역 | 조사시기 (월/일) | 1-2W형 하우스 | | | 무기둥 하우스 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 엽건물중 (g $m^{-2}$) | 경건물중 (g $m^{-2}$) | 근건물중 (g $m^{-2}$) | 엽건물중 (g $m^{-2}$) | 경건물중 (g $m^{-2}$) | 근건물중 (g $m^{-2}$) |
| 1 | 3/28 | 4.31 | 1.68 | 0.51 | 6.60 | 3.00 | 0.74 |
| | 4/ 4 | 11.41 | 5.19 | 1.14 | 12.49 | 5.86 | 0.91 |
| | 4/11 | 16.20 | 8.11 | 1.21 | 23.13 | 13.27 | 1.31 |
| | 4/18 | 33.67 | 19.06 | 1.62 | 46.46 | 27.07 | 1.85 |
| | 4/25 | 60.20 | 31.35 | 2.42 | 76.20 | 40.27 | 2.63 |
| | 5/ 2 | 86.73 | 46.87 | 2.59 | 95.35 | 52.66 | 2.49 |
| 2 | 3/28 | 4.61 | 1.95 | 0.47 | 6.40 | 2.46 | 0.74 |
| | 4/ 4 | 10.94 | 5.15 | 1.01 | 15.52 | 5.72 | 1.08 |
| | 4/11 | 21.01 | 10.77 | 1.41 | 18.38 | 9.93 | 1.08 |
| | 4/18 | 35.29 | 20.20 | 1.58 | 43.67 | 25.25 | 1.95 |
| | 4/25 | 61.04 | 30.77 | 1.82 | 66.1 | 36.90 | 3.13 |
| | 5/ 2 | 81.62 | 44.48 | 2.63 | 97.5 | 56.77 | 2.90 |
| 3 | 3/28 | 3.74 | 1.58 | 0.51 | 4.6 | 1.82 | 0.57 |
| | 4/ 4 | 8.18 | 3.50 | 0.88 | 9.8 | 4.55 | 0.84 |
| | 4/11 | 17.98 | 9.26 | 1.35 | 14.7 | 7.95 | 0.94 |
| | 4/18 | 36.53 | 21.41 | 1.55 | 39.8 | 24.21 | 2.09 |
| | 4/25 | 65.86 | 33.74 | 2.32 | 62.0 | 35.99 | 2.36 |
| | 5/ 2 | 93.27 | 49.06 | 2.42 | 84.4 | 46.50 | 2.79 |
| 4 | 3/28 | 4.88 | 1.85 | 0.54 | 5.6 | 2.53 | 0.71 |
| | 4/ 4 | 10.54 | 5.02 | 1.21 | 11.4 | 5.62 | 0.98 |
| | 4/11 | 18.55 | 9.33 | 1.52 | 22.9 | 12.32 | 1.21 |
| | 4/18 | 42.22 | 23.67 | 2.05 | 42.7 | 25.96 | 1.78 |
| | 4/25 | 61.52 | 32.76 | 2.29 | 72.9 | 38.72 | 2.56 |
| | 5/ 2 | 88.99 | 48.08 | 3.10 | 102.8 | 67.20 | 3.23 |

표 10-2. 1998년 2월 파종 조숙재배오이의 수확시기별 과실의 누적건물중 ($g\ m^{-2}$)

| 조사 시기 (월/일) | 1-2W형 하우스 | | | | 무기둥 하우스 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 조사 구역 | | | | 조사 구역 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 4/20 | .000 | 1.159 | 1.159 | .000 | 3.478 | 14.346 | 2.319 | .580 |
| 4/22 | 4.637 | 7.680 | 6.521 | 6.231 | 16.810 | 24.345 | 10.144 | 2.319 |
| 4/24 | 13.622 | 18.984 | 17.824 | 17.534 | 28.113 | 43.039 | 18.404 | 8.985 |
| 4/26 | 35.958 | 37.049 | 34.412 | 35.600 | 46.015 | 66.196 | 39.098 | 20.974 |
| 4/28 | 48.604 | 51.174 | 46.565 | 44.141 | 63.095 | 87.711 | 55.850 | 41.996 |
| 4/30 | 60.593 | 71.210 | 61.511 | 60.728 | 77.055 | 113.332 | 70.466 | 58.091 |
| 5/ 2 | 71.597 | 91.247 | 76.456 | 77.316 | 94.136 | 132.711 | 86.233 | 67.781 |
| 5/ 4 | 96.043 | 110.387 | 93.322 | 97.782 | 117.634 | 157.726 | 113.142 | 85.594 |
| 5/ 6 | 136.975 | 158.141 | 136.149 | 143.073 | 154.587 | 211.734 | 171.319 | 138.465 |
| 5/ 8 | 163.126 | 176.333 | 157.753 | 171.309 | 175.242 | 248.687 | 186.480 | 148.509 |
| 5/10 | 184.919 | 193.578 | 181.440 | 199.166 | 201.583 | 271.616 | 202.019 | 162.532 |
| 5/12 | 193.067 | 208.928 | 187.504 | 204.282 | 209.163 | 279.954 | 209.978 | 171.817 |
| 5/14 | 213.723 | 225.414 | 202.096 | 217.926 | 233.609 | 297.578 | 232.149 | 196.073 |
| 5/18 | 237.411 | 264.452 | 261.221 | 256.585 | 261.466 | 316.149 | 255.269 | 235.111 |

표 10-3. 상태변수의 초기값 및 단위

| state variable | initial value |
|---|---|
| shoot dry weight | 1.40 ($g\ m^{-2}$) |
| root dry weight | 0.28 ($g\ m^{-2}$) |
| fruit dry weight | 0.50 ($g\ m^{-2}$) |
| $CH_2O$ conc. in shoot | 0.10 ($g\ g^{-1}$) |
| $CH_2O$ conc. in root | 0.05 ($g\ g^{-1}$) |
| $CH_2O$ conc. in fruit | 0.25 ($g\ g^{-1}$) |
| N conc. in shoot | 0.04 ($g\ g^{-1}$) |
| N conc. in root | 0.02 ($g\ g^{-1}$) |
| N conc. in fruit | 0.03 ($g\ g^{-1}$) |
| Starch conc. in shoot | 0.07 ($g\ g^{-1}$) |

표 10-4. Simplex법에 의해 추정된 모수값 (parametric value).

| 모수 | 추정값 | 단위 |
|---|---|---|
| ks | 0.099956 | g (g $CH_2O$)-1 (g N)-1 h-1 |
| kr | 0.117864 | g (g $CH_2O$)-1 (g N)-1 h-1 |
| kf | 0.631684 | g (g $CH_2O$)-1 (g N)-1 h-1 |
| Pm | 44.030802 | g $CH_2O$ (m2 ground)-1 h-1 |
| β | 12.572 | (g $CH_2O$ g-1)-1 |
| a | 0.130156 | Demensionless |
| b | 0.525 | (g Starch g-1)-1 |
| ϱ | 0.437452 | g N (g root)-1 h-1 |
| kn | 0.00680 | mmol |
| kc | 0.048524 | g $CH_2O$ g-1 |
| φr | 14.206585 | g $CH_2O$ (g $CH_2O$ g-1)-2 h-1 |
| φf | 11.762246 | g $CH_2O$ (g $CH_2O$ g-1)-2 h-1 |
| Csmax | 0.30 | g $CH_2O$ g-1 |
| Crmax | 0.10 | g $CH_2O$ g-1 |
| Cfmax | 0.40 | g $CH_2O$ g-1 |
| φd | 7.0 | g $CH_2O$ (g $CH_2O$ g-1 · g Starch g-1)-1 h-1 |
| φn | 38.999418 | (g $CH_2O$ g-1 · g Starch g-1)-1 h-1 |
| μrs | 9.447467 | g N (g N g-1 · g N g-1)-1 h-1 |
| μsf | 0.39836 | g N (g N g-1 · g N g-1)-1 h-1 |
| Nsma | 0.15 | g N g-1 |
| Nrmax | 0.15 | g N g-1 |
| Smax | 0.35 | g Starch g-1 |

# 제 3 절 결과 및 고찰

## 1. 모형의 적합성 (validation of model)

조사시기, 하우스 형태, 하우스형태별 조사구역 실측치와 모형에 의한 예측치의 엽중비교는 Fig. 10-4에, 경중의 비교는 Fig. 10-5에, 근중의 비교는 Fig. 10-6에, 그리고 과실중의 비교는 Fig. 10-7에 제시되어 있다. 생육형질이나 수확량에서의 실측치와 모형의 예측치가 45c선에 비교적 잘 일치하여 본 모형이 비교적 잘 기상환경의 변이에 대한 오이의 생장 및 수량을 예측하는 것으로 판단된다.

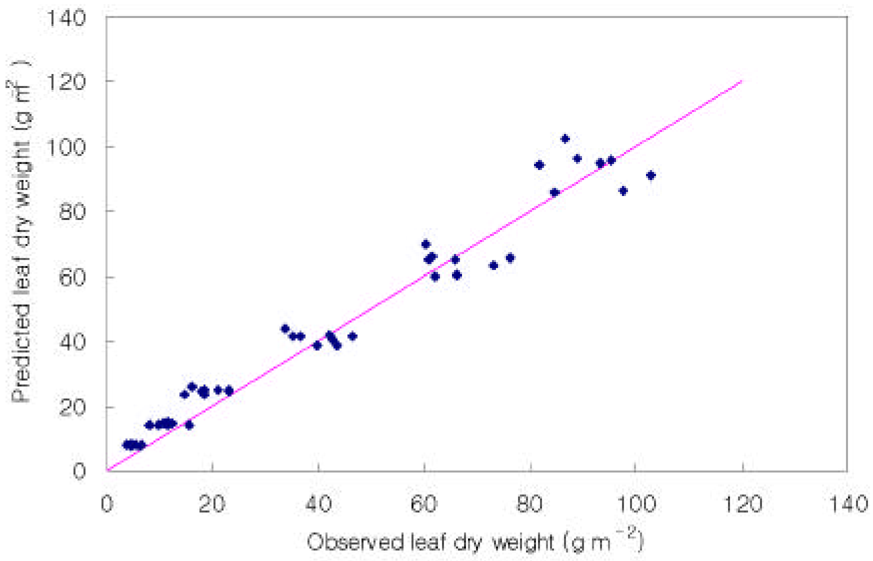



Fig. 10-4. Comparison between observed and predicted values of leaf dry weight by the model.

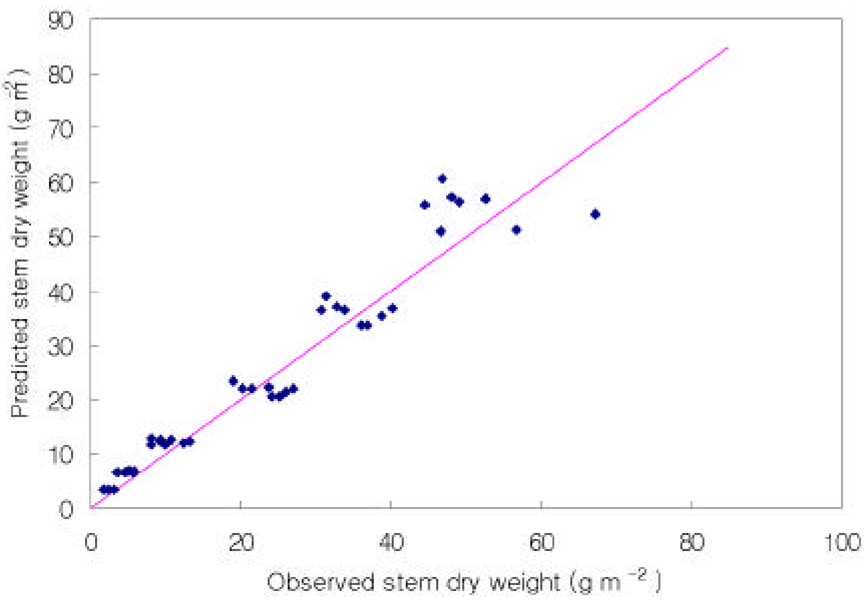



Fig. 10-5. Comparison between observed and predicted values of stem dry weight by the model.

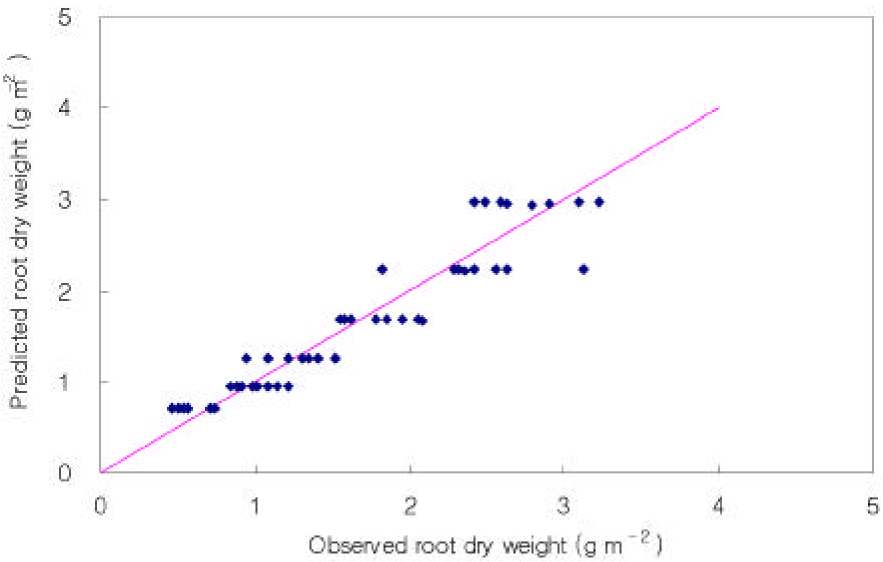



Fig. 10-6. Comparison between observed and predicted values of root dry weight by the model.

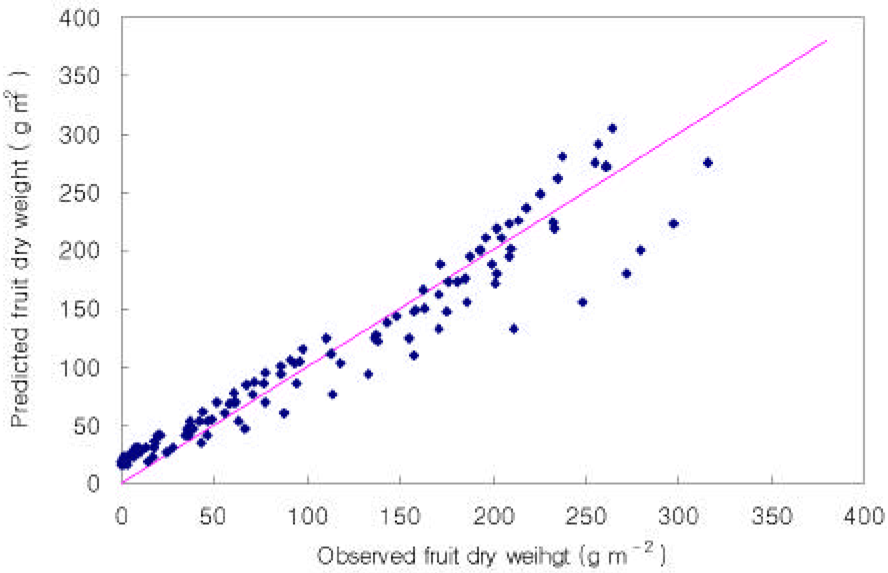



Fig. 10-7. Comparison between observed and predicted values of fruit dry weight by the model.

그러나, 모형의 수행 중 이루어지는 광합성율은 sink demand를 고려한 식,

$$Tpg = \beta(Cs_{max} - Cs)\ Pg,$$

에 의해 계산되는 바 비율 Tpg/Pg는 잠재적 광합성율에 대한 실제 광합성율의 비율로 생각할 수 있다. 모형프로그램 수행 중 시간대별 평균일사량과 위 비율을 출력시켜 제시한 자료는 표 10-5에 제시되어 있다. 이 결과에 의하면 일사량이 높아지면서 오후로 갈수록 이 비율은 낮아졌으며, 오후 늦게 일사량이 낮아지면서 그 비율이 증가함을 알 수 있다. 그러나 낮 동안의 이 비율의 평균은 0.15878로서 Pm=44.0308 (표 10-3)과 곱하면 6.9912로서 식 1)의 7.4765에 근접한 값을 주는 것을 알 수 있다. 이 결과는 식물체 엽의 광합성율이 기상환경에 따른 광합성율의 변이에 의한 엽중 동화산물의 농도 내지는 sink/source의 균형에 민감하게 반응하는 것을 의미하며 이것은 차후 연구 대상이 될 것이다.

표 10-5. 시간대별 평균일사량과 Tpr/Pg의 비율

| 시간 | 평균일사량 (μmol m-2 s-1) | Tpr/Pg |
|---|---|---|
| 7:00 | 64.10 | .37384 |
| 8:00 | 110.00 | .23951 |
| 9:00 | 215.50 | .16429 |
| 10:00 | 362.60 | .12865 |
| 11:00 | 585.60 | .07037 |
| 12:00 | 243.90 | .06120 |
| 13:00 | 595.20 | .06056 |
| 14:00 | 704.40 | .06249 |
| 15:00 | 603.60 | .07037 |
| 16:00 | 411.50 | .10729 |
| 17:00 | 285.50 | .13510 |
| 18:00 | 140.90 | .23669 |

본 연구에서는 주로 광량, 기온, 대기 중 $CO_2$ 농도, 그리고 양액의 N 농도에

따른 광합성반응과 호흡반응을 중점적으로 다뤘다. 하지만 제 1 장에서 보았듯이 평균일사량과 SLA나 LAI는 부의 상관관계를 보였으며 평균온도와 RGR등은 고도로 유의한 상관관계를 보였다. 이것은 오이의 생장에는 높은 광량보다는 적정온도가 크게 영향하는 것을 의미한다. 일사량의 변이에 따른 기관별 분배 비율에 관해서는 상반된 연구결과들이 보고되어 왔다. Marcelis (1994)에 의하면 일사량이 증가함에 따라 지상부 건물중에 대한 줄기의 건물중 비율이 감소되었다. 그러나 Horie 등(1979)은 일사량과 줄기의 건물중 비율과는 어떠한 상호의존적 관계는 발견하지 못했다. 본 모형이 보다 실용적으로 이용될 수 있기 위해서는 환경조건의 변이에 따른 기관별 분배비율에 보다 확실한 일반적 모형의 개발이 요구된다. 또한 작형에 따른 기온의 변이에 의한 개화시기의 예측과 엽 출현속도의 양적인 평가가 이루어져야 한다. 본 연구의 경우 조숙재배의 경우 개화시기는 정식일로부터 적산온도 620 625℃에 도달하는 반면 여름재배의 경우 정식일로 부터 적산온도 540 550℃에 도달하였다. 또한 엽출현속도에 있어서도 조숙재배의 경우 출현엽수 (NL)는

$$NL = -4.1782 + 0.0216\ AC \quad (R^2=0.9729,\ df=54)$$

인 반면, 5월 중순에 파종하여 6월 초순에 정식한 여름재배에서는

$$NL = -4.265 + 0.0282\ AC \quad (R^2= 0.9897,\ df=40)$$

을 보여 적산온도 (AC)에 대한 엽출현 속도가 여름재배에서 월등히 높았다.

장기간 재배의 경우 엽의 노화 또한 간과할 수 없는 요인이다. 조숙재배의 경우 엽은 정식 후 30일 정도면 제 1엽이 노화하기 시작하며 35일 이상이면 더 이상 동화기관으로서의 기능을 상실하는 것으로 생각되며 이때의 적산온도는 정식일로 부터 900℃에 달한다. 여름재배의 경우 적산온도가 900℃에 달하는 시기는 정식일로 부터 30일 후에 해당하며 따라서 기온이 높을수록 엽의

출현속도는 빨라지나 그만큼 노화의 진전도 빠르다. 하지만 노화에 대한 정확한 기준이 마련되어야 하며 노화정도를 정량화시키는 노력이 필요하다.

2. 최적환경조건의 설정

오이 수량에 대한 최적환경조건을 구명하가 위하여 일사량을 100μmol m-2 s-1에서 시작하여 100간격으로 1500μmol m-2 s-1까지, 야간온도를 15℃로 고정하고 12℃에서 시작하여 1℃ 간격으로 32℃까지, CO농도를 100ppm에서 시작하여 100ppm 간격으로 1500ppm까지, 그리고 양액의 N농도를 0.4mmol에서 시작하여 0.4mmol 간격으로 6mmol까지 변환시키면서 모든 조합의 환경조건을 주어 수량을 추정한 결과는 다음과 같다.

양액의 N농도는 오이 과실수량에는 크게 영향을 미치지 못하였다. 그 이유는 양액재배에서의 N 흡수 모형을 살펴보면 알 수 있는데 Michaelis-Menten 형태의 흡수모형

$$V = V_{max} N / (k_n + N),$$

에서 $k_n$은 흡수율 V가 $V_{max}$의 1/2에 이르는 때의 N농도를 의미하는데 본 모형의 경우 kn = 0.0068 mmol로 추정되었다. 이것은 양액재배에 있어서의 N흡수율은 극히 낮은 질소농도에서 이미 최대에 도달함을 의미하며 따라서 0.4mmol 이상의 N 농도들간의 N흡수율에서는 거의 차이가 없으며 따라서 N 농도에 따른 과실중이나 생육에서의 차이는 찾아볼 수 없다.

일사량 (Rad)과 건과중 (FDW)은

$$FDW = 293.5428 + 0.2603\ Rad - 0.000113\ (Rad)^2,$$

의 고도로 유의한 2차식의 관계를 보여 1150μmol m-2 s-1에서 최대 과실수량

을 보였다.

기온 (Temp)과 과실수량은

$$FDW = -108.3346 + 33.6904\ Temp - 0.43175\ (Temp)^2,$$

로 고도로 유의한 2차식의 관계를 보여 39.0℃에 최대 수량을 보였다.

대기의 $CO_2$ 농도와 과실수량은

$$FDW = 348.38 + 0.1366CO_2 - 0.00006\ (CO_2)^2,$$

의 고도로 유의한 2차식 관계를 보여 $CO_2$ 1138.3 ppm에서 최대 과실수량을 보였다. 또한 일사량, 기온 그리고 $CO_2$농도를 모두 고려하여 과실중과의 관계를 살펴 보았을 때

$$\begin{aligned} FDW = & -218.5275 + 0.2170\ Rad + 29.7863\ Temp + 0.1271\ CO_2 \\ & + 0.0032\ (Rad)(Temp) - 0.000034\ (Rad)(CO_2) + 0.00167\ (Temp)(CO_2) \\ & - 0.000113\ (Rad)^2 - 0.4316\ (Temp)^2 - 0.00006\ (CO_2)^2, \end{aligned}$$

의 반응곡면을 얻었다. 이 식에서의 최적점은 일사량 1365.8 μmol $m^{-2}$ $s^{-1}$, 기온 42.0℃그리고 대기의 $CO_2$ 농도 1256.7ppm이었으며 이때 최대수량은 건과중으로 546.9 g $m^{-2}$이었으며 생과중으로는 546.9/0.0439 = 12.46 kg $m^{-2}$ 이었다.

이상의 결과에 의하면 기온에 대한 수량반응은 39℃에서 최적점이 발생하고 세가지 환경요인의 반응곡면식에서는 42℃에서 최적점이 발생하였다. 본 연구에서 기온의 상승에 따른 광합성 반응은

$$GPR = 19.071\ (1 - 1.3704\ \exp(-0.0571\ temp)),\ (\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1})$$

**이었고 기온에 대한 호흡율의 반응은**

$$Resp = 0.009862 - 0.000039\ T + 0.000045\ T^2,\ (\mu mol\ CO_2\ g^{-1}\ s^{-1})$$

**이었다. 따라서 엽중에 대한 엽면적의 관계식**

$$LA = 432.23\ LDW - 4.241\ LDW^2,$$

**을 이용하여 기온의 상승에 대한 순동화율의 변이를 살펴보면 그림**10-8**과 같다. 그림** 10-8**에 의하면 순광합성율은 기온이** 45℃**까지 증가하더라도 증가하는 추세였는데 이 결과는** Shishido **등** (1987)**와 일치한다. 이들의 보고에 의하면 기온이** 44℃**까지 증가하더라도 식물체 생장에 해를 주지 않고 순광합성율은 증가한다고 하였다.**

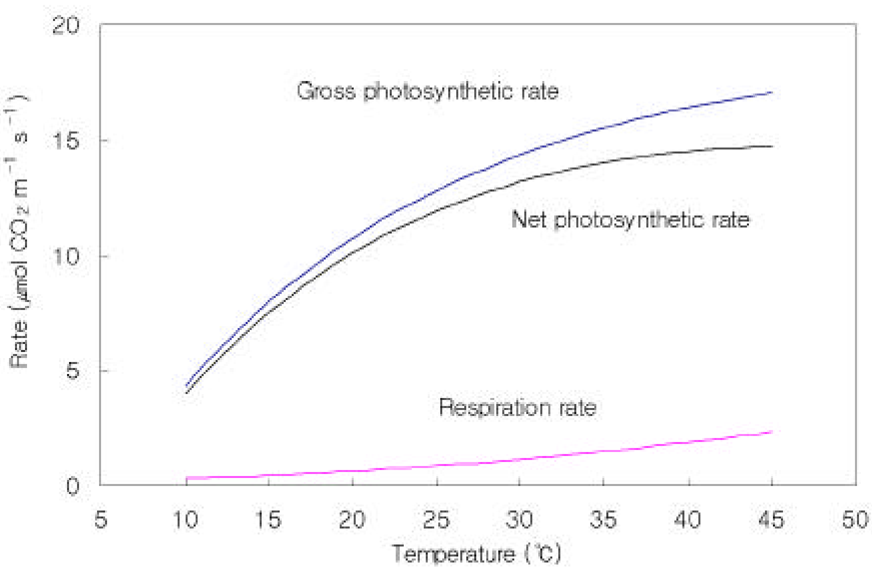



Fig.10-8. Variations in gross and net photosynthetic rate and respiration rate.

본 모형은 기상환경 요인들의 변이에 따른 광합성과 호흡율의 변이에 중점을 두어 만들어 졌고, 또한 개화시기를 적산온도의 계산에 의한 출현엽수에 의해 추정하는 만큼, 기온이 높을수록 개화시기가 빨라지며 엽의 노화를 고려하지 않는 한 생식생장 기간이 증가하여 수량이 증대하는 관계로 최적기온이 상당히 높게 나타났으나 이 점은 차후 보완해야 할 것이다.

정식 후 73일 동안 250g $m^{-2}$를 수확하고자 한다면

$$250 = -218.5275 + 0.2170\,Rad + 29.7863\,Temp + 0.1271\,CO_2 + 0.0032\,(Rad)(Temp) - 0.000034\,(Rad)(CO_2) + 0.00167\,(Temp)(CO_2) - 0.000113\,(Rad)^2 - 0.4316\,(Temp)^2 - 0.00006\,(CO_2)^2,$$

로서 정리하면

$$468.5275 = 0.2170\,Rad + 29.7863\,Temp + 0.1271\,CO_2 + 0.0032\,(Rad)(Temp) - 0.000034\,(Rad)(CO_2) + 0.00167\,(Temp)(CO_2) - 0.000113\,(Rad)^2 - 0.4316\,(Temp)^2 - 0.00006\,(CO_2)^2,$$

가 되어 일사량, 기온 그리고 $CO_2$ 농도를 조절하면 되겠다.

# 제 11 장. 시설환경의 자동 계측과 제어

## 제 1 절. 서론

농업 생산에 있어서 기존의 자연 자원 의존 형태의 농업에서 벗어나 시설을 이용하여 가온 및 보온, 환기, 관수, 탄산가스 시비 등을 수행하는 장치 산업 형태로의 생산 방식의 전환이 이루어지고 있다. 최근에는 컴퓨터를 이용하여 시설 내의 환경을 계측하고 각종 작동기기를 조작하는 환경제어 시스템이 시설 재배 농가에 보급되고 있다.

예전의 시설 재배는 11월부터 3월 사이인 동절기에 주로 이용되었지만 점차 연중으로 사용일수가 증가되어 하우스 내의 많은 환경 인자들의 영향을 고려하지 않을 수 없다. 그 중에서도 광과 온도는 환경 인자 중 가장 중요한 요인이라 할 수 있겠다. 시설 내부의 광량은 식물의 광합성과 밀접한 관계가 있으며 시설물의 구조, 지붕의 각도, 설치 방향, 형태 및 피복재의 재질 등에 따라서도 다르기 때문에 시설물의 설치와 재배방식의 선정에 있어서 광합성 환경을 충분히 고려해야 하며, 작물의 생육에 적합한 광 환경을 조성하는 것이 매우 중요하다.

또한 3월부터는 일사량의 증가와 함께 외부 온도가 높아져 온실 내부의 온도는 작물 생육에 부적합할 정도로 상승한다. 이에 따라 작물의 수정 장해와 같은 각종 고온 장해가 유발될 수 있으므로 온도가 상승하면 즉시 환기를 하거나 또는 기타 냉각 방법을 이용하여 시설 내부의 온도를 낮추는 것이 필요하다. 온도 상승 억제 방법 중의 하나로 환기를 들 수 있는데 유리 온실이나 비닐 온실 같은 재배 시설은 빛을 잘 투과하는 자재로 피복되어 있는 관계로 여름철뿐만 아니라 겨울철에도 온도가 높아지는 경향이 있다. 이때 외부의 신선한 공기를 실내로 받아들임으로써 고온이 되는 것을 억제함은 물론 광합성

을 통하여 고갈된 실내의 탄산가스를 보충하는 것이 환기의 기본적인 목적이다. 이 외에도 환기는 실내의 습도나  공기의 흐름에 변화를 줄 수 있는데 시설내의 열, 수증기, 탄산가스, 유해가스 및 풍속을 동시에 제어할 수 있는 기능을 한다. 시설의 구조, 피복재의 종류와 피복겹수, 외부 일사량(구름의 유・무) 등에 따른 온실 내부의 일사량 분포 및 그 변화를 예측하는 것은 시설 내부의 열 수지의 계산과 광합성에 의한 작물의 생육반응을 추정하는데 있어서 매우 중요하다. 환기 성능 또한 시설의 구조에 크게 영향을 받으며, 정확한 환기제어를 위해서는 환기 방법에 따른 시설 내 온도의 경시적 변화를 정확히 예측할 수 있어야 할 것이다.

본 연구에서는 표준형(1-2W형) 온실과 (주)원예공업의 무기둥 비닐온실을 대상으로 자동 환경 계측 및 제어 시스템을 구성하였다. 또한 시설의 구조에 따른 온실 내부의 일사량의 분포와 환기율을 비교하였다.

## 제 2 절. 온실의 구조 및 환경 계측

### 1. 온실 및 환경 계측 시스템의 구성

순천대학교 교내에 내부 바닥면적이 15m×25m인 개량 아취 연동형  하우스(1-2W형)와 바닥면적이 15m×24m인 (주)원예공업의 무기둥 비닐온실을 각각 1동씩 설치하였다. 개량 아취 연동형 하우스는 정부에서 농가 보급형으로 제정한 표준형 하우스로서 피복이 2중으로 설치되었으며 2연동 아치 형태이고, 무기둥 비닐온실은 피복을 3중으로 설치하였고 1중, 2중, 3중으로 천창을 개방할 수 있게 하였으며 돔 형태를 갖추었다.

각각의 비닐하우스 내부의 환경을 계측하기 위하여 다섯 장소에 지상 1.8m 위치에 온도, 습도 및 광 센서를 설치하였으며, 지상 1m 위치에 CO2 센서를 설치하였고, 온도 센서를 지하 10cm와 20cm 깊이에 묻어 지온을 계측하였다. 각각의 온실천장 피복의 층과 층사이에 온도와 습도 센서를 부착하여 경계층

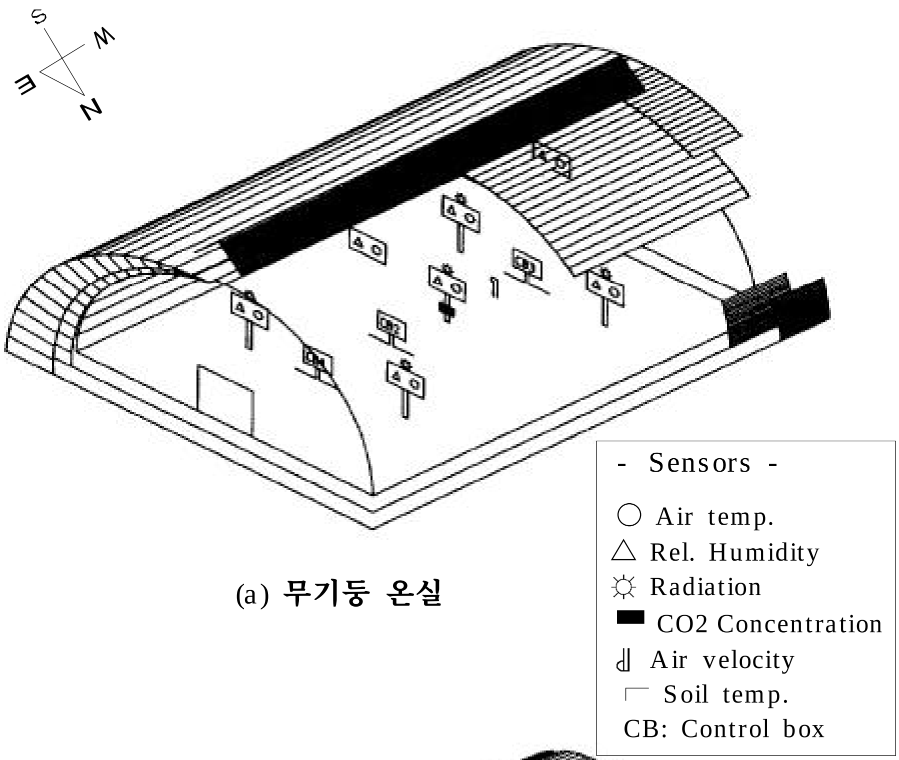
의 온·습도를 측정할 수 있도록 하였다. 또한 외부 기상환경을 관측하기 위하여 높이 3m의 간이 기상대를 비닐하우스 인근에 설치하였다. 외부 기상환경으로는 기온, 상대습도, 일사량, 풍속, 풍향 및 강우량을 측정하였다. 하우스 외부의 지온을 측정하기 위하여 지온 센서를 지하 20cm, 40cm 및 70cm 깊이에 설치하였다.

그림 11-1과 11-2는 실험에 사용한 무기둥 비닐온실과 표준형 비닐온실의 외관을 나타낸 것이며, 그림 11-3은 각각의 비닐 온실 내부에 설치한 환경 계측 센서의 배치도를 나타낸 것이다. 그리고 표 11-1은 센서의 제원을 간략히 표시한 것이며, 표11-2는 외부 기상환경 계측장비의 주요 제원을 나타낸 것이다.

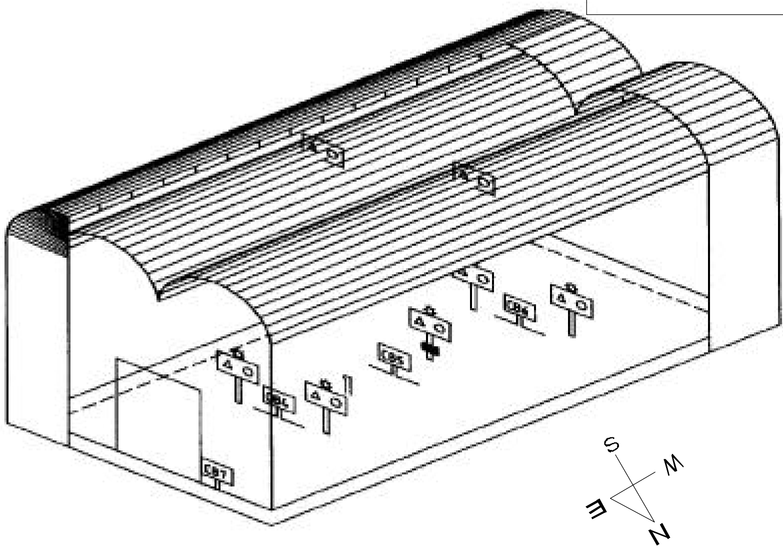
그림 11-4는 외부 기상 환경(온도, 습도, 일사량, 풍향, 풍속, 강우량)을 측정하기 위한 3 m 높이의 간이 기상대를 나타낸 것이다. 그림 11-5(a)는 온실 내부 센서 중 온도, 습도, 광 센서를 나타낸 것이며, 그림 11-5(b)는 이들 센서의 설치 상태를 나타낸 것이다. 온도와 습도 센서는 직사 광선을 피하기 위해서 나무판자로 만든 소형 상자의 내부에 설치하였으며, 원활한 공기 흐름을 위해 소형 팬을 부착하였다.

**그림** 11- 1. **무기둥 온실**

**그림** 11- 2. **표준형 온실**




(a) **무기둥 온실**



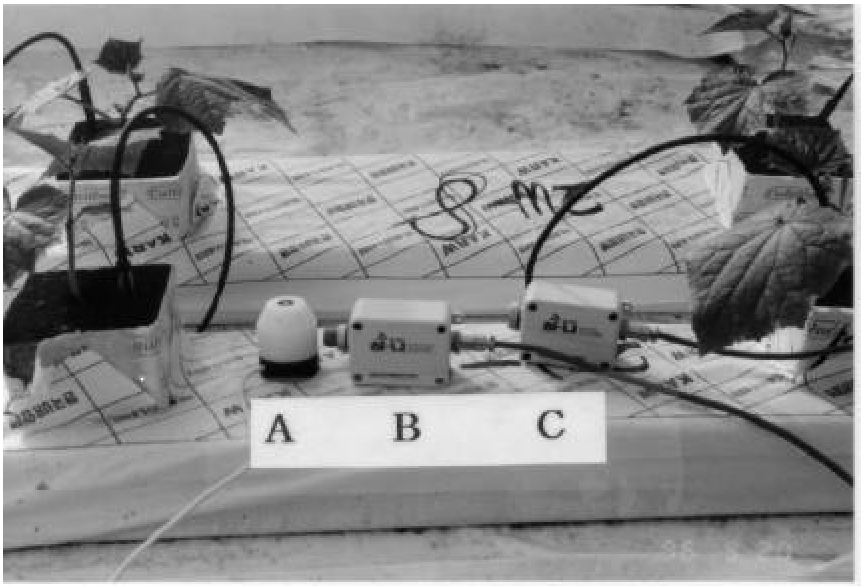
(b) **표준형 온실**

**그림** 11-3. **각 온실의 환경 계측 센서 배치도**

표 168-1. 온실 내부 환경 계측 센서의 제원

| Factor | Sensor type | Range | No. of sensors in each greenhouse |
|---|---|---|---|
| Soil temp. | RTD | -10 +50 ℃ | 4 |
| Air temp. | Semiconductor type | -10 +50(60) ℃ | 7 |
| Rel. Humidity | Polymer electrolyte | 0 100 % | 7 |
| Radiation | Photocell | 0 3000 $\mu$mol/$m^2$/s | 5 |
| $CO_2$ concentration | Nondisperse infrared | 0 2000 ppm | 1 |
| Wind velocity | Pt. RTD | 0 5 m/s | 1 |

그림 11-4. 무인 기상 측정 장치



(a) 광 센서(A), 온도 센서(B), 습도 센서(C)의 외양


(b) 센서 설치대
그림 11-5. 온실 환경 계측 센서와 설치대

표 11-69. **간이 기상대 환경 계측 센서의 제원**

| Factor | Sensor type | Range |
|---|---|---|
| Soil temp. | RTD | -10  +50 ℃ |
| Air temp. | Thermistor | -10  +50(60) ℃ |
| Rel. Humidity | Capacitance type | 0  100 % |
| Radiation | Silicon Photovoltaic Photocell | 0  3000 $\mu$mol/m$^2$/s |
| Wind direction | Variable resistance | 0  360° |
| Air velocity | Switch contact | 0  45 m/s |
| Rainfall | Switch contact | - |

2. **데이터 전송 및 저장**

각 센서는 환경인자를 직류 전압, 전류 또는 펄스로 변환하여 출력한다. 입력 신호는 총 64개로서 이중 62개의 신호는 아날로그/디지털 변환기(A/D converter)를 이용하였으며, 풍속과 강우량 신호는 펄스 카운터(Pulse counter)를 이용하여 수집하였다. 자료수집장치(Data acquisition system)로는 8 채널 16 bit A/D 변환기 모듈(ADAM 4017, Advantech, Taiwan) 11개, 2 채널 32 bit 카운터 모듈 1개(ADAM 4080D, Advantech, Taiwan), 7 입력 채널 8 출력 채널의 digital I/O 모듈(ADAM 4050, Advantech, Taiwan) 4개를 multi-drop 방식으로 연결하였으며, 데이터 전송은 RS-485 규격에 의한 직렬 통신방식을 이용하였다. 그림 11-6은 8 채널 16 bit A/D 변환기 모듈이 설치된 환경 계측용 컨트롤 박스의 내부를 나타낸 것이다. 자료 저장용 컴퓨터(CPC-5860M, 대우전자)에는 RS-485/RS-232 변환기를 장치하여 자료수집장치와 컴퓨터간에 명령과 데이터를 교환할 수 있도록 하였다. 그림 11-7은 컴퓨터와, RS-485/RS-232 변환기 및 자료수집장치 모듈의 연결 상태를 나타낸 것이다.

자료 저장용 컴퓨터는 프로그램의 실행에 의하여 62개 채널의 A/D 변환값을 약 1초 간격으로 읽은 후 10분 동안의 평균을 계산하여 기록하였으며, 2

개 채널의 카운터 값도 매 10분마다 기록하였다. 하루 동안의 측정 결과를 별도의 파일에 ASCII 형태로 저장하였으며, 파일명에 날짜를 사용하여 서로 구분할 수 있도록 하였다. 하지만 환기 실험과 같이 기상 인자의 시간에 따른 급격한 변화를 측정하는 경우에는 매 5초 또는 10초 간격으로 기상 데이터를 저장할 수 있도록 별도의 프로그램을 작성하였다.

기상자료 수집을 위한 프로그램은 Microsoft사의 Visual BASIC 5.0을 이용하여 작성하였으며, 환경계측 프로그램의 순서도를 그림 11-8에 나타내었다.

그림 11-6. 환경 계측용 Control Box의 내부 구조

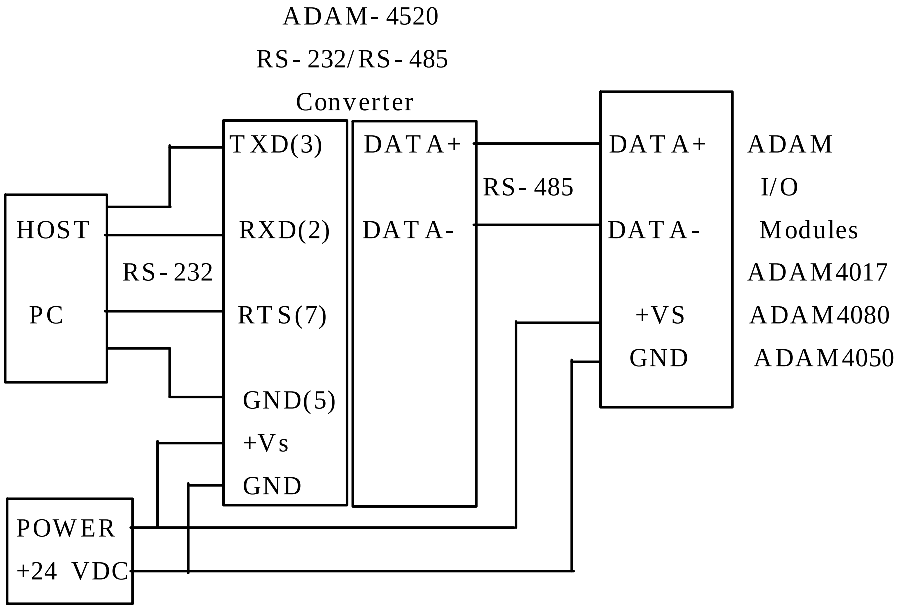



**그림** 11-7. **컴퓨터와 각 변환기의 데이터 전송 방법**

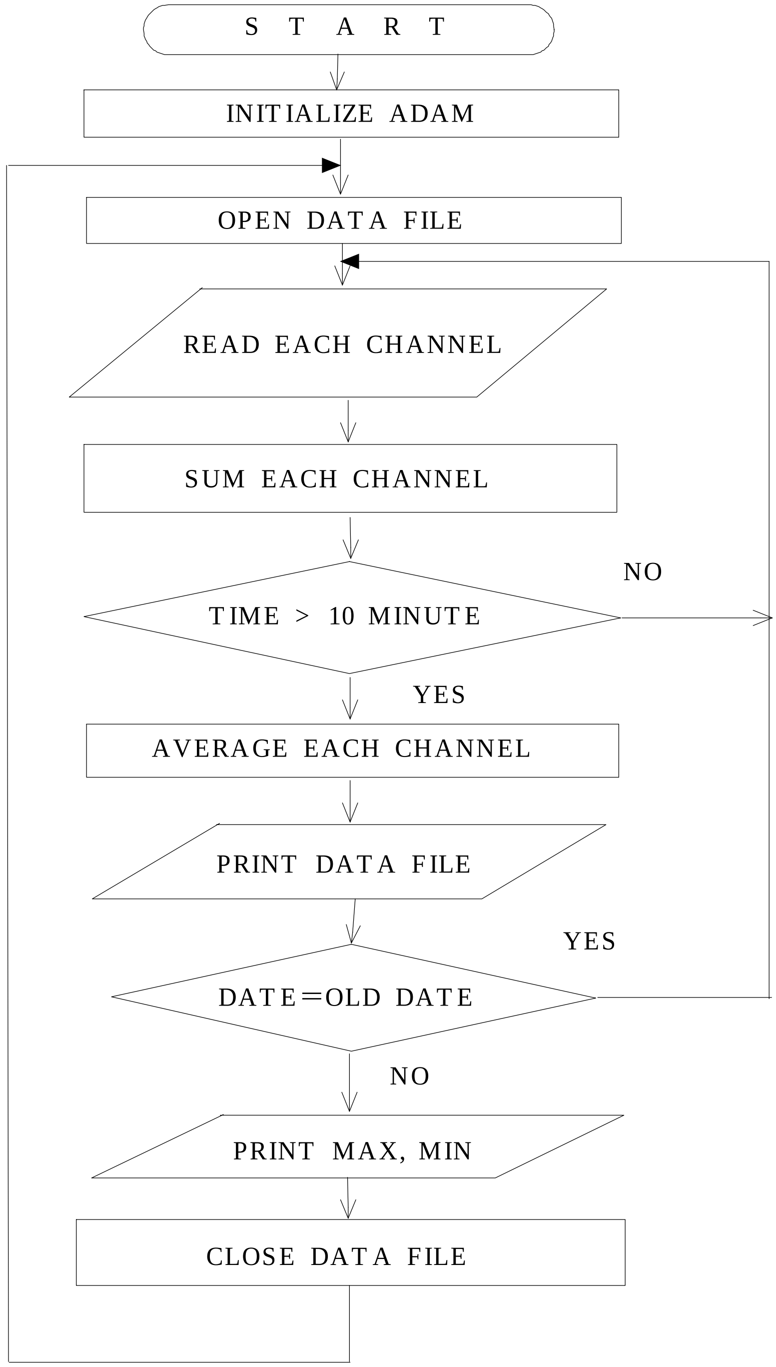



**그림** 11-8. **환경 데이터 수집 프로그램의 순서도**

# 제 3절 온실내의 환경 분석

## 1. 온실 피복용 비닐 종류별 광 투과율 조사

### 가. 실험 방법

2개 회사(제비표, (주)일신화학)의 온실 피복용 비닐에 대한 광 투과율을 조사하였다. 각각의 필름의 피복 겹수에 따른 일사량 투과율을 80개의 광센서가 설치된 광센서 어레이(PAR-80, Decagon Devices Inc, USA)를 사용하여 9시, 12시 및 15시에 각 필름에 대해 측정하였다. 사용한 피복 필름의 종류와 두께는 표 11-3에 나타내었다.

맑은 날 그늘이 없는 곳에서 높이 약 1 m의 설치대(그림 11-9)를 사용하여 필름에 따른 광 투과율을 측정하였다. 비닐 겹과 겹사이는 5 cm 간격, 측정폭은 40 cm로 하여 1 cm 간격으로 80개의 광센서가 설치된 광센서 어레이를 사용하여 일사량을 측정하였다. 측정기의 절반은 필름을 투과한 일사량을 측정하고, 나머지는 필름을 투과하지 않은 외부광을 측정하여 일사량의 기준으로 하였다.

측정방법은 피복재를 1겹, 2겹, 3겹, 1겹과 차광망(net), 2겹과 차광망을 각각 설치한 다음 일사량을 측정하였다. 필름에 따른 광 투과율 실험은 1997년 9월 19일에서 9월 30일까지 수행하였다.

표 11-70. 샘플 필름의 종류와 두께

| 제 비 표 필 름 | | (주) 일 신 화 학 | |
|---|---|---|---|
| 품 명 | 두께(mm) | 품 명 | 두 께(mm) |
| 보광필름 | 0.06 | 풍요필름 | 0.06 |
| 방무필름 | 0.06 | 삼중E.V.A필름 | 0.06 |
| 슈퍼크린필름 | 0.06 | 슈퍼장수필름 | 0.06 |
| E.V.A필름 | 0.06 | 삼중필름 | 0.06 |
| 스마트 장수필름 | 0.06 | 소무필름 | 0.07 |
| 다모아필름 | 0.06 | 장수필름 | 0.1 |
| 삼층방무필름 | 0.06 | 오래가무적필름 | 0.15 |
| P.E필름 | 0.06 | - | - |
| 보온필름 | 0.04 | - | - |

그림 11-9. 온실 피복재의 광 투과율을 측정하기 위한 센서 거치대

그림 11-10은 여러 필름 종류 중 풍요필름에 대한 피복 겹수에 따른 광 투과율을 나타낸 것이다. 필름이 1중일 때 가장 높은 투과율을 보였으며, 다음으로 2중, 3중 순으로 나타났다. 그리고 차광망을 설치할 경우 매우 낮은 광 투과율을 보였으며, 투과된 광량도 불규칙한 모습으로 나타났다. 이와 같은 실험을 각각의 필름에 대하여 실시하여 필름이 피복 되지 않은 곳의 광량을 기준으로 하고, 피복된 부분의 광량을 투과량으로 설정하여 각각의 평균으로 환산한 다음 평균값에 따른 각 필름의 투과율을 계산하였다.

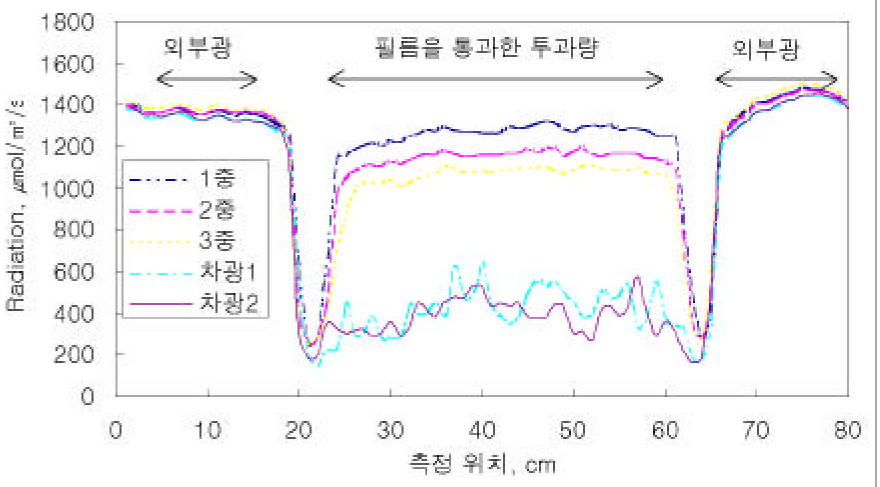



그림 11-10. 피복 필름의 겹수에 따른 광 투과 예시 (풍요필름)

### 나. 필름 겹수에 따른 광 투과율 조사

표 11-4에서 보는 것처럼 9시경 1중일 때의 광 투과율은 0.765  0.898로 높은 투과율을 보였다. 하지만 필름의 겹수가 증가 할 때마다 7  15%정도 감소하는 경향을 보였다. 3중일 때는 0.51  0.736으로 낮아졌다. 그리고 1중 또는 2중필름과 차광망을 같이 사용할 때는 투과율이 매우 낮은 0.219  0.312로 나타났다.

12시경에 측정한 결과는 표 11-5에 나타내었다. 1중일 때는 투과율은 0.861  0.92로 9시때 측정한 투과율보다 더 높은 투과율을 보였다. 이것은 태양의 고도 때문에 생긴 것으로 입사광의 반사율이 낮아졌기 때문이다. 차광망을 사용할 때의 투과율도 9시에 비해 약간 높은 값을 가졌다. 2중창과 3중창일 때는 투과율은 각각 0.77  0.847, 0.632  0.796이었다. 1중과 차광망을 같이 사용한 경우 투과율은 0.26  0.362이고, 2중필름과 같이 사용한때는 0.219  0.29이었다.

15시경에 측정한 결과는 표 11-6에 나타내었으며, 9시경에 관찰한 결과와 비슷한 투과율을 보였다. 1중, 2중, 3중일 때 투과율은 각각 0.657  0.884, 0.49  0.884, 0.425  0.703이었다. 1중과 같이 차광망을 사용한 경우 투과율은 0.215  0.344이고, 2중창과 같이 사용할 때는 0.19  0.325이었다.

표 11-4. 온실 피복재의 광 투과율 (9시)

| Type of film | | thickness (mm) | Single | Double | Triple | Single+ screen | Double+ screen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 제비표필름 | ⓐ보 광 | 0.06 | 0.786 | 0.610 | 0.510 | 0.238 | 0.219 |
| | ⓑ방 무 | 0.06 | 0.765 | 0.636 | 0.520 | 0.224 | 0.236 |
| | ⓒ슈퍼크린 | 0.06 | 0.860 | 0.721 | 0.592 | 0.290 | 0.247 |
| | ⓓE. V. A | 0.06 | 0.853 | 0.708 | 0.591 | 0.273 | 0.237 |
| | ⓔ스마트장수 | 0.06 | 0.843 | 0.673 | 0.570 | 0.245 | 0.227 |
| | ⓕ다모아 | 0.06 | 0.868 | 0.751 | 0.659 | 0.261 | 0.270 |
| | ⓖ삼층방무 | 0.06 | 0.772 | 0.631 | 0.539 | 0.283 | 0.237 |
| | ⓗP. E | 0.06 | 0.898 | 0.808 | 0.736 | 0.252 | 0.295 |
| | ⓘ보 온 | 0.04 | 0.846 | 0.732 | 0.645 | 0.258 | 0.263 |
| 일신화학 | ⓙ풍요 | 0.06 | 0.885 | 0.795 | 0.710 | 0.312 | 0.243 |
| | ⓚ슈퍼장수 | 0.06 | 0.879 | 0.760 | 0.679 | 0.312 | 0.272 |
| | ⓛ삼중E.V.A | 0.06 | 0.888 | 0.811 | 0.724 | 0.243 | 0.290 |
| | ⓜ삼 중 | 0.06 | 0.875 | 0.762 | 0.662 | 0.252 | 0.266 |
| | ⓝ소 무 | 0.07 | 0.876 | 0.764 | 0.675 | 0.267 | 0.258 |
| | ⓞ장 수 | 0.10 | 0.858 | 0.726 | 0.614 | 0.273 | 0.264 |
| | ⓟ오래가무적 | 0.15 | 0.880 | 0.779 | 0.669 | 0.286 | 0.279 |

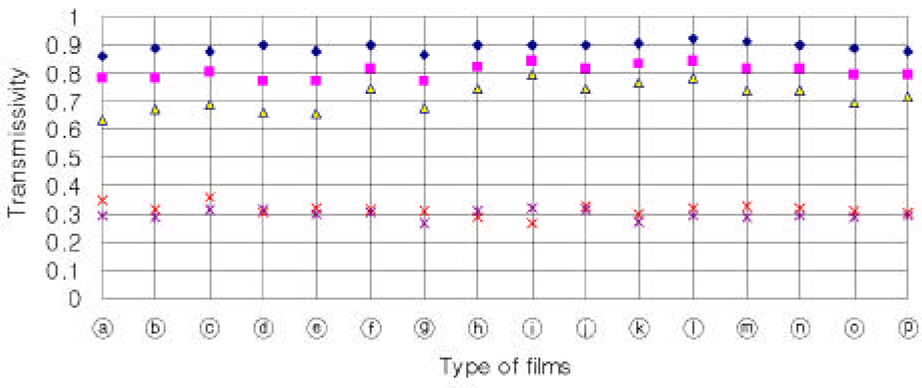
표 11-5. 온실 피복재의 광 투과율 (12시)

| Type of film | | thickness (mm) | Single | Double | Triple | Single+ screen | Double+ screen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 제비표필름 | ⓐ보 광 | 0.06 | 0.861 | 0.786 | 0.632 | 0.350 | 0.292 |
| | ⓑ방 무 | 0.06 | 0.890 | 0.784 | 0.674 | 0.315 | 0.290 |
| | ⓒ슈퍼크린 | 0.06 | 0.878 | 0.806 | 0.688 | 0.362 | 0.315 |
| | ⓓE. V. A | 0.06 | 0.898 | 0.772 | 0.660 | 0.307 | 0.319 |
| | ⓔ스마트장수 | 0.06 | 0.880 | 0.770 | 0.653 | 0.320 | 0.30 |
| | ⓕ다모아 | 0.06 | 0.899 | 0.817 | 0.743 | 0.314 | 0.308 |
| | ⓖ삼층방무 | 0.06 | 0.868 | 0.772 | 0.679 | 0.309 | 0.266 |
| | ⓗP. E | 0.06 | 0.900 | 0.821 | 0.747 | 0.289 | 0.310 |
| | ⓘ보 온 | 0.04 | 0.900 | 0.847 | 0.796 | 0.264 | 0.320 |
| 일신화학 | ⓙ풍요 | 0.06 | 0.898 | 0.819 | 0.747 | 0.326 | 0.314 |
| | ⓚ슈퍼장수 | 0.06 | 0.905 | 0.832 | 0.764 | 0.299 | 0.273 |
| | ⓛ삼중E.V.A | 0.06 | 0.920 | 0.843 | 0.783 | 0.321 | 0.295 |
| | ⓜ삼 중 | 0.06 | 0.910 | 0.818 | 0.740 | 0.328 | 0.290 |
| | ⓝ소 무 | 0.07 | 0.902 | 0.816 | 0.738 | 0.320 | 0.293 |
| | ⓞ장 수 | 0.10 | 0.887 | 0.792 | 0.694 | 0.311 | 0.290 |
| | ⓟ오래가무적 | 0.15 | 0.880 | 0.794 | 0.308 | 0.308 | 0.293 |

표 11-6. 온실 피복재의 광 투과율 (15시)

| Type of film | | thickness (mm) | Single | Double | Triple | Single+ screen | Double+ screen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 제비표필름 | ⓐ보 광 | 0.06 | 0.795 | 0.660 | 0.530 | 0.238 | 0.219 |
| | ⓑ방 무 | 0.06 | 0.714 | 0.564 | 0.486 | 0.230 | 0.198 |
| | ⓒ슈퍼크린 | 0.06 | 0.710 | 0.564 | 0.476 | 0.220 | 0.199 |
| | ⓓE. V. A | 0.06 | 0.700 | 0.530 | 0.480 | 0.221 | 0.204 |
| | ⓔ스마트장수 | 0.06 | 0.657 | 0.490 | 0.425 | 0.215 | 0.190 |
| | ⓕ다모아 | 0.06 | 0.883 | 0.753 | 0.640 | 0.263 | 0.310 |
| | ⓖ삼층방무 | 0.06 | 0.776 | 0.655 | 0.558 | 0.266 | 0.240 |
| | ⓗP. E | 0.06 | 0.860 | 0.750 | 0.649 | 0.244 | 0.325 |
| | ⓘ보 온 | 0.04 | 0.806 | 0.695 | 0.597 | 0.250 | 0.254 |
| 일신화학 | ⓙ풍요 | 0.06 | 0.840 | 0.742 | 0.620 | 0.266 | 0.264 |
| | ⓚ슈퍼장수 | 0.06 | 0.860 | 0.773 | 0.673 | 0.320 | 0.310 |
| | ⓛ삼중E.V.A | 0.06 | 0.884 | 0.844 | 0.703 | 0.329 | 0.325 |
| | ⓜ삼 중 | 0.06 | 0.846 | 0.718 | 0.658 | 0.344 | 0.300 |
| | ⓝ소 무 | 0.07 | 0.831 | 0.700 | 0.635 | 0.315 | 0.310 |
| | ⓞ장 수 | 0.1 | 0.764 | 0.707 | 0.607 | 0.337 | 0.305 |
| | ⓟ오래가무적 | 0.15 | 0.850 | 0.725 | 0.635 | 0.309 | 0.300 |

그림 11-11은 12시경에 측정한 각 종류의 필름에 대한 피복 겹수에 따른 광 투과율을 보여준다. 각 필름에 대한 광 투과율은 1겹, 2겹, 3겹일 때 각각 0.861 0.92, 0.77 0.847, 0.632 0.796으로 나타났으며, 차광망을 같이 사용할 경우에 있어서는 1중과 2중 모두 매우 낮은 광 투과율을 보였다. 이때의 광 투과율은 0.219 0.362사이의 값으로 나타났다.




(◆single, ▩double, △triple, ×single+screen, ∗double+screen)

그림 11-11. 온실 피복재의 피복 겹수에 따른 광 투과율 (12시)

다. 시간별 광 투과율

온실 피복재는 설치 후 시간이 경과함에 따라 광 투과율이 낮아지는데 이것은 피복된 필름이 먼지 및 기타 오염물에 의해 오염되기 때문이다. 또한 필름에 아침 저녁으로 물방울이 부착되어 광 투과를 방해하는 것은 이미 알려져 있는 사실이다

그림 11-12는 1겹일 때의 9시, 12시, 15시에 측정한 시간대별 광 투과율을 나타낸 것으로 12시경에 측정한 광 투과율이 가장 높게 나타났으며, 다음이 9시이고 15시경에 측정한 광 투과율은 비교적 낮은 투과율을 보였다. 12시 즉 태양의 고도가 높은 상태에서는 비교적 투과율이 고르게 나타났으나 태양의 고도가 낮은 9시, 15시경에 측정한 경우에 있어서는 광 투과율이 필름 종류에

따라 큰 차이를 보였다.

각 필름에 대하여 9시, 12시, 15시의 광 투과율을 살펴보면 각각 0.765 0.898, 0.861 0.92, 0.657 0.884로 나타났다.

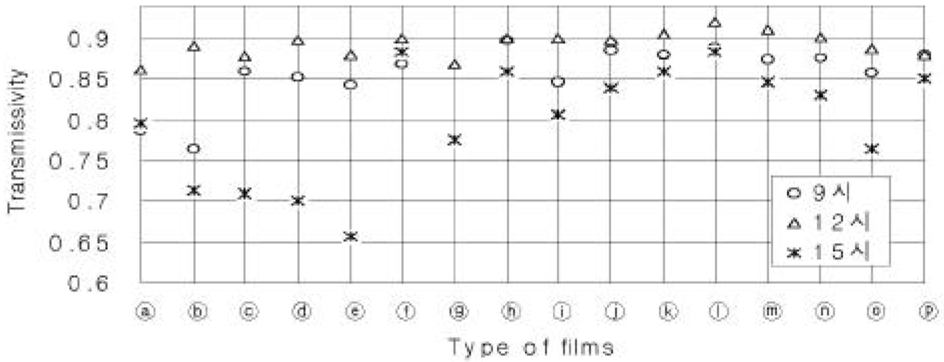



그림 11-12. 필름 겹수가 1중일 때 측정 시간대별 광 투과율

2. 온실내의 일사량 투과율 분포 조사

가. 실험 방법

온실 내부의 일사량 분포는 광합성을 통한 작물의 생육에 커다란 영향을 미친다. 온실의 각종 구조물과 장치에 의한 그늘 면적이 크면 작물의 생육이 불균일하여 광합성 작용이 충분히 이루어지지 못하기 때문에 탄수화물의 생성이 부족하다. 그래서 측지발생이나 암꽃수가 감소하고 낙과, 낙화수가 증가하며 과실의 비대로 수확량이 감소한다.

측정 기기는 80 개의 광센서가 설치된 광센서 어레이(PAR-80, Decagon Devices Inc, USA)를 이용하여 온실 내부의 일사량 분포를 측정을 하였다. 80 개의 측정 셀 간의 편차를 보정하기 위하여 캘리브레이션을 실시하였다. 흐린 날과 맑은 날 등 다양한 구름 상태에 대하여 Decagon 광센서 어레이와 또 다른 광센서의 값을 동시에 측정하여 보정하였다. 일사량의 보정에 사용한 광센

서는 LI-COR사의 Quantum 센서(그림 11-13)로서 메이커에서 제공한 캘리브레이션 값을 참 값으로 간주하였다. Decagon 광센서 어레이의 80 개의 광센서 각각에 대하여 일사량을 보정하였으며, 그림 11-14는 그 일례로 첫 번째 광센서의 보정 결과를 보여주는 것으로서 이 때의 R2 값은 0.9947 이었다.

그림 11-15와 같은 설치대에 위치한 Decagon 광센서 어레이를 온실 내부에 북쪽에서 남쪽을 80 cm 간격으로 이동하며 일사량의 분포를 측정하였다. 또한 이와 동시에 온실 외부의 그늘이 없는 위치에서 LI-COR 광센서를 위치시키고 일사량을 동시에 측정하였다. 온실의 광 투과율은 외부에서 측정한 일사량을 기준으로 하여 내부에서 측정된 일사량의 비율로부터 구하였다.

그림 11-13. Decagon 광 센서 보정을 위한 Quantum 센서와 데이터 수집장치

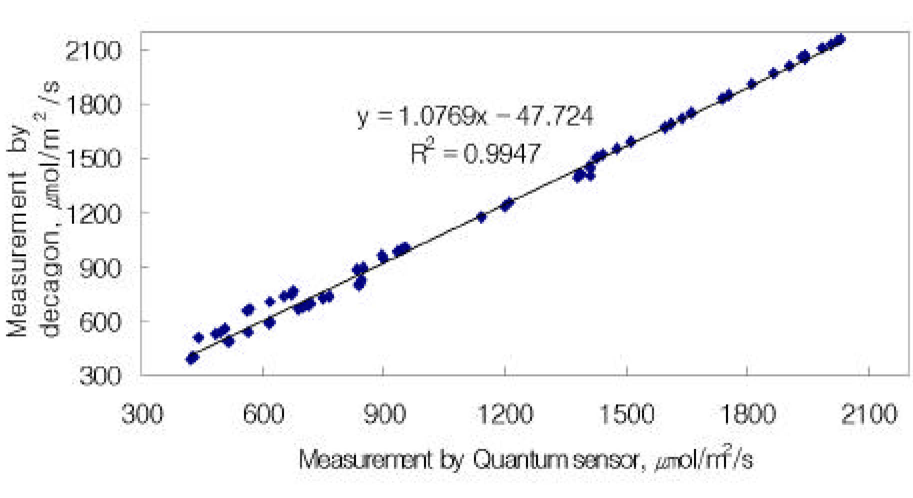
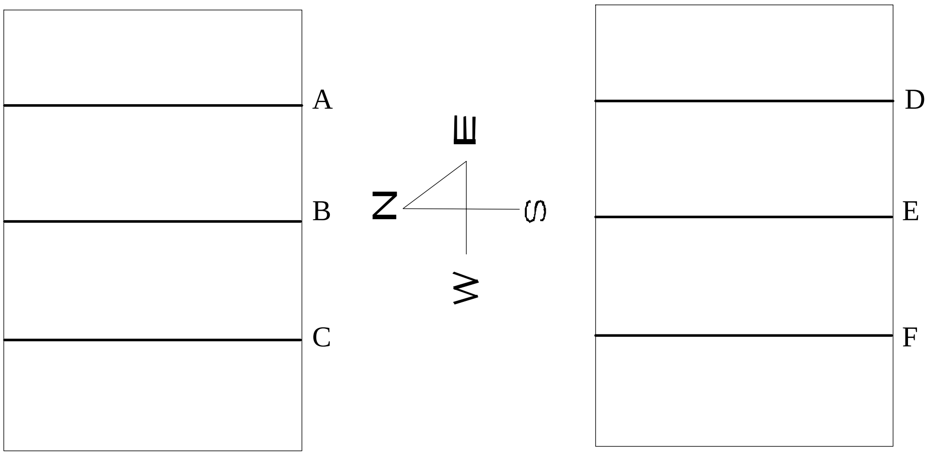



**그림** 11-14. Decagon PAR-80 **센서의** 1**번 셀의 보정**

**그림** 11-15. **온실 내부의 광 투과율을 위한 측정하기 위한 측정 방법**

무기둥 온실과 표준형 온실 내부로 투과된 태양광의 일사량 분포를 조사하기 위하여 표준형 온실은 2중창 상태에서 무기둥은 1중창, 2중창, 3중창 상태에서 각각 9시, 12시, 15시의 시간대 별로 일사량 분포를 측정하였다. 측정 지점은 그림 11-16에서처럼  하우스 내부의 전체 길이를 4등분한 지점(무기둥-A, B, C, 표준형-D, E, F)에서 하우스 내부 폭의 전체 길이에 대하여 측정하였으며, 측정 높이는 지면에서 1.2 m 위치에서 측정하였다. 실험은 1997년 5월 23일부터 6월 15일까지 실시하였다.




(a) 무기둥 온실　　　　　　　　(b) 표준형 온실

그림 11-16. 각 온실별 내부 광 투과율을 위한 측정 위치

나. 온실구조에 따른 광 투과율의 분석

그림 11-17은 온실 내부의 광 투과율을 분석하기 위하여 14m의 온실 폭을 작물 재배 지역, 중앙통로, 양쪽 옆의 통로 등 5구간으로 설정하였다.

온실 폭 14m에 대한 전체 광 투과율은 표준형 2겹은 0.415, 무기둥 1겹, 2겹, 3겹의 경우는 0.489, 0.442, 0.351로 피복수가 증가할수록 감소하는 것을 볼

수 있었으며, 작물 재배상에 있어서는 표준형 2겹의 경우는 온실의 남쪽과 북쪽이 각각 0.461, 0.458로 큰 차이가 없었으나 온실의 중앙 통로에서는 0.175로 매우 낮은 투과율을 보였다. 남쪽의 무기둥 온실의 1겹, 2겹, 3겹에 대해 각각 0.525,0.441,0.341이었으며, 북쪽에 대해서는 0.489, 0.442, 0.351로 나타났으며, 중앙 지점의 통로에서도 비슷한 투과율을 보였다(표 11-7). 그림 11-18은 외부 광량과 피복조건에 따른 온실 내부의 투과율을 나타낸 것이다.

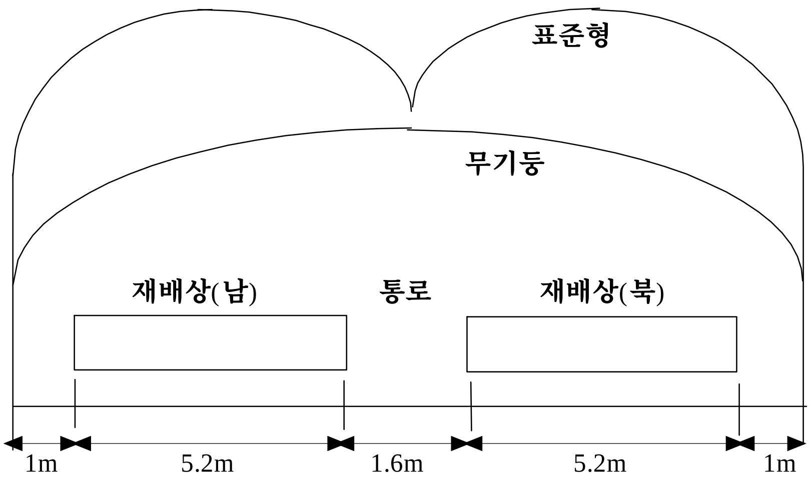



그림 11-17. 온실 내부의 작물 재배 위치 설정

표 11-7. 각 온실의 피복 겹수별 광 투과율

| 온실 및 피복 | 전체 (14m) | 재배상-남 (5.2m) | 통로 중앙 (0.6m) | 재배상-북 (5.2m) |
|---|---|---|---|---|
| 표준형-2겹 | 0.415(100) | 0.461 | 0.175 | 0.458 |
| 무기둥-1겹 | 0.489(118) | 0.525 | 0.437 | 0.489 |
| 무기둥-2겹 | 0.442(107) | 0.441 | 0.374 | 0.442 |
| 무기둥-3겹 | 0.351(85) | 0.341 | 0.368 | 0.351 |

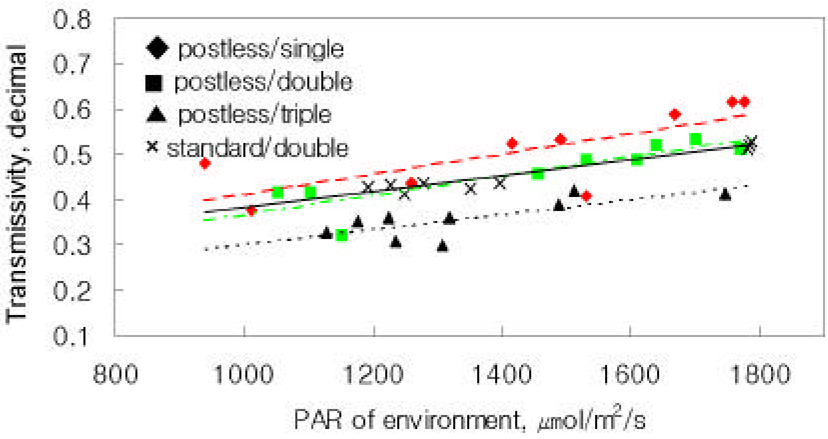



그림 11-18. 각 온실의 형태별 작물 재배 지역의 광 투과율

그림 11-19는 측정 시간에 따른 온실 내 PAR 투과율의 평균치를 온실 종류 및 피복 겹수에 따라 나타낸 것이다. 정오 무렵의 투과율이 오전 9시 또는 오후 3시에 비하여 높은 것을 알 수 있다. 측정 시간과 광 조건을 모두 포함한 PAR 투과율의 전체 평균은 표준형 온실의 경우에는 0.42 이었으며, 무기둥 온실 1겹 피복, 2겹 피복, 3겹 피복의 경우에는 각각 0.49, 0.44 및 0.35 이었다. 따라서 무기둥 온실은 천창을 개방하여 1겹 피복인 경우에는 표준형 온실 보다 평균 PAR 투과율이 평균적으로 18% 높았으며, 2겹 피복상태의 경우에는 6.5% 높았다. 반면 무기둥 온실의 천창을 모두 닫아 3겹 피복 상태의 경우에는 표준형 온실 보다 평균 PAR 투과율이 15% 낮았다.

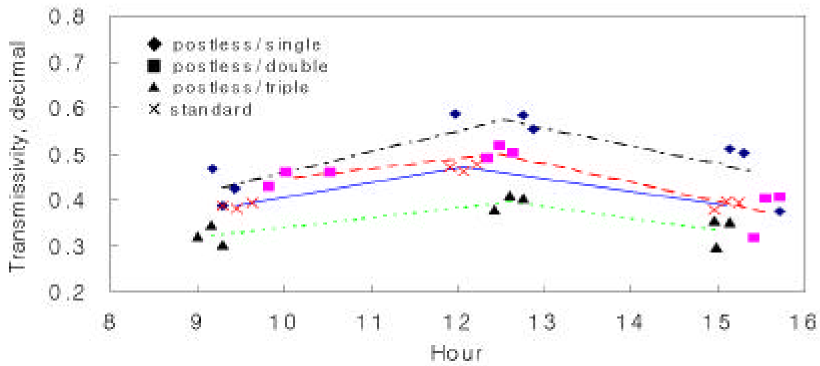



그림 11-19. 온실 형태에 따른 측정 시간대별 광 투과율 비교

### 3. CO2 가스를 이용한 환기 실험

#### 가. 실험 방법

천창과 측창의 개폐 방법에 따른 온실의 환기율을 측정하기 위하여 CO2 가스를 이용한 환기 실험을 수행하였다. 각각의 하우스를 밀폐시킨 후 순도 99.5%의 액화 CO2가 20 kg 저장된 봄베를 이용하여 하우스의 내부 1/3 위치에서 CO2 가스를 방출하며 팬을 사용하여 내부의 공기를 교반하였다. CO2 농도가 2000ppm 정도에 도달될 때 CO2 공급을 멈추고 CO2 가스가 하우스 내부에 균일하게 확산될 수 있도록 약 5 10분을 밀폐상태로 유지시킨 뒤 그림 11-20에 표시된 방법에 따라 환기창을 개방하고 CO2 농도의 변화를 5초 간격으로 측정하였다.

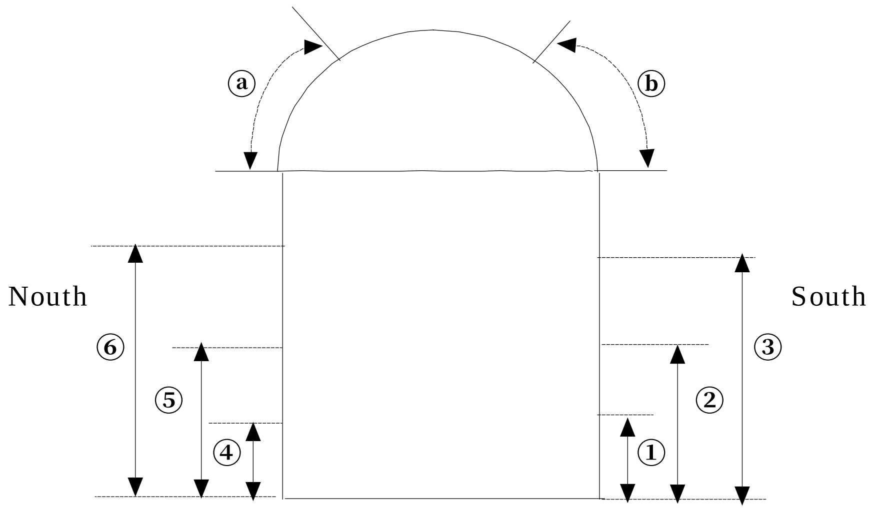
천창 및 측창의 개방방법은 천창만 개방, 천창 미개방하에 남·북 측창을 각각 30cm, 60cm, 90cm 개방, 양쪽 측창 모두 30cm, 60cm, 90cm 개방하였으며, 또한 천창 개방하에 남·북 측창을 각각 30cm, 60cm, 90cm 개방, 양쪽 측창 모두 30cm, 60cm, 90cm 개방하였다. 따라서 총 19가지 개방 방법에 대하여 환기실험을 실시하였다.

그림 11-20은 환기창의 개방방법을 보여주는 그림이다. 여기서 천창만 개방은 ⓐ, ⓑ 둘 다 개방하는 것이고, 천창 미개방시 측창 개방은 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ①④, ②⑤, ③⑥만 개방하고, 천창 개방시 측창 개방은 ⓐⓑ를 개방한 상태에서 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ①④, ②⑤, ③⑥을 개방하는 것이다.

하우스 내부의 $CO_2$ 농도가 대기의 $CO_2$ 농도(약 300ppm)부근까지 감소하였을 때 자료의 저장을 종료하였으며, 다시 하우스를 밀폐시킨 후 $CO_2$를 공급하여 실험을 반복 실시하였다.

온실 내부에 작물이 재배 중인 경우에는 캐노피에 의하여 공기의 흐름이 방해를 받기 때문에 환기율이 저하된다. 따라서 본 연구에서는 작물의 존재가 환기율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 작물이 있는 경우와 작물이 없는 경우에 대하여 각각 실험을 수행하였다.

비닐 하우스는 완전히 밀폐된 공간이 아니기 때문에 창을 전혀 개방하지 않아도 피복의 여러 곳에서 외부와 공기가 교환된다. 이러한 공기의 누출에 의한 환기율을 조사하기 위하여 모든 창을 닫은 상태에서 $CO_2$ 가스를 2000ppm 이상의 농도에 도달할 때까지 공급한 후 1시간 동안의 $CO_2$ 농도 변화를 측정하였다. 이러한 밀폐 실험은 내·외 공기의 온도차를 고려하여 주간과 야간에 반복하여 실시하였다. $CO_2$ 가스를 이용한 환기 실험은 1997년 8월 15일부터 9월 7일까지 수행되었다.




* (ⓐ,ⓑ,①,④ - 30cm, ②,⑤ - 60cm, ③,⑥ - 90cm)

**그림** 11-20. **온실의 환기 실험을 위한 측창과 천창의 개폐 방법**

## 나. 온실 구조에 따른 환기율 분석

### 1) $CO_2$ 가스를 이용한 완전 밀폐 상태의 환기율 측정

표 11-8과 같이 주간의 경우에는 상대적으로 높은 환기 횟수를 보이고 야간에는 낮은 환기 횟수를 보였는데 이것은 온실 내·외부의 온도차가 큰 주간에는 내부공기가 팽창하여 밖으로 환기되는 공기량이 많았고, 상대적으로 온도차가 적은 야간의 경우에는 내·외부의 압력차가 적어 환기량이 적게 나타났다. 전체 환기 실험에 나타난 환기 횟수는 시간당 1회 이하로 나타났다.

표 11-8. 각 온실의 완전 밀폐하에 환기 실험 요약

| Experimental condition | | | Win (m/s) | Wout (m/s) | △t (℃) | Cg(0) ppm | Cg(t) ppm | t (sec) | S (hr-1) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| stan-dard | with plant | day | 0.10 | 1.61 | 19.29 | 1781 | 844 | 3840 | 0.97 |
| | | night | 0.08 | 1.20 | 1.81 | 729 | 608 | 2585 | 0.50 |
| | without plant | day | 0.10 | 1.73 | 19.12 | 1896 | 922 | 4305 | 0.81 |
| | | night | 0.10 | 1.18 | 4.08 | 1120 | 790 | 3800 | 0.51 |
| post-less | with plant | day | 0.10 | 0.15 | 19.82 | 1519 | 1205 | 1530 | 0.72 |
| | | night | 0.10 | 0.70 | 3.75 | 2428 | 2104 | 4020 | 0.15 |
| | without plant | day | 0.10 | 1.14 | 21.54 | 2267 | 1184 | 3880 | 0.76 |
| | | night | 0.10 | 1.09 | 5.89 | 1730 | 1121 | 4075 | 0.50 |

Win : wind velocity inside of the greenhouse Wout : wind velocity outside of the greenhouse
△t : outside temperature - inside temperature Cg(0) : initial $CO_2$ concentration
Cg(t) : $CO_2$ concentration at time t S : ventilation rate.

### 2) $CO_2$ 가스를 이용한 환기율 분석

작물이 있는 상태에서 표준형 온실, 무기둥 온실의 측창 개방 방법(그림 11-20)에 따른 실험기간의 내·외부 온도차, 내부풍속, 외부풍속, 풍향, 초기 $CO_2$ 농도, 최종 $CO_2$ 농도, 환기율 등을 나타낸 것이다(표 11-9, 표 11-10, 표

11-11, 표 11-12).

### 표 11-9. 표준형 온실의 작물이 있는 상태에서 환기율

| Open method | | △t (℃) | Wout (m/s) | Cg(0) (ppm) | Cg(t) (ppm) | t (sec) | S ($hr^{-1}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | measured | calculated |
| top-vent(a,b) | | 16.85 | 1.14 | 1420 | 503 | 760 | 8.73 | 10.16 |
| top-vent closed | 1 | 18.07 | 1.64 | 2134 | 579 | 660 | 10.80 | 11.88 |
| | 2 | 16.31 | 1.941 | 1312 | 506 | 270 | 22.90 | 25.11 |
| | 3 | 16.68 | 2.47 | 2057 | 508 | 300 | 27.28 | 26.37 |
| | 4 | 16.08 | 1.39 | 1424 | 500 | 430 | 15.60 | 13.78 |
| | 5 | 16.29 | 1.98 | 2140 | 501 | 490 | 17.33 | 15.51 |
| | 6 | 19.12 | 1.7 | 1184 | 494 | 110 | 54.11 | 56.53 |
| | 1,4 | 16.91 | 0.91 | 1544 | 500 | 210 | 33.69 | 32.66 |
| | 2,5 | 4.55 | 0.81 | 2785 | 497 | 355 | 27.27 | 31.00 |
| | 3,6 | 4.52 | 0.48 | 1525 | 501 | 240 | 29.19 | 30.51 |
| top-vent opened | 1 | 4.94 | 1.49 | 1552 | 496 | 385 | 18.67 | 17.14 |
| | 2 | 5.64 | 1.61 | 1774 | 503 | 485 | 15.74 | 19.74 |
| | 3 | 5.00 | 1.28 | 2190 | 502 | 435 | 19.73 | 34.55 |
| | 4 | 8.24 | 1.54 | 1867 | 502 | 420 | 18.80 | 27.82 |
| | 5 | 7.70 | 2.09 | 2182 | 499 | 295 | 29.19 | 22.62 |
| | 6 | 6.31 | 1.75 | 2835 | 509 | 500 | 18.98 | 35.74 |
| | 1,4 | 5.00 | 1.31 | 2162 | 500 | 320 | 26.73 | 27.25 |
| | 2,5 | 4.12 | 1.86 | 1841 | 497 | 210 | 37.73 | 33.10 |
| | 3,6 | 3.82 | 1.51 | 1427 | 503 | 185 | 35.95 | 24.25 |

△t : outside temperature - inside temperature  Wout : wind velocity outside of the greenhouse

Cg(0) : initial $CO_2$ concentration  Cg(t) : $CO_2$ concentration at time t

S : ventilation rate.

### 표 11-10. 무기둥 온실의 작물이 있는 상태에서 환기율

| Open method | | △t (℃) | Wαt (m/s) | Cg(0) (ppm) | Cg(t) (ppm) | △t (sec) | S(hr-1) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | measured | calculated |
| top-vent(a,b) | | 7.00 | 1.63 | 2514 | 504 | 1035 | 8.81 | 5.17 |
| top-vent closed | 1 | 16.64 | 1.72 | 1320 | 503 | 930 | 6.75 | 6.04 |
| | 2 | 18.44 | 1.83 | 1898 | 546 | 795 | 8.98 | 10.91 |
| | 3 | 18.75 | 2.07 | 1837 | 521 | 580 | 12.8 | 12.87 |
| | 4 | 19.22 | 1.86 | 992 | 523 | 765 | 5.81 | 6.28 |
| | 5 | 19.57 | 1.86 | 1843 | 523 | 635 | 11.69 | 10.55 |
| | 6 | 11.17 | 1.76 | 1803 | 500 | 710 | 10.95 | 11.65 |
| | 1,4 | 15.80 | 1.46 | 1797 | 554 | 1630 | 4.15 | 16.49 |
| | 2,5 | 15.55 | 2.16 | 1634 | 534 | 800 | 8.34 | 8.22 |
| | 3,6 | 16.23 | 1.62 | 1529 | 605 | 375 | 14.14 | 22.32 |
| top-vent opened | 1 | 18.94 | 1.61 | 1500 | 515 | 530 | 12.54 | 12.79 |
| | 2 | 16.88 | 1.52 | 1786 | 527 | 490 | 14.71 | 25.33 |
| | 3 | 16.71 | 1.54 | 1665 | 518 | 495 | 14.26 | 21.35 |
| | 4 | 17.35 | 1.45 | 1765 | 565 | 1000 | 6.51 | 7.39 |
| | 5 | 16.13 | 1.61 | 1880 | 547 | 1235 | 5.72 | 9.56 |
| | 6 | 16.07 | 1.41 | 1555 | 532 | 630 | 10.29 | 15.42 |
| | 1,4 | 13.35 | 1.63 | 1567 | 516 | 500 | 13.66 | 15.28 |
| | 2,5 | 12.75 | 1.53 | 1709 | 501 | 485 | 15.52 | 17.20 |
| | 3,6 | 13.66 | 1.45 | 1838 | 509 | 490 | 15.64 | 19.22 |

△t : outside temperature - inside temperature　Wαt : wind velocity outside of the greenhouse

Cg(0) : initial $CO_2$ concentration　　Cg(t) : $CO_2$ concentration at time t

S : ventilation rate.

표 11-11. 표준형 온실의 작물이 없는 상태에서 환기율

| Open method | | △t (℃) | Wout (m/s) | Cg(0) (ppm) | Cg(t) (ppm) | t (sec) | S(hr-1) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | measured | calculated |
| top-vent(a,b) | | 11.18 | 1.07 | 2001 | 520 | 1654 | 5.34 | 6.78 |
| top-vent closed | 1 | 17.66 | 2.23 | 1763 | 505 | 1105 | 6.84 | 5.71 |
| | 2 | 21.20 | 1.96 | 1787 | 499 | 720 | 10.77 | 12.70 |
| | 3 | 19.60 | 2.19 | 1683 | 503 | 655 | 11.31 | 13.64 |
| | 4 | 18.60 | 1.72 | 2119 | 500 | 845 | 10.01 | 7.33 |
| | 5 | 16.71 | 1.43 | 1822 | 502 | 385 | 20.16 | 13.79 |
| | 6 | 7.25 | 0.95 | 2049 | 503 | 700 | 11.79 | 9.41 |
| | 1,4 | 8.10 | 0.58 | 1983 | 501 | 1075 | 7.60 | 8.22 |
| | 2,5 | 8.82 | 0.85 | 1963 | 503 | 565 | 14.28 | 14.07 |
| | 3,6 | 9.01 | 0.52 | 2687 | 503 | 465 | 20.21 | 20.97 |
| top-vent opened | 1 | 10.40 | 1.35 | 1824 | 502 | 350 | 22.18 | 24.19 |
| | 2 | 12.80 | 1.09 | 1799 | 496 | 240 | 32.66 | 40.28 |
| | 3 | 13.74 | 1.31 | 1723 | 503 | 260 | 28.89 | 37.43 |
| | 4 | 11.88 | 1.59 | 1960 | 499 | 435 | 18.72 | 21.90 |
| | 5 | 12.28 | 1.26 | 1895 | 405 | 370 | 29.48 | 40.80 |
| | 6 | 10.32 | 1.46 | 1904 | 506 | 380 | 20.74 | 34.44 |
| | 1,4 | 12.67 | 1.30 | 1738 | 500 | 235 | 32.31 | 20.21 |
| | 2,5 | 12.73 | 1.09 | 1792 | 493 | 240 | 32.90 | 33.62 |
| | 3,6 | 12.86 | 1.58 | 1846 | 502 | 180 | 43.50 | 54.20 |

△t : outside temperature - inside temperature  Wout : wind velocity outside of the greenhouse

Cg(0) : initial CO2 concentration  Cg(t) : CO2 concentration at time t

S : ventilation rate.

표 11-12. 무기둥 온실의 작물이 없는 상태에서 환기율

| Open method | | △t (℃) | Wout (m/s) | Cg(0) (ppm) | Cg(t) (ppm) | t (sec) | S (hr-1) measured | S (hr-1) calculated |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| top-vent(a,b) | | 16.10 | 1.21 | 2464 | 501 | 1385 | 6.56 | 7.78 |
| top-vent closed | 1 | 17.86 | 1.80 | 1623 | 616 | 1805 | 3.01 | 5.37 |
| | 2 | 8.85 | 0.67 | 1945 | 567 | 1430 | 4.82 | 11.99 |
| | 3 | 15.26 | 1.23 | 1795 | 503 | 800 | 9.61 | 14.48 |
| | 4 | 18.60 | 1.76 | 1860 | 501 | 2090 | 3.77 | 6.39 |
| | 5 | 18.50 | 1.69 | 1686 | 533 | 1015 | 6.73 | 11.89 |
| | 6 | 17.37 | 1.91 | 2272 | 502 | 860 | 10.14 | 9.21 |
| | 1,4 | 18.43 | 1.48 | 2156 | 499 | 1630 | 5.25 | 4.31 |
| | 2,5 | 10.60 | 1.20 | 2380 | 503 | 775 | 11.49 | 13.92 |
| | 3,6 | 14.86 | 1.43 | 1788 | 501 | 355 | 21.71 | 13.61 |
| top-vent opened | 1 | 19.23 | 1.00 | 1754 | 502 | 280 | 27.15 | 13.99 |
| | 2 | 19.28 | 1.32 | 1692 | 498 | 180 | 41.86 | 20.63 |
| | 3 | 19.97 | 0.94 | 1698 | 508 | 180 | 40.82 | 14.79 |
| | 4 | 17.47 | 1.16 | 1779 | 501 | 400 | 19.21 | 8.77 |
| | 5 | 16.15 | 1.47 | 1820 | 501 | 280 | 27.86 | 9.26 |
| | 6 | 15.67 | 1.56 | 1818 | 505 | 235 | 32.80 | 10.94 |
| | 1,4 | 13.94 | 1.33 | 2058 | 503 | 410 | 20.23 | 15.24 |
| | 2,5 | 11.95 | 0.86 | 1822 | 505 | 230 | 33.59 | 16.84 |
| | 3,6 | 12.01 | 1.25 | 1928 | 499 | 295 | 27.38 | 23.87 |

△t : outside temperature - inside temperature  Wout : wind velocity outside of the greenhouse

Cg(0) : initial CO2 concentration  Cg(t) : CO2 concentration at time t

S : ventilation rate.

3) 환경 요인과 창 개방 방법에 따른 환기 횟수의 모델

다음 식과 같이 환기 횟수를 환기창의 개방면적, 풍속 및 내・외의 온도차의 함수로 표시하였다.

$$S = a + b*Area + c*Wind + d*Temp$$

여기서, Area는 온실 바닥면적에 대한 창 개방면적의 비율이며, Wind는 외부풍속(m/s)이고, Temp(℃)는 온실 외부와 내부의 온도차이다(표 11-13, 표 11-14, 표 11-15, 표 11-16).

표 11-13. 표준형 온실의 작물이 있는 상태에서 다중 회귀식의 계수

| Open method | | a | b | c | d | R-square |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Top-vent closed | ⓐSouth | 82.680 | 3.252 | -6.959 | -3.701 | 0.839 |
| | ⓑNorth | -87.643 | 10.769 | 28.797 | 1.217 | 0.992 |
| | ⓐ or ⓑ | -26.330 | 9.175 | -17.813 | 2.689 | 0.632 |
| | ⓒBoth side | 20.459 | 0.982 | -5.929 | 0.645 | 0.334 |
| | ⓐ,ⓑorⓒ | -28.138 | 4.784 | -6.078 | 2.562 | 0.415 |
| Top-vent opened | ⓐSouth | 14.885 | 2.804 | -11.660 | 0.238 | 0.678 |
| | ⓑNorth | -15.161 | 6.519 | -9.263 | 0.908 | 0.787 |
| | ⓐ or ⓑ | -4.562 | 3.804 | -0.963 | 0.242 | 0.604 |
| | ⓒBoth side | 21.639 | -0.227 | 9.104 | -1.176 | 0.845 |
| | ⓐ,ⓑorⓒ | 18.963 | 0.763 | 2.657 | -0.5907 | 0.316 |
| All | | 12.224 | 1.659 | -0.995 | 0.267 | 0.238 |

Opening method ⓐ : South-30cm, 60cm, 90cm ⓑ : North-30cm, 60cm, 90cm
ⓒ : Both side- 30cm, 60cm, 90cm All : Everything opening method

표 11-14. 표준형 온실의 작물이 없는 상태에서 다중 회귀식의 계수

| Open method | | a | b | c | d | R-square |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Top-vent closed | ⓐSouth | -29.033 | 1.525 | 7.670 | 0.816 | 0.868 |
| | ⓑNorth | -87.643 | 10.769 | 28.797 | 1.217 | 0.992 |
| | ⓐ or ⓑ | 6.061 | 1.526 | -5.523 | 0.500 | 0.402 |
| | ⓒBoth side | 22.272 | 1.247 | -12.712 | -1.144 | 0.903 |
| | ⓐ,ⓑorⓒ | 6.417 | 1.035 | -3.596 | 0.382 | 0.568 |
| Top-vent opened | ⓐSouth | -5.462 | 4.078 | -9.324 | -9.324 | 0.860 |
| | ⓑNorth | 0.883 | 3.257 | -11.686 | 1.045 | 0.744 |
| | ⓐ or ⓑ | -4.988 | 3.322 | -9.302 | 1.287 | 0.826 |
| | ⓒBoth side | -32.440 | 3.802 | -9.856 | 2.978 | 0.900 |
| | ⓐ,ⓑorⓒ | -4.988 | 3.322 | -9.302 | 1.287 | 0.826 |
| All | | -9.217 | 3.118 | -5.511 | 1.117 | 0.714 |

Opening method ⓐ : South-30cm, 60cm, 90cm ⓑ : North-30cm, 60cm, 90cm
ⓒ : Both side- 30cm, 60cm, 90cm All : Everything opening method

표 11-15. **무기둥 온실의 작물이 있는 상태에서 다중 회귀식의 계수**

| Open method | | a | b | c | d | R-square |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Top-vent closed | ⓐSouth | -3.082 | 1.917 | 2.122 | 0.227 | 0.956 |
| | ⓑNorth | 14.529 | 1.724 | -8.235 | 0.317 | 0.922 |
| | ⓐ or ⓑ | 6.317 | 2.279 | -2.009 | 0.010 | 0.782 |
| | ⓒBoth side | -0.294 | -1.320 | -19.159 | 3.658 | 0.840 |
| | ⓐ,ⓑorⓒ | 9.466 | 1.372 | -3.813 | 0.107 | 0.555 |
| Top-vent opened | ⓐSouth | 16.833 | 0.557 | -12.274 | 0.913 | 0.724 |
| | ⓑNorth | -11.924 | 2.252 | 6.843 | -0.191 | 0.818 |
| | ⓐ or ⓑ | -58.572 | 0.975 | 10.402 | 2.991 | 0.778 |
| | ⓒBoth side | -19.426 | 0.957 | 8.298 | 1.216 | 0.964 |
| | ⓐ,ⓑorⓒ | -16.222 | 2.416 | -2.039 | 1.005 | 0.679 |
| All | | 5.877 | 1.395 | -4.457 | 0.330 | 0.581 |

Opening method ⓐ : South-30cm, 60cm, 90cm ⓑ : North-30cm, 60cm, 90cm
ⓒ : Both side- 30cm, 60cm, 90cm All : Everything opening method

표 11-16. **무기둥 온실의 작물이 없는 상태에서 다중 회귀식의 계수**

| Open method | | a | b | c | d | R-square |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Top-vent closed | ⓐSouth | -3.082 | 1.917 | 2.122 | 0.227 | 0.956 |
| | ⓑNorth | 17.825 | 1.280 | 1.951 | -0.963 | 0.959 |
| | ⓐ or ⓑ | -1.730 | 2.150 | 0.130 | 0.146 | 0.892 |
| | ⓒBoth side | -9.226 | 3.447 | 5.076 | -0.169 | 0.989 |
| | ⓐ,ⓑorⓒ | -3.869 | 2.834 | 1.423 | 0.031 | 0.938 |
| Top-vent opened | ⓐSouth | -121.923 | 4.629 | 17.350 | 5.578 | 0.983 |
| | ⓑNorth | -29.479 | 6.640 | -0.873 | 0.769 | 0.963 |
| | ⓐ or ⓑ | -88.618 | 6.018 | 10.043 | 3.784 | 0.956 |
| | ⓒBoth side | -12.874 | 3.009 | -5.271 | 1.238 | 0.615 |
| | ⓐ,ⓑorⓒ | -75.453 | 4.653 | 7.098 | 3.762 | 0.785 |
| All | | -28.207 | 4.059 | -4.968 | 1.960 | 0.765 |

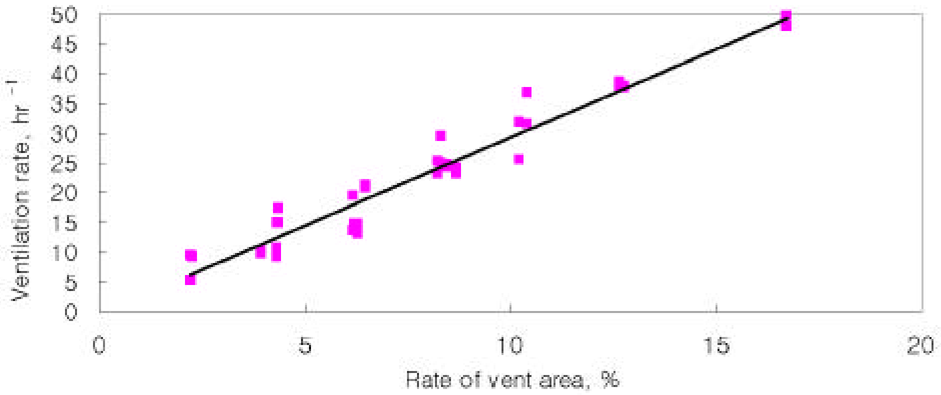
Opening method ⓐ : South-30cm, 60cm, 90cm ⓑ : North-30cm, 60cm, 90cm
ⓒ : Both side- 30cm, 60cm, 90cm All : Everything opening method

· **표준형 온실의 작물이 없는 경우**(**그림** 11-21(a))

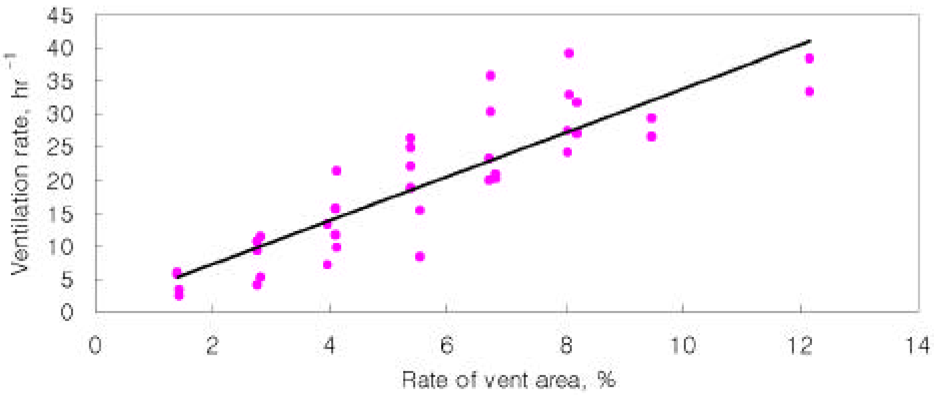
$$S = 3.111(AREA) - 5.511(WIND) + 1.117(TEMP) - 9.217$$
$$(R^2 = 0.7139)$$

· **무기둥 온실의 작물이 없는 경우**(**그림** 11-21(b))

$$S = 4.059(AREA) - 4.968(WIND) + 1.959(TEMP) - 28.207$$
$$(R^2 = 0.7646)$$




(a) **표준형 온실**




(b) **무기둥 온실**

**그림** 11-21. **각 온실의 다중 회귀식의 비교**

## 제 4 절 오이 재배 농가 설문조사 분석

오이 재배농가의 경험을 환경관리 모형에 응용하기 위하여 순천시, 구례군, 여수시 일원의 시설오이 재배농가를 대상으로 방문에 의한 설문조사를 실시하였다. 조사 내용에는 농가 일반 현황과 온실의 형태와 구조, 파종, 육묘, 정식, 방제, 수확 등의 재배관리 방법 및 환경관리 실태 등이 포함되었다. 조사 기간은 1998년 8월 22일부터 9월 4일까지 2주간이었으며, 총 23농가를 조사하였다. 설문조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

### 1. 농가 일반 현황

온실의 면적은 최소 400평에서 최대 1,200평까지이었으며, 평균은 648평이었다. 시설을 이용한 오이 재배 경력은 평균 15.8년이었으며, 시설오이 재배 경력이 10년 이상인 농가가 87%를 차지하였다.

### 2. 온실의 형태 및 운용

#### 가. 온실의 형태와 자동 환경제어 시스템 설치 여부

온실의 형태는 대부분 아치형 온실(95.6%)이었으며, 1개의 온실이 무기둥형이었다. 온실의 설치 방향은 동서동이 30.4%, 남북동이 69.6%로 조사되었다. 온실의 연동수는 단동, 2연동, 3연동이 동일한 비율로 조사되었다. 또한 자동 환경제어 시스템이 설치된 농가는 13%로 매우 낮게 조사되었는데, 그 원인은 설치비가 비싸고, 농가가 자동 환경제어 시스템에 익숙하지 않으며, 기기의 고장 등에 의한 작물의 피해를 염려하기 때문인 것으로 조사되었다. 또한 자동 환경제어 시스템을 설치한 농가에서도 자동과 수동을 겸하여 사용하고 있는 것으로 조사되었다.

#### 나. 온실의 운용

온실의 피복 겹수는 3중으로 설치된 온실이 70%로 가장 많았고, 부직포와

차광망을 설치한 농가는 47.8%로 조사되었다. 비닐 교체간격을 조사한 결과 내피(2중, 3중)의 평균 교체 시기는 1.9년 간격으로서 71%의 농가가 매년 교체하고 있었으며, 외피(1중)의 평균 교체시기는 1.1년으로 93%의 농가가 매년 교체한다고 응답하였다. 천창과 측창의 개방 방법에 있어서는 개폐모터를 사용한 경우와 손으로 열어주는 경우가 있었는데, 천창의 경우 60.9%, 측창의 경우 83%가 모터를 이용하여 창을 개폐하였다. 측창의 개방 높이는 온도에 기준을 둔다고 답한 농가가 56.5%이었고, 아침에 창을 개방하는 순서에 있어서는 천창을 먼저 열고 측창을 나중에 개방하며 풍속과 강우를 고려하여 창을 개폐한다고 하였으며, 바람이 불어오는 쪽은 일반적으로 닫고 반대편을 개방하여 작물의 피해를 줄이고, 우천시에도 역시 빗물이 온실로 유입되지 않도록 천창, 측창을 모두 닫는데 경우에 따라서는 측창을 약간 개방하는 것으로 조사되었다. 관수에 있어서는 점적 관수가 보편적으로 사용되었으며(73.9%) 호스 관수도 이용되고 있었다(21.3%).

### 다. 온실 재배의 환경 요인

온실 재배의 환경요인 중 가장 중요하다고 생각되는 인자는 온도(34.8%), 수분(30.4%), 환기(30.4%), 광량(17.4%)의 순으로 조사되었다(표 11-17).

표 11-17. 온실 환경 관리의 최우선 항목

| 항 목 | 온 도 | 수 분 | 환 기 | 광량 | 기 타 |
|---|---|---|---|---|---|
| 비율 (%) | 34.8 | 30.4 | 30.4 | 17.4 | 16 |

## 3. 오이 생육 및 재배 관리

### 가. 파종

일반적으로 년중 1회 오이를 재배하고 있으며(82.6%), 구례 지역에서는 수출용 오이를 재배하는 농가가 더러 년 2회를 재배하고 있다. 표 11-18과 같이

파종 시기는 11월이 56.5%로 가장 많았으며, 품종은 겨울살이가 가장 많이 재배되고 있다(60.8%).

### 나. 육묘 관리

육묘시 온실 내부의 주간 온도를 25 28℃로 맞추어 주는 농가가 60.8%로 가장 많았으며, 다음이 20 23℃(21.7%)이었다. 야간의 설정온도는 13 17℃는 43.8%, 18 20℃는 21.7%로 조사되었는데, 육묘 기간의 온도를 높이면, 정식 이후 생육기에도 높은 온도 조건을 필요로 한다고 응답하는 농가가 있었다. 또한 파종시 상토만을 사용한 경우가 65.2%로 가장 많았고, 상토와 본밭 흙을 혼합하여 사용한 농가와 본밭 흙만을 사용한 농가도 있었다(8%). 그리고 모든 농가들이 호박에 접붙이기를 하여 정식에 이용하였다.

표 11-18. 오이의 파종 시기와 품종

| 파종 시기 | 8월 하순 | 9월 상순 | 10월 하순 | 11월 중순 | 12월 상순 |
|---|---|---|---|---|---|
| 비율 (%) | 13 | 8 | 17.4 | 56.5 | 4 |
| 품 종 | 입추낙합<br>백(반백)오이 | 백침 | 남부청장오이 | 겨울살이<br>치청오이<br>남부청장오이 | 겨울살이<br>겨울나기 |

### 다. 정식

설문 대상의 모든 농가는 토양 재배를 하였는데 정식 시기는 파종후 20일(13%), 25일(26%), 30일 전후(52.2%)로 하였으며 본엽이 3엽(82.6%)일 때 가장 많이 하고, 4엽(13%) 또는 5엽일 때 하는 농가도 조사되었다. 이랑 폭은 150 170cm(56.5%), 120 130cm(34.7%)로 작물 포기 간격은 14 15cm(60.8%) 10 12cm(21.7%)로 정식을 실시하였으며 정식 후에는 뿌리의 활착을 위하여 주간 온도 25 28℃(56.5%)로 야간 온도는 15 18℃(65.2%)로 높게 맞추어 주는 농가가 많았다.

라. 재배 관리

대부분의 농가가 생육 단계에 따라 온도 설정치를 달리하지는 않고 있으며, 일반적으로 보일러의 변온관리 기능을 이용하여 주간 온도는 25  28℃(65.2%), 야간의 경우 14  15℃(78.3%)를 유지하는 것으로 조사되었다. 수꽃과 덩굴손은 모두 제거하고 있으나, 첫 수확이 시작된 후에는 노동력의 부족으로 이를 무시한 농가가 많은 것으로 조사되었다.

마. 병충해

일반적으로 많이 발생하는 병해로는 세균, 노균병, 탄저병, 잿빛곰팡이병, 흑성병 등이 있으며, 충해로는 응애, 총채벌레, 온실가루, 진딧물, 청벌레, 오이이등의 발생빈도가 높은 것으로 나타났으며 이러한 병충해의 원인으로는 환기(34.8%), 병원균 잠재(26%), 온도(13%), 수분조절, 기타 등으로 조사되었다.

바. 수확

오이의 수확방식은 지역에 따라 차이가 있었는데, 구례지역은 매일 수확하는 반면 순천과 여수지역은 2일 1회씩 수확을 실시하고 있다. 수확 기간은 6개월(34.8%)이 가장 많았으며, 5개월(30.4%), 7개월 이상(26.1%), 4개월(8%)의 순으로 조사되었다.

# 제 5절 복합 환경제어 시스템 및 소프트웨어 개발

## 1. 자동 환경제어 시스템 개발

### 가. 시스템의 설계

본 연구에서는 1차년도에 2연동 표준형 온실과 무기둥 온실을 각각 1동씩 설치하였으며, 이 때에 수동조작 방식의 하우스 제어반이 각 온실에 설치되었다. 3차년도에는 각 온실의 환경을 자동으로 제어할 수 있는 시스템을 설치하

였으며, 기존의 수동 제어반과 병행하여 사용할 수 있도록 하였다. 즉 각 제어반에서 수동 모드를 선택하면 기존의 수동 제어반에 의하여 각 모터 및 작동기기가 스위치 조작에 의하여 개별적으로 동작하며, 자동 모드를 선택하면 추가 설치한 자동 제어반을 통하여 컴퓨터 프로그램에 의한 원격 제어에 의하여 모터 및 제어 기기들이 동작하도록 설계하였다. 또한 수동 및 자동 방식에 의한 기기의 동작을 위하여 보온커튼, 온풍기, $CO_2$ 가스 공급기 등 기존에 설치된 작동 기기에 자동/수동 모드 선택을 위한 스위치 회로를 추가하였다. 온실 환경의 계측을 위한 센서들은 1차년도에 설치한 것들을 이용하였으나, 기존에 설치한 $CO_2$ 농도 센서는 표시값의 드리프트가 심하여 자체 교정이 가능한 형식의 센서(Sensonix, Model GH-250E)를 구입하여 교체하였다. 온실 환경 자동 계측 및 제어부의 구성을 간략히 표시하면 그림 11-22와 같다.

### 나. 시스템 제작 · 설치

제어부는 8채널 디지틀 출력 모듈 (AdvanTech, Model Adam-4050)을 기본으로 하여 구성하였으며, RS485 방식의 직렬통신을 이용하여 컴퓨터와 multi-drop 방식으로 연결하였다. 이 방식은 분산제어 방식으로서 컴퓨터와의 배선 연결을 가장 단순화할 수 있는 방식이다. 그림 11-23은 표준형 온실에 설치한 컴퓨터 제어반을 기존의 수동 제어반과 함께 나타낸 사진이며, 그림 11-24와 11-25는 무기둥 온실에 설치한 제어반의 외형과 내부 회로의 구성을 각각 보여주는 사진이다. 작동기기의 ON/OFF 조작을 위하여 ADAM-4050의 디지틀 출력 채널을 릴레이 제어 모듈(Axion Ax756B, Taiwan)에 연결하였다. 또한 디지틀 출력이 0 인 상태에서, 또는 수동 모드에서 릴레이가 OFF 상태에 있도록 하기 위하여 디지틀 출력 모듈과 릴레이 제어 모듈 사이에 그림 11-26과 같은 논리 인버터 회로를 삽입하였다.

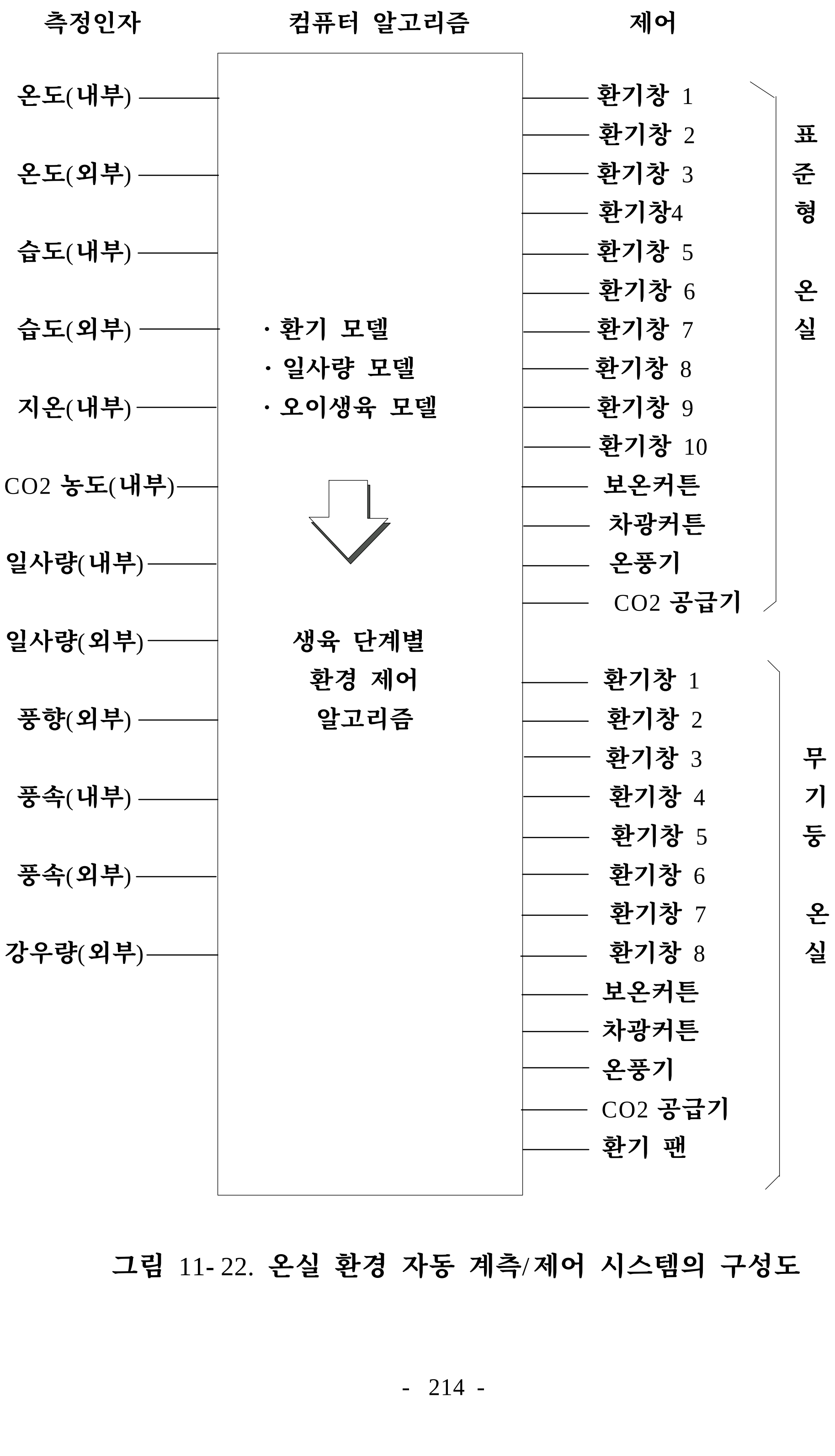



그림 11-22. 온실 환경 자동 계측/제어 시스템의 구성도

그림 11-23. 표준형 온실에 설치한 컴퓨터 제어반 외형

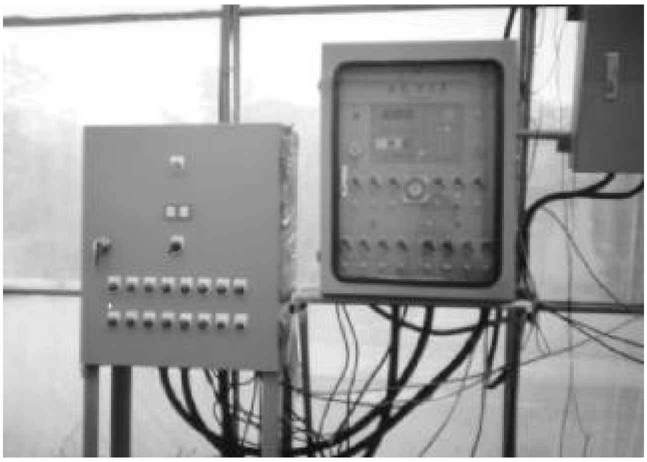


그림 11-24. 무기둥 온실에 설치한 컴퓨터 제어반 외형

그림 11-25. 무기둥 온실에 설치한 컴퓨터 제어반 내부

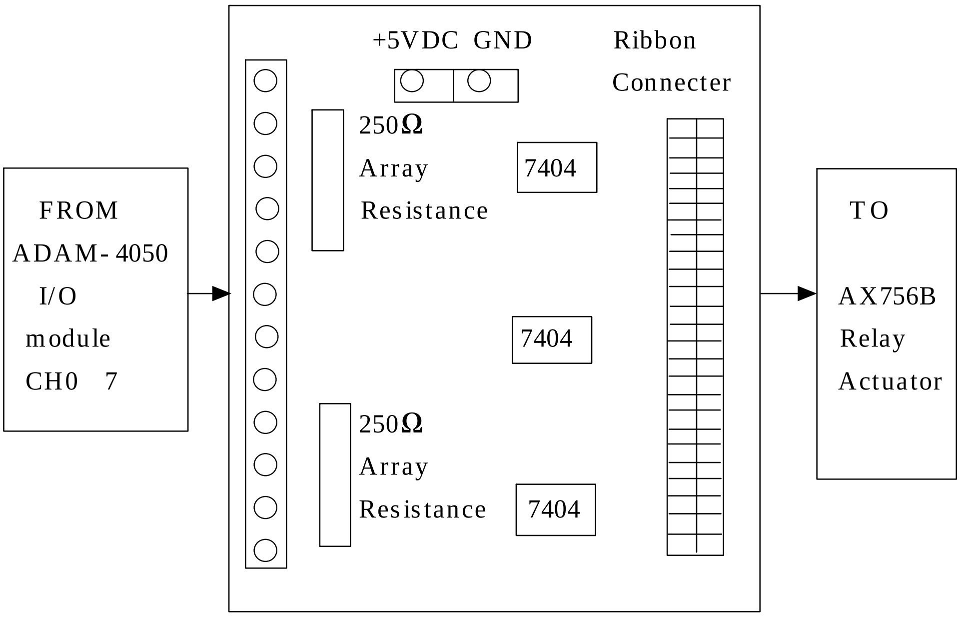



그림 11-26. TTL 인버터 패널 구성도

## 2. 자동 환경제어 소프트웨어 개발

### 가. 소프트웨어의 기본 구조 및 통신사양

PC를 통한 온실의 제어를 위한 프로그램은 사용자의 편리를 위하여 Microsoft사의 Visual Basic 5.0을 이용하여 Windows 용으로 작성하였다. 누구나 쉽게 마우스를 클릭하면 원하는 온실의 실시간 상황과 여러 가지 제어를 실행할 수 있도록 개발하였다. 한 작기의 전체 기간에 온실내부의 환경요인 및 외부 환경요인을 Data Base화 하여 일별, 월별에 따른 환경요인을 수치적인 데이터와 그래프로 처리하여 사용자가 쉽게 비교할 수 있도록 하였다. 또한 오이 생육 단계를 수치로 나타내어 오이의 성장을 확인할 수 있도록 하였다. 컴퓨터 화면에서 온실의 환경요인 및 작동 기기들을 한눈에 관측할 수 있도록 실시간 상황 모드를 무기둥 온실과 표준형 온실로 구분하였으며, 화면의 실시간 화면의 상태 변환은 모듈의 의해서 표시된다. 본 연구에서 개발한 소프트웨어의 기본 구조를 나타내면 그림 11-27과 같다. 데이터 보기의 기본 구조는 그림 11-28에 나타내었다.

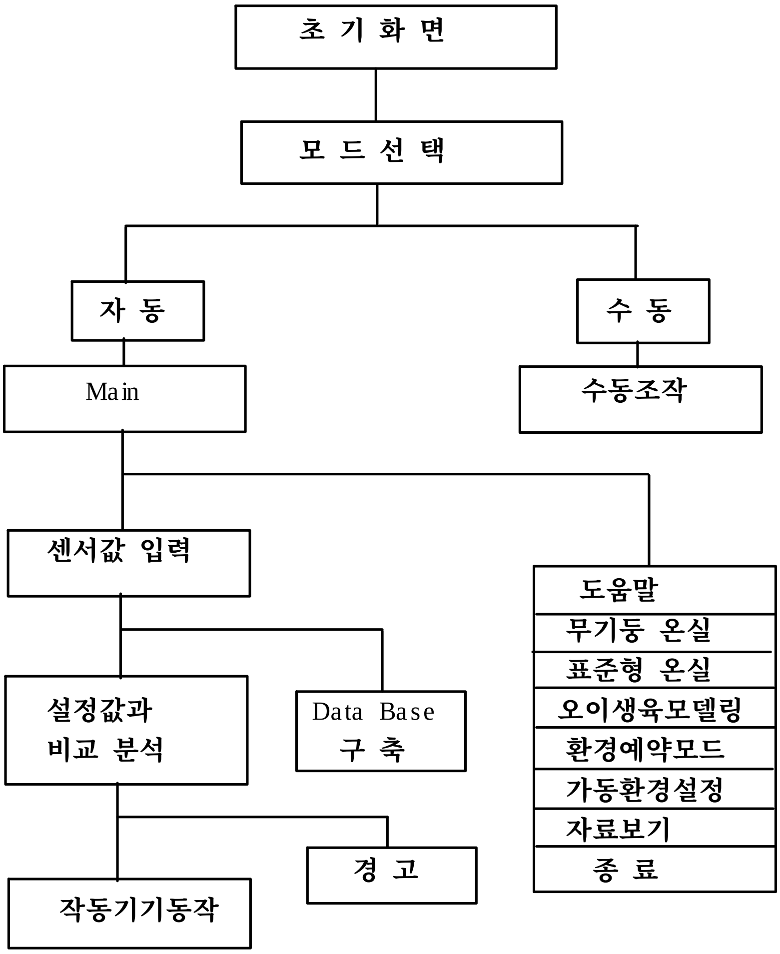



그림 11-27. 소프트웨어의 기본 구조

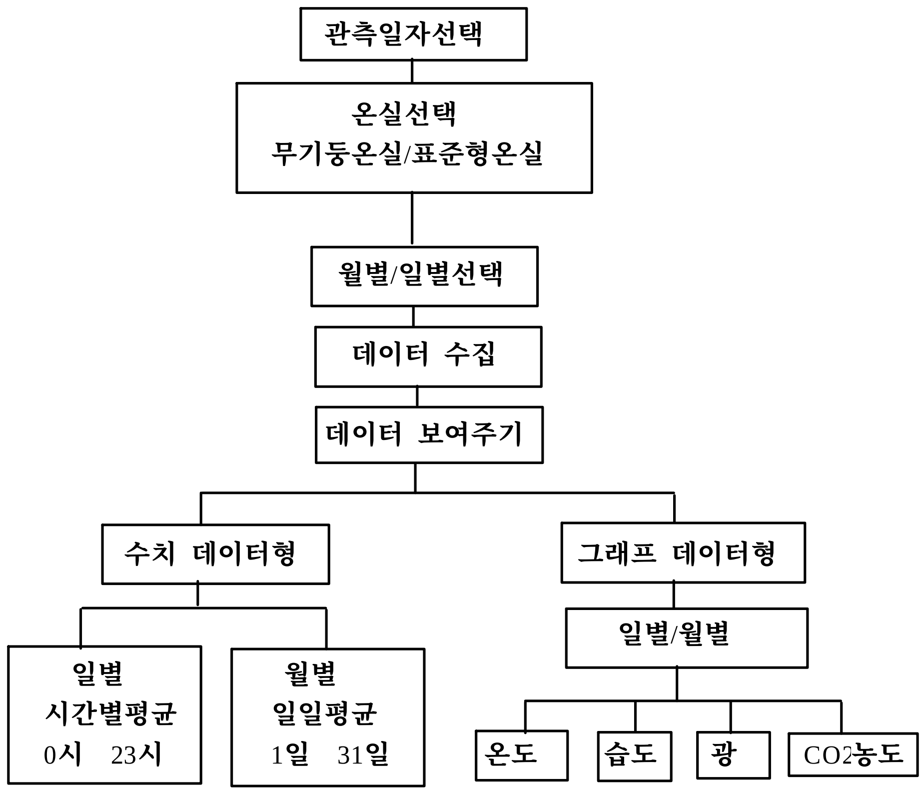



그림 11-28. 데이터 보기의 기본구조

나. PC용 소프트웨어 구성

1) 초기 화면

PC용 소프트웨어를 실행시키면 Main 화면이 나온다. 이 화면에는 각각의 A/D 변환기로부터 수집되어진 데이터들이 수집되는 상황을 관찰할 수 있도록 하였으며, 도움말, 무기둥 온실, 표준형 온실, 생육 모델링, 수동모드, 환경예약모드, 가동환경설정, 자료보기의 명령 버튼들이 나온다. 사용자는 이러한 명령 버튼들을 선택하여 사용자가 원하는 옵션으로 들어가 여러 가지 온실의 상황, 환경 설정, 수동 조작, 데이터의 기록 등을 확인할 수 있다. 또한 데이터를 보내주는 A/D 변환기의 이상유무를 확인 할 수 있도록 Main화면에 표시하였는데 정상인 경우에는 초록색으로 표시하고 이상이 있을 경우 빨강색으로 표시하여 하여 이상이 있는 A/D 변환기를 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 그림 11-27에서와 같이 01 12번 까지는 데이터 수집장치의 A/D 변환기를 나타내고, 21 24번 까지는 디지틀 입출력 모듈을 나타내고 있다. 그리고 연속적으로 환경요인의 실측값들이 들어오는 모습을 관측할 수 있도록 하였으며 데이터는 10분간 마다 데이터베이스에 저장하고 10분 동안에 수집된 데이터의 수는 입력 데이터 수 창에 나타내었다.

무기둥 온실과 표준형 온실에 데이터 수집 및 작동제어 명령에 이상이 있거나 자동제어에 이상이 발생하면 온실 상태화면에 이상이 표시되어 즉시 온실 관리자가 온실의 상황을 관찰할 수 있도록 하였다.

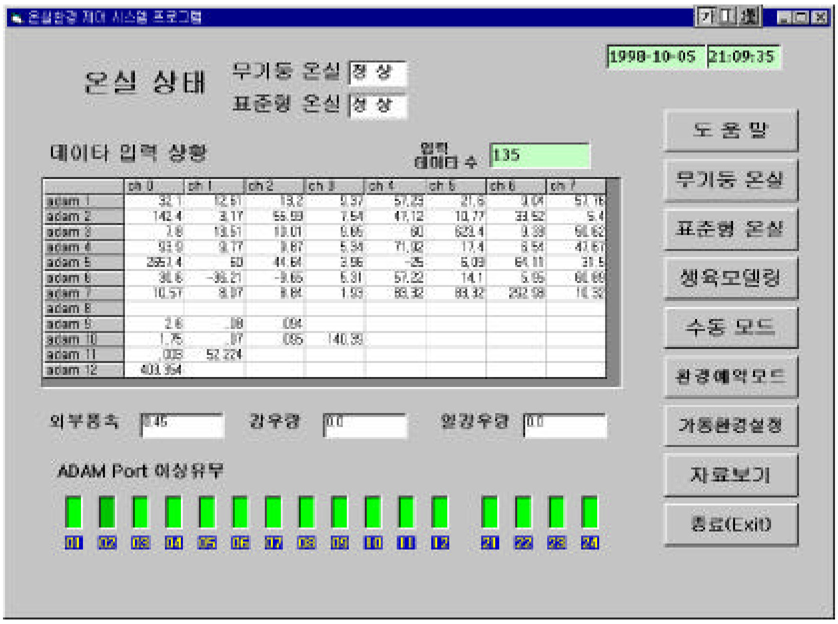


그림 11-27. 초기 화면 모드

2) 무기둥 온실, 표준형 온실 모드

현재 온실의 상황을 한 화면에서 확인할 수 있도록 무기둥 온실과 표준형 온실의 선택 버튼을 클릭하면 각 온실의 실시간 환경 계측값 및 작동 기기들의 동작 상태를 확인할 수 있다. 이 화면에는 온실 내부에 각각 다섯 곳에 설치된 센서들로부터 입력되는 값들을 평균하여 온실의 평균값이 표시되도록 하였다. 각 온실의 온도, 지중 온도, 습도, 광량, CO2 농도, 풍속 등의 계측값과 측창, 천창, 온풍기, CO2 공급기, 팬, 보온커튼, 차광 커튼 등의 작동 유무를 확인할 수 있으며, 또한 외부의 기상 요소인 온도, 지중 온도, 습도, 풍속, 풍향, 강우량 등의 계측값들을 나타냄으로서 온실 내부와 외부의 기상 환경을 한 화면에서 비교할 수 있도록 하였다(그림 11-28, 그림 11-29). 무기둥 온실과 표준형 온실 모드의 선택은 Main 화면을 통하지 않고 바로 전환 가능하다. 이 두 개의 모드에서는 또한 선택된 온실의 수동 조작이 가능하며 화면의 오른쪽 상단에서 현재 날자와 시간을 확인할 수 있다.

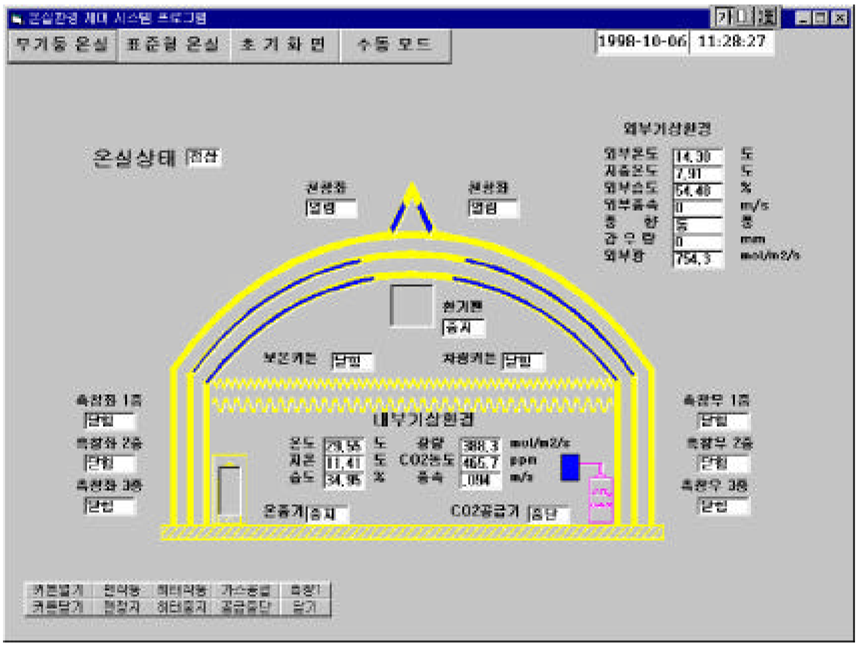



**그림** 11-28. **무기둥 온실 모드**

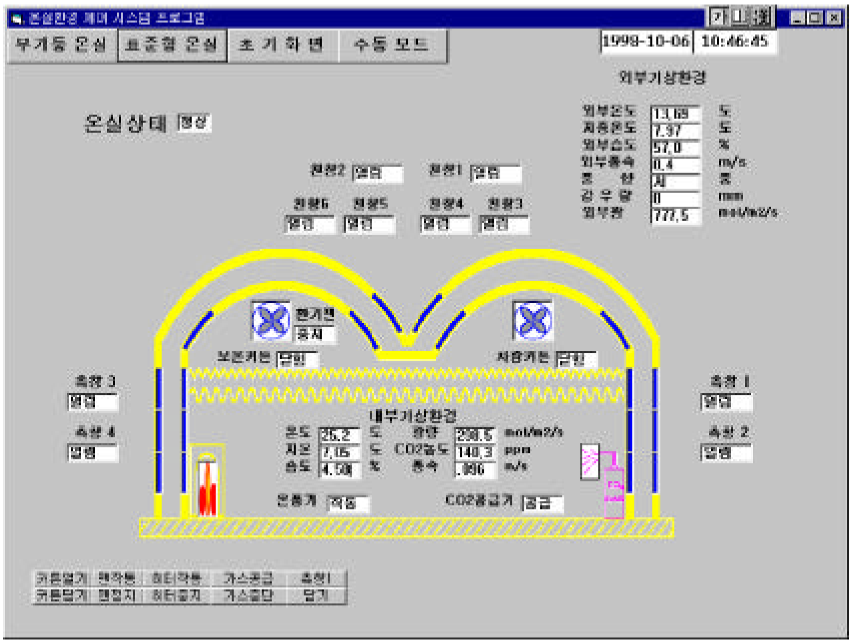



**그림** 11-29. **표준형 온실 모드**

3) 수동 모드

무기둥 온실과 표준형 온실에 설치된 각각의 작동 기기들을 PC를 통하여 수동으로 조작 할 수 있다. 그림 11-30에서 무기둥 온실의 작동 기기들은 천창 좌, 천창 우, 측창좌 1, 측창좌 2, 측창좌 3, 측창우 1, 측창우 2, 측창우 3, 보온 커튼, 차광 커튼, $CO_2$ 공급기, 온풍기, 환풍기의 수동 조작을 할 수 있으며, 표준형 온실에는 천창 1, 천창 2, 천창 3, 천창 4, 천창 5, 천창 6, 측창 1, 측창 2, 측창 3, 측창 4, 보온 커튼, 차광 커튼, $CO_2$ 공급기, 온풍기, 환풍기를 선택하여 작동 버튼을 클릭하여 작동할 수 있다. 각 작동 기기의 왼쪽에는 텍스트 박스를 만들어 현재의 작동 기기의 상태를 확인할 수 있으며, 오른쪽의 콤보 박스를 열어 작동옵션을 선택할 수 있도록 하였다. 측창과 천창의 경우에 있어서는 3단계로 나누어 창의 개방을 세분화 하였으며, 작동명령은 열림, 열림 30cm, 열림 60cm, 닫힘, 닫힘 30cm, 닫힘 60cm로 구분하였으며, 현재의 작동 기기의 상태가 선택되었다면 콤보 박스에서 선택할 수 있는 경우를 제한하여 오동작 및 작동 기기의 안정성을 염두에 두었다. 그리고 작동 명령이 끝나면 왼쪽의 텍스트 박스 안의 상태값이 다시 변하여 현재의 작동 기기의 상태를 보여준다.

온실의 선택에 있어서는 무기둥 온실의 옵션을 선택하면 표준형 온실의 옵션을 선택 할 수 없도록 하였으며, 반대로 표준형 온실을 선택하면 무기둥 온실의 옵션을 선택 할 수 없도록 하였다.

4) 환경 예약 모드

온실내의 온도, 습도 및 $CO_2$ 농도를 기준으로 제어하도록 하였으며, 설정치는 온도, 습도 및 $CO_2$ 농도의 최대 및 최소 허용치이다. 입력되는 각 온실내의 온도, 습도 및 $CO_2$ 농도로부터 환경 Logic에 의하여 온실 내 온도와 습도는 설정된 최대와 최소의 범위내에서 유지되도록 하였다.

각각의 환경 예약 값들을 입력 후 설정하면 각각의 온실은 이들의 설정값에 의하여 환경 Logic에 의하여 자동제어 된다(그림 11-31).

그림 11-30. 무기둥 온실의 수동 조작 모드

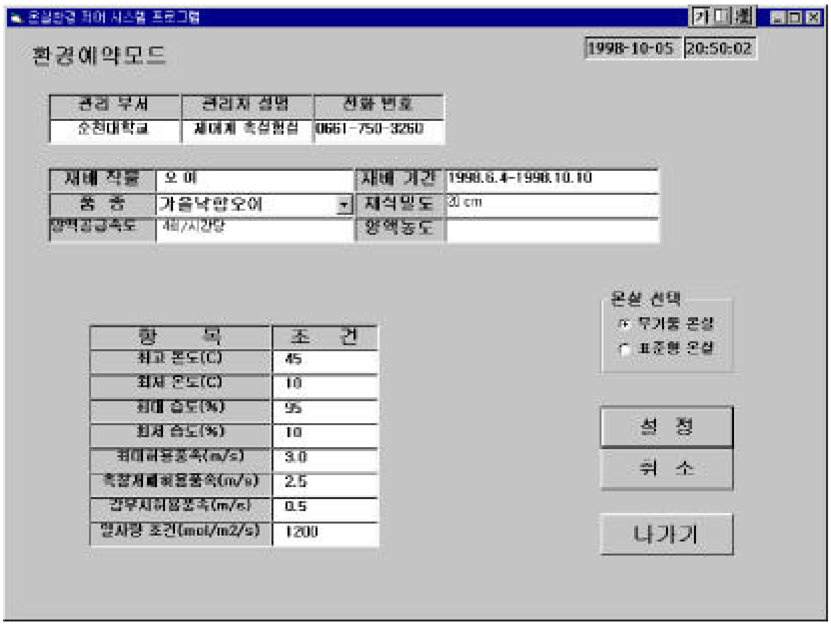


그림 11-31. 환경 예약 모드

5) 가동 환경 설정 모드

무기둥 온실과 표준형 온실의 각 작동 기기들의 작동시간을 1단계, 2단계, 3단계로 나눔으로써 PC를 이용한 천창, 측창의 개폐 조작의 작동 시간을 결정할 수 있다. 여기서 천창과 측창은 모터의 개폐속도를 기준으로 높이에 따른 시간을 설정해 주고, 보온 커튼과 차광 커튼은 일출과 일몰 시간을 기준으로 하여 설정해 주며, $CO_2$ 공급기와 환풍기는 ON/OFF의 시간을 설정 해준다(그림 11-32).

각각의 값들을 입력한 후 설정 버튼을 누르면 각 단계에서 설정된 시간 동안 작동 기기들은 작동된다. 종료 버튼을 클릭하면 온실의 선택의 옵션에서 선택된 온실로 되돌아간다.

6) 자료 보기

각각의 온실의 센서로부터 입력되는 값들은 화면에 표기된 후 별도의 파일에 일별로 ASCII 형태의 파일로 저장되어진다. 이렇게 저장된 데이터들은 DB를 구축하여 월별, 일별로 각각의 데이터 값들을 수치 데이터나 그래프 모드로 확인 가능하도록 하였으며, 한 작기 동안 온실내부의 기상 환경을 쉽게 확인할 수 있도록 하였다.

먼저 월별로 데이터를 보고 싶으면 년 월을, 일별로 데이터를 보고 싶으면 년/ 월/ 일 을 입력한 후 온실을 선택하고, 옵션 1에서는 월별/일별을 선택하고, 옵션 2에서 보고자 하는 형태의 수치 데이터나 그래프 모드의 데이터를 선택하여 보기를 클릭 하면 옵션에 해당하는 데이터 자료를 쉽게 확인 할 수 있다(그림 11-33, 그림 11-34). 그래프 모드의 데이터에서는 탭을 이용하여 온도, 습도, 일사량, $CO_2$ 농도, 외부 풍속등을 확인할 수 있으며, 온실 내부와 외부의 측정값을 나타내어 비교할 수 있도록 하였다.

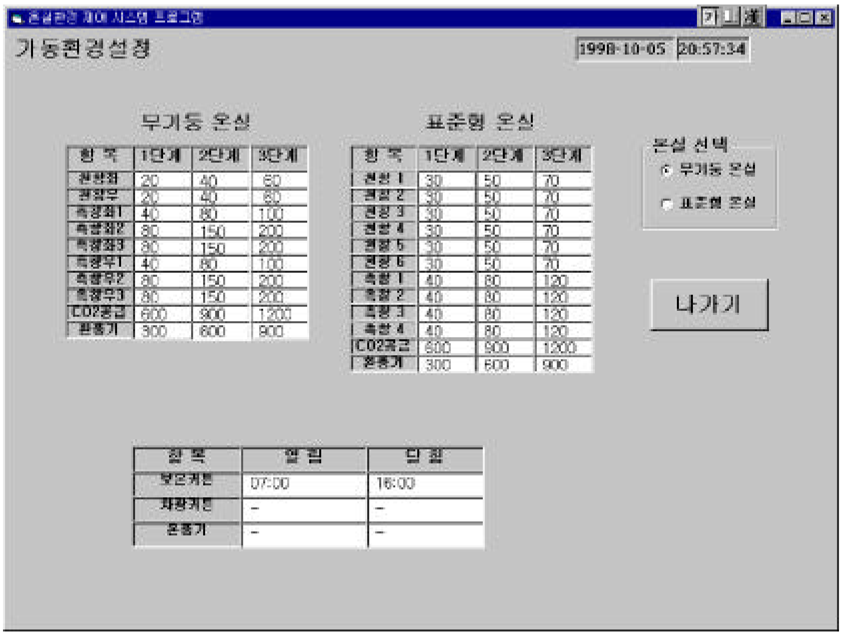



그림 11-32. 가동 환경 설정 모드


그림 11-33. 자료보기 모드 (수치 데이터)

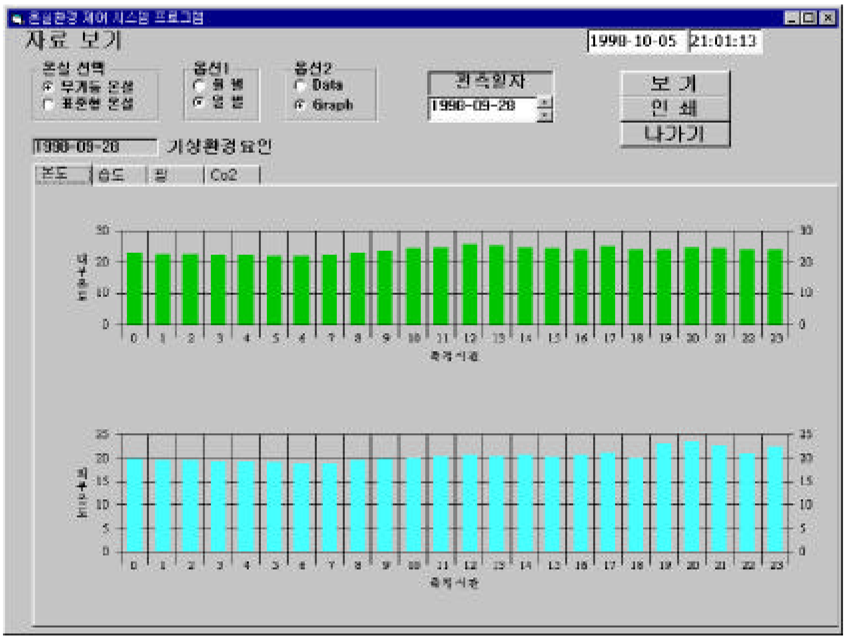



그림 11-34. 자료보기 모드(그래프)

7) 오이 생육모형

생육모델링 모드를 클릭하면 줄기, 뿌리, 과실의 건중량, 탄수화물, 질소 농도 및 줄기에 저장된 탄수화물에 대한 생육모형의 초기값을 설정해 주도록 하였다. 초기값은 정식전의 측정치 또는 추정값들이다. 무기둥 온실 또는 표준형 온실에서 재배되는 오이의 생육모형을 수치로 확인할 수 있다. 오이 생육 모형의 계산값들은 매 시간마다 하드 디스크에 저장된다(그림 11-35).


**그림** 11-35. **오이 생장모형 모드**

3. **제어 논리의 구성**

**제어 프로그램은 온실내 복합 환경 제어 시스템을 직접 구동시키는** Logic **이며**, PC**로 프로그램하여 하드웨어상에 저장시켜 작동될 수 있도록 하였다**.

**소프트웨어 상의 환경모드에서 설정한 온도가** CO2 **농도의 상·하한 값이** RAM**에 입력되어서 이에 따라 적정 온도**, **습도 및** CO2 **농도를 유지 할 수 있도록 하였으며**, **그렇지 못할 경우** Sub Logic**인 가온 과정과 감온 과정을 실행토록 하였다**. **온실 복합 환경제어 시스템의 제어** Logic**은** Main Logic**과** Sub Logic**으로 나눌수 있으며**, **각 센서로부터 입력되는 데이터 값들을** Main Logic **에서 비교하여 적정한 온도**, **습도에 있으면** Main Logic**을 빠져나가고 적당한 범위에 있지 않을 경우** Sub Logic**인 가온 과정이나 감온 과정을 실행하도록**

하였다. 커튼은 일몰과 일출시간에 따른 별도의 Logic을 구성하여 실행토록 하였다.

### 가. 가온 과정

각 센서로부터 입력되는 값들이 환경 설정 모드에서 설정된 온실내 최저온도보다 낮을 경우에는 가온을 할 수 있도록 가온 과정인 Sub Logic을 실행토록 하였다. 온실내의 온도를 높여줄 때 갑작스러운 온실내의 온도 변화는 작물의 생육에 미치는 영향을 고려하여 가급적 온도의 영향을 작게 미치는 작동기기들부터 작동시킨다.

가동환경설정모드에서 설정해 준 값에 따라 한 개의 작동기기가 작동된 후에도 측정된 값이 설정된 값보다 낮을 경우 다음 단계의 작동기기를 작동시키는 방법으로 가온과정을 수행토록 하였다. 실내의 온도가 낮을 때 다음의 작동기기 즉 보온커튼, 팬, 측창, 천창, 보일러를 이용하여 가온과정을 실행토록 하였다. 작동순서는 온도 영향이 가장 작은 보온커튼을 체크한후 열려있다면 닫히도록 하고, 환기팬의 작동 유무를 체크한후 작동하고 있다면 정지하게 하고, 정지되어 있을 경우 측창을 확인한 후 측창이 열려있다면 닫히도록 하고, 천창을 확인하여 열려 있는 경우 닫히도록 하였다. 그래도 온도가 낮을 경우 마지막으로 보일러를 가동시켜 온도를 높였다. 보일러를 일정시간동안 작동 하였는데도 온도가 올라가지 않을 경우 경보를 발생하게 하였다.

### 나. 감온 과정

각 센서로부터 입력되는 값들이 환경 설정 모드에서 설정된 온실내 최대온도보다 높을 경우에는 감온 Sub Logic을 실행토록 하였다. 감온 과정은 원칙적으로 가열과정과 정반대의 과정으로 실행하였으나, 가열과정보다는 좀더 제어에 신중을 기울여야 한다. 작동기기의 작동순서는 보일러, 천창, 측창, 환기팬, 보온커튼의 순서로 하였으며, 또한 바람의 방향, 강우의 유무를 판단하여 감온 제어를 실행하였다. 특히 강우시 비가 오지 않을때와는 달리 빗물이 온실

내부로 유입되는 것을 방지해야 하기 때문에 작동기기의 제어순서를 다르게 감온과정을 실행하였다.
가열과정과 반대로 감온과정에서는 가장 우선적으로 보일러를 체크하여 작동하고 있다면 멈추도록 하였으며, 작동하지 않는다면 다음 단계인 천창을 열도록 하였다. 하지만 강우시에 천창을 개방한다면 빗물이 온실내로 유입되므로 강우시에는 천창의 개방을 생략하였다. 측창개방에 있어서도 바람의 방향을 고려하여 바람이 불어오는 쪽의 반대방향을 개방하도록 하였다. 그러나 강우시 허용풍속의 이상일 경우 개방경우를 작게 또는 생략하여 온실내의 작물을 보호하였다. 이런 경우 환기팬을 작동하였으며 또한 보온커튼도 체크하여 닫혀있다면 열도록 제어하였다.

다. 커튼 개폐

커튼의 제어는 감온, 가온과정에 작동되는 것 이외에 독립적으로 작물의 광합성과 일사량의 관계를 고려하여 설계하였다. 우선 광조건이 맞지 않더라도 해뜬후 2시간이 지나면 무조건 커튼이 열리도록 하였으며, 해지기 2시간전에 무조건 닫히도록 설계하였다. 해뜨고 해지는 시간은 하드웨어의 Ram에 기본으로 저장하여 이용하도록 하였다. 하지만 정환한 시간을 요구하지 않으므로 광합성의 영향에 미치지 않은 범위에서 보온커튼의 개폐를 하여 주면 큰 문제는 없다고 생각한다.

4. 최적 환경제어 논리의 구성

제반 환경요인이 오이의 생육에 미치는 영향을 기술하는 「오이 생육 모형」과 난방용 유류대 등 생산비용에 대한 경제성 분석을 환경제어 논리에 포함시키는 최적 제어 시스템의 개발을 위한 추가적인 연구가 필요하다.

# 제 12 장 요약 및 결론

본 연구는 시설내 환경변이 따른 오이의 생육반응을 분석하고, 시설내의 환경변이 모형을 개발·검증하여, 고품질의 오이를 생산하기 위한 최적 환경제어 알고리즘의 개발을 통해, 그 수량예측 모형을 제시하였다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기상환경의 변이에 따른 오이 생육 변이

여름재배에 있어 하우스 형태에 따른 누적일사량은 전 생육기간동안 고도의 유의한 차이를 보였으며, 1-2W형 하우스가 무기둥보다 높았다. 하우스 형태별 생육에서 엽건물은 1-2W형 하우스가 무기둥보다 높았으나, 엽면적은 6월 14일 조사에 무기둥 하우스가 1-2W형 하우스보다 높았으며, 7월 12일 조사시기에는 1-2W형 하우스가 무기둥하우스보다 높았다. 또한 생리적 형질간의 상호관계를 보면 식물 생장량의 대소는 상대성장률로 평가하는데 온도와 정의 상관관계를 보이며, 단위면적당 광합성율은 엽중질소 농도, 출엽속도와 개화시기는 적산온도와 밀접한 관계를 보였다. 시설억제 재배에 있어 누적일사량은 1-2W형 하우스가 무기둥보다 높았으나, 엽건물중은 유의한 차이를 보이지 않았다. 엽면적은 10월 4일 조사시기에는 1-2W형 하우스가 무기둥 하우스보다 유의하게 높았으나, 11월 1일 조사에서는 무기둥 하우스에서 유의하게 높았다. 이러한 차이는 광량의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 또한 생리적 형질간의 관계를 보면 상대엽면적은 무기둥 하우스, 순동화율은 1-2W형 하우스에서 높은 값을 보였다. 엽출현 속도는 적산온도에 의해 비교적 정확히 예측할 수 있었으며, 개화시기로 출현 엽수가 8 9개에 달했을 때 도달하는 것으로 나타났다.

2. 재식밀도에 따른 오이 생육 및 수량변이

조숙재배(2월 파종)에서 하우스 형태와 재식밀도에 따른 수량형질들을 보면 1-2W형 하우스의 경우 재식간격 20cm 수준에서 수확생과중이 53.7kg으로 가장 높았으며, 무기둥 하우스의 경우 수확생과중 49.9kg을 보여, 1-2W형 하우스가 조숙재배에서 수량성이 높았다. 여름재배(5월파종)에서 1-2W형 하우스에서는 수확주수, 수확과실수, 과실생체중에 있어서 모두 15cm(34주/bench)처리와 25cm(20주/bench)처리에서만 차이가 났으며, 15cm와 20cm(26주/bench)수준이나 20cm와 25cm수준간에는 유의차이가 없었다. 반면 무기둥 하우스에서는 15cm와 20cm수준이 모든 형질에서 25cm수준보다 유의한 차이를 보였으며, 15cm수준과 20cm수준은 차이가 없었다. 따라서 오이재배에 있어서 적정 재식밀도 수준은 15㎝ 20㎝의 주간 간격에 있는 것으로 나타났다.

3. 작형에 따른 오이 품종군 및 품종의 절성

작형에 따른 품종별, 하우스 형태별 주당 암꽃 수, 비율, 퇴화 암꽃의 비율을 보면 시설 억제 재배에서는 흑진주 계통과 입추백다다기에서 가장 많은 주당 암꽃 수를 보였으며, 그 비율도 높았다. 장일낙합오이는 비교적 높은 암꽃 비율을 보였으며, 가을낙합오이는 40%수준으로 다소 낮았다. 암꽃의 퇴화비율은 흑진주계통은 20%이상을 보였으나, 장일낙합오이는 퇴화 암꽃이 거의 생기지 않아 장일낙합오이의 잠재적 수량성은 흑진주계를 능가하였다. 촉성재배에서의 암・수꽃의 발생정도는 입추백다다기 오이가 가장 높은 절성을 보인 반면, 가장 높은 퇴화 암꽃 비율을 보였으며, 청장계오이가 가장 낮은 암꽃 비율을 보였다. 반촉성재배의 경우 반백계와 흑진주계의 품종들은 매우 높은 암꽃 비율을 보였고, 청장계는 낮은 경향이 있다. 여름 재배는 흑진주계에서 가장 높은 암꽃 비율을 보였고, 청장계는 매우 낮은 암꽃 비율을 보였다. 반면 퇴화 암꽃 비율은 청장계에서 가장 낮고, 흑진주계에서 가장 높았다. 작형에 따른 품종별 수량은 암꽃수, 퇴화암꽃의 비율, 그리고 내한성이나 내서성에 의해 결정되었으며 실험 결과 시설억제재배에서는 낙합계나 흑진주계 또는 입추백다다기오

이가, 촉성재배에는 겨우살이 청장오이, 입추백다다기 그리고 가을낙합오이, 반촉성재배에는 청장계나 낙합계가, 그리고 여름재배에는 남부청장이나 가을낙합이 적합하였다.

4. 일사량, 기온, 대기의 $CO_2$농도 그리고 엽중 질소농도가 광합성율에 미치는 영향

광보상점은 10 20μm*ol* s-1m-2 이었으며, 광포화점은 700μm*ol* s-1m-2 이상을 보였다. 광량에 따른 총 광합성율은

$$GPR=21.4512\ PPF/(287.784+PPF)$$

를 보였다. 기온에 따른 광합성율의 변이는 기온의 증가에 따라 광합성율도 증가하는 경향이었으나, 24℃ 32℃사이에 큰 차이를 보이지 않았다. $CO_2$보상점은 20 40ppm이었고, $CO_2$ 포화점은 1200 1300ppm 사이였으며,

$$GPR = 15.5554\ (1-0.9636\exp(-0.0024\ CO_2))$$

의 반응을 보였다. 엽중질소농도가 증가함에 따라 광합성율도 증가하였으며, 그 증가 형태는 logistic으로

$$GPR = 24.743/(1+6.0343\exp(-0.3689\ N))$$

이었다.

광량, 기온, 대기의 $CO_2$농도 그리고 엽중 질소농도에 따른 총광합성율(GPR)은

$$GPR = 69.4119T/(7.5397+T)\cdot PPF/(240.149+PPF)$$
$$(1-0.8865\exp(-0.0018CO_2))\cdot(1+5.1729\exp(-0.4161N))$$

이었다.

5. **환경변이에 따른 호흡율의 변이**

**기온이 상승함에 따라 호흡율은 상승적으로 증가하였으며, 식물체 전체의 호흡율**(Resp)**은**

$$Resp=0.0734dW/dt+7.6618\exp(0.093temp)\cdot W$$

**이였다. 식물체 총광합성율과 총호흡율의** 14.6%**에 해당하였다. 야간에 식물체 총호흡율을 조사해 본 결과 시간이 흐를수록 호흡율이 저하하였는데 이는 식물체 내 호흡기잘, 특히 전분함량의 감소에 의한 것으로 사료된다. 뿌리의 질소흡수 호흡은** 0.5552g $CH_2O$/(gN)**으로 추정되었다.**

5. **군락에서의 총광합성율**

**오이 군락에서의 소멸 계수는**0.3427**로 추정되었으며, 지상부 건물중** (Ws)**에 대한 엽중비율** (LDW)**은 생육일수** (t)**가 진전됨에 따라 감소하는 경향이었으며,**

$$LDW = (0.7372 - 0.00193t)\ Ws$$

**에 의해 추정되었다.**

**엽면적지수** (LAI), **엽건물중** (LDW) **그리고 재식거리** (PS) **사이에는** $LAI = (11.831 + 1.6832\ LDW)/PS$**의 관계가 있었다. 이를 이용하여 군락상태에서의 총광합성율** (Pg)**은**

$$Pg = \int_0^{LAI} GPR\ dl$$

$$= 69.4119T/(7.5397+T)(1-0.8865\exp(-0.0018\ CO_2)$$

$$1/(1+5.1729\exp(1-0.4161N))\cdot \int_0^{LAI} I/(240.1694+I)dt$$

이었다.

7. 주 야간 변온과 양액의 질소 농도 및 광 환경의 차이가 오이 생장에 미치는 영향

주야간 변온 효과가 거의 없는 것으로 판명되었다. 양액의 N 농도차이나 광 환경의 차이에 따른 오이의 기관별 생육을 비교해 본 결과 기관간 기능적 평행의 가설에 의해 비교적 잘 예측되었으며, 모든 실험 조건에서 지수적 생장 모형이 적절하였다.

8. 과실의 건물중 증가 특성

비파괴적 방법을 이용하여 과실 건물중 증가 특성을 살펴본 결과 과실생장이 왕성한 시기에는 4 5 g d-1 의 속도로 과실의 건물중이 증가하였고, 이 양은 20개의 엽에 의해 생산된 광합성량에 해당하였으며, 2개의 과실이 왕성이 자라는 양에 해당하였다. 과실의 건물중 증가는 지수적 생장곡선에 의해 매우 잘 예측할 수 있었다.

9. 과실의 광합성율 및 호흡율과 동화산물의 잎에서 과실로의 이동속도

과실 자체의 광합성율과 호흡율이 기온에 따라 증가하였는데 광합성율 보다는 호흡율의 상승 정도가 훨씬 컸다. 과실의 광합성량은 과실 자체의 호흡에 의해 에너지 손실의 50%를 보충하는 정도였다. 과실의 호흡량은 과실로의 이동 동화산물의 15%에 해당하였다. 동화산물의 과실로의 이동속도는 대략 133mg $CH_2O$ h-1 이었다.

10. 오이의 수량예측모형

기관간 기능적 평형을 이용하여 오이의 생장 및 수량예측모형을 완성하였고, 모형의 모수 추정은 Simplex법에 의하였으며, 미분방정식의 해는 Runge-Kutta fourth-order법에 의하였다. 모형 검증에서 잎, 줄기, 뿌리, 그리고 과실의 실측치와 예측치가 비교적 잘 일치하여 본 모형이 환경제어를 위한 식물생

장모형으로 이용하는 데는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 최적 환경조건을 찾기 위한 simulation 결과 정식 후 73일 동안 y gm-2의 수량을 얻기 위한 등수확곡면은

$$y + 218.5275 = 0.2170\ Rad + 29.7863\ Temp + 0.1271\ CO2 + 0.0032\ (Rad)(Temp) - 0.000034\ (Rad)(CO2) + 0.00167\ (Temp)(CO2) - 0.000113\ (Rad)2 - 0.4316\ (Temp)2 - 0.00006\ (CO2)2,$$

로 나타났다.

## 11. 시설 환경의 자동 계측과 제어

직렬통신 방식(RS485)에 의한 환경 자동 계측 및 제어 시스템을 개발하였다. 환경계측 시스템은 간이 기상대를 통한 온실 외부의 기상환경과 각종 센서를 통한 온실 내부의 환경을 측정하여 매 10분 동안의 평균을 데이터베이스에 저장하도록 하였다.

온실환경의 계측 및 제어 프로그램은 윈도우즈용 응용 프로그램 제작도구인 MS Visual BASIC을 이용하여 작성하여 사용자의 편리를 도모하였다. 온실의 실시간 환경 및 과거의 자료를 수치 또는 그래프로 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 환경제어를 위한 기본 자료로 온실내의 일사량 분포와 창의 개방 방법에 따른 환기율을 분석하였으며, 현지 방문을 통하여 오이 재배농가의 환경 관리 및 재배 방식을 조사하고 이를 환경제어 프로그램에 적용하였다.

시설 환경제어 프로그램은 사용자의 선택에 의하여 수동 또는 자동 모드로 온실의 각 작동기기를 제어할 수 있도록 하였다. 자동 모드에 의한 기기의 작동은 온실 내부와 외부의 제반 환경 요인을 고려하여 오이의 생육단계에 따른 최적 환경의 조성이 가능하도록 하였다.

# 참고문헌


1. Barrett, J. E., III, and H. J. Amling. (1978). Effects of developing fruits on production and translocation of 14C-labeled assimilates in cucumber. HortScience 13 : 545-547.

2. Clement, C. R., M. J. Hopper, and L. H. P. Jones(1978). The uptake of nitrate by *Lolium Perene* from flowing nutrient solution. J. Exp. Bot. 29:453-463.

3. Edwards, D. G., and C. J. Asher(1974). The significance of solution flow rate in flowing culture experiments. Plant Soil 41:161-175.

4. Givnish, T. J. (eds.) (1986). *On the Economy of Plant Form and Function*. Cambridge University Press, Cambridge.

5. Hanway, J. J., and C. R. Weber(1971). N, P, and K percentages in soybean (*Glycine max*(L.) Merrill) plant parts. Agron. J. 63:286-290.

6. Horie, T., C. T. De Wit, J. Goudriaan, and J. Bensink (1979). A formal template for the development of cucumber in its vegetative stage. Proc. Kon. Neder. Akad. Wetensch. Series C 82 : 433-480.

7. Jackson, W. A., K. D. Kwik, R. J. Volk, and R. G. Butz (1976a). Nitrate influx and efflux by intact wheat seedlings : Effects of prior nitrate nutrition. Planta 132, 108-114.

8. Jackson, W. A., K. D. Kwik, and R. J. Volk(1976b). Nitrate uptake during recovery from nitrogen deficiency. Physiol. Plants. 36:174-181.

9. Janoudi, A. K., and I. E. Widders (1993). Water deficits and fruiting affect carbon assimilation and allocation in cucumber plants. HortScience 28(2): 98-100.

10. Johnson, I. R., and J. H. M. Thornley (1987). A model of shoot:root partitioning with optimal growth. Ann. Bot. 60 : 133-142.

11. Lim, J. T., and G. G. Wilkerson, C. David Raper, Jr., and H. J. Gold (1990). A Dynamic Growth Model of Vegetative Soy Bean Plants : Model Structure and Behaviour under Varying Root Temperature and Nitrogen Concentration. J. Exp. Bot., 41:229-241.

12. Marcelis, L. F. M. (1991). Effects of sink demand on photosynthesis in cucumber. J. of Exp. Bot., 42 : 1387-1392.

13. Marcelis, L. F. M. (1994). Effects of fruit growth, temperature and irradiance on biomass allocation to the vegetative parts of cucumber. Neth. J. Agri. Sci. 42 : 115-123.

14. Minotti, P. L., and W. A. Jackson(1970). Nitrade ruduction in the roots and shoots of wheat seedlings. Planta 95:36-44.

15. Nelder, J.A. and R. Mead. 1963. A simplex method for function minimization computer Journal 6: 308 - 313.

16. Pearson, C. J., and B. T. Steer(1977). Daily changes in nitrate uptake and metabolism in *Capsicum annuum*. Planta 137:107-112.

17. Penning de Vries, F. W. T., J. M. Witlage, and D. Kremer(1979). Rates of respiration and of increase in structural dry matter in young wheat, ryegrass and maize plants in realation to temperature, to water stress and to their sugar content. Ann. Bot. 44:595-609.

18. Pitman, M. G.(1976). Ion uptake by plant roots. In:*Encyclopedia of Plant Physiology*. New Series, 2B. (eds. Pirsow, A. and M. H. Zimmermamn), pp. 95-128, Springer-Verlag, Berlin.

19. Ramirez, D. R., T. C. Wehner, and C. H. Miller (1988). Source limitation by defoliation and its effect on dry matter production and yield of cucumber. HortScience 23 : 704-706.

20. Shishido, Y., H. Challa, and J. Krupa (1987). Effects of temperature and light on the carbon budget of young cucumber plants studied by steady-state feeding $^{14}CO_2$. J. Exp. Bot. 191 : 1044-1054.

21. Simpson, R. J., H. Lambers, and M. J. Dalling (1982). Translocation of nitrogen in a vegetative wheat plant(*triticum aestvum*). Plant Physiol. 56:11-17.

22. Thorne, J. H., and H. R. Koller (1974). Influence of assimilate demand on photosynthesis, diffusive resistance, translocation and carbohydrate

levels of soybean leaves. Plant. Physiol. 54 : 201-207.

23. Thornley, J. H. M., and I. R. Johnson (1990). *Plant and Crop Modelling. A Mathematical Approach to Plant and Crop Physiology*. Clarendon Press, Oxford.

24. Tilman, D. (1988). Plant strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities. Princeton University Press, New Jergey.

25. Tolley-Henry, L. C., and C. D. Raper, Jr. (1986). Nitrogen and dry matter partitioning in soybean plants during onset of and recovery from nitrogen stress. Bot. Gaz. 147:392-399.

## 부록 A. 농가 설문조사 양식

**설_문_조_사**

<일반사항>
성명:
주소: 전남 시・군 읍・면・동 리 번지
전화번호:
시설재배경력(오이):_______년
영농종사 경력: __________년
시설재배면적(오이): ________평

<온실의 설치,형태 및 규격>
1. 온실의 설치 년도는? ____________년

2. 비닐 피복 교체 시기(간격)는?
1중:__________ 2중: __________ 3중: __________기타: __________

3. 설치된 온실의 지붕 형태는?
① 아치형 ② 양지붕형 ③ 터널형 ④ 무기둥형 ⑤ 기타( )

4. 현 온실의 설치방향은?
① 동서동 ② 남북동 ③ 기타( ) 방위:____________

5. 온실(1동)의 크기는?
①길이____m ② 폭____m ③ 중앙높이____m④ 측면높이____m ⑤연동수____동

6. 자동 환경제어 시스템의 설치 유무는? 설치/미설치
・설치시 제어 항목: ___________________________________

7. 설치 되었다면 작동 방법은?
① 완전 자동(설정값 입력) ② 자동/수동 겸용 ③ 수동(자동 미사용)

8. 현 온실의 비닐 피복 겹수는?
① 1중 피복 ② 2중 피복 ③ 3중 피복 ④ 기타( )

9. 온실 내부의 차광막, 부직포 설치 유무는? 예/ 아니오

10. 차광망과 부직포를 설치하였다면 겹수, 높이, 재질은?
(차광망- 겹수 :_____겹, 설치높이:_______m, 재질: _________________)
(부직포- 겹수 :_____겹, 설치높이:_______m, 재질: _________________)

11. 차광망과부직포의 작동 방법은? 자동/수동

12. 차광망과 부직포의 작동 조건은?
(차광망: _______________________________________________________)
(부직포: _______________________________________________________)

13. 현 온실의 재배 방식는?
① 양액재배 ② 토양재배 ③ 기타( )

14. 현 온실의 환기 방식은?
① 무환기 ② 측면걷어 올리기 ③ 측면말아 올리기 ④ 천창 손으로 열기

⑤ 천창말아 올리기 ⑥ 환풍기 ⑦ 반자동식 창문개폐 ⑧ 자동식 창문개폐
⑨ 기타(                    )

15. 측창의 개방 높이는 어디에 기준을 두며 단계는?

16. 바람의 방향을 고려한 환기창의 개폐 방법은?

17. 우천시 환기 방법은?

18. 주야간의 환기창 개방 방법은?
주간)
야간)

19. 현 온실의 관수 방식은?
① 무관수 ② 호스관수(인력) ③ 고랑관수 ④ 분수호스관수
⑤ 점적관수 ⑥ 레인테프관수 ⑦ 기타(                )

20. 현 온실의 광조건은?
① 부족하다 ② 적당하다 ③ 충분하다 ④기타(                )

21. 현 온실의 환경 관리중 가장 중요한 점은?
① 온도관리 ② 수분관리 ③ 광량관리 ④ 환기관리 ⑤기타(                )

22. $CO_2$ 공급기 설치 유무는?     설치/ 미설치

23. 설치 되었다면 $CO_2$ 공급의 방법은?  자동/ 수동 (공급시 기준:_______ppm)

24. 실제 농민의 재배 경험으로 볼 때 다음 환경 조절은 어떻게 하십니까?
① 온도:
② 습도:
③ 환기:
④ 광량:

<파종>
25. 오이 육모 파종시기는 언제입니까?
① 2월 일경 ② 4월 일경 ③ 6월 일경 ④ 9월 일경 ⑤ 12월 일경

26. 오이 년중 파종(재배) 횟수는?_______회

27. 파종 시기별 오이의 품종은 무엇입니까?
① 2월 -
② 4월 -
③ 6월 -
④ 9월 -
⑤ 12월-

<육묘관리>
28. 육묘시 온실 내부 기온은:_____℃, 야간: _____℃

29. 일조량 조절은 어떻게 하고 있는가?

30. 육묘시 비료 배합관리는?

31. 육묘 관리 형태는?

<정식>

32. 정식전 포장관리(노지재배)에 있어 시비량은?
 ① 퇴비량 (kg/300평)
 ② 시비량(300평)
 (질소: _____ kg, 인: _____ kg, 칼륨: _____kg, 복합비료: kg)

33. 정식은 육묘파종후 몇일만에 하는가?
 ① 15일후 ② 20일 후 ③ 25일 후 ④ 30일 후 ⑤ 기타( )

34. 본엽이 몇마디일 때 정식하는가? ( )

35. 정식시 재식 거리는?
 ①이랑간격 _______ cm ② 포기간격 _______cm ③ 기타( )

36. 양액을 공급한다면 그 비율은?
 (물: 양액 => _______:______)

37. 정식시 온실 내부의 온도관리는? 주간: ______℃, 야간: _____℃

38. 정식시 온실 내부의 습도관리는? 주간: _____ %, 야간: _____ %

<재배관리>

39. 오이 재배 기간동안의 시비량은? (300평당)
 (질소:______kg, 인: _______kg, 칼륨: _______kg, 복합비료:______kg)

40. 영양제는 주는가? 예/아니오

41. 영양제를 준다면 그 양과 횟수는?
 (약제이름:_________________________)
 _________________________회

42. 생육에 따른 재배관리
 ① 유묘기:
 주)온도: ____℃, 습도:____% , 광:_____ 야)온도:_____℃, 습도:____%, 광:_____
 ② 꽃피기 직전:
 주)온도: ____℃, 습도:____% , 광:_____ 야)온도:_____℃, 습도:____%, 광:_____
 ③ 꽃핀후 열매결실기:
 주)온도: ____℃, 습도:____% , 광:_____ 야)온도:_____℃, 습도:____%, 광:_____

43. 오이의 적심시기는? 정식후 ______일, ______엽기

44. 오이의 수꽃과 덩굴손은 제거하는가?

45. 현 온실의 적과 방법은?
 ① 무적과 ② 인력 적과 ③ 약제 적과 ④ 기타( )

46. 현 온실의 적과량은?
① 노지보다 적게 한다 ② 노지재배와 동일하게 한다
③ 노지보다 많게 한다 ④ 기타( )

병충해 방제
47. 오이 재배시 가장 많이 발생하는 병충해는?
병명: ___________ 병충해: ______________
48. 병충해 발생의 주원인에 대한 견해는?

49. 온실 재배시 농약 살포 횟수는? _______회

50. 농약 살포 방법은?
① 수동식 분무기 ② 동력 분무기 ③ 미스트기 ④ 연무기 ⑤기타( )

51. 병충해에 따른 방제기법은?
① 흰가루병:
② 진딧물:
③ 총채벌레:
④ 노균병:
⑤ 기타( ):

52. 오이의 온실 재배시 문제점:

<수확>
53. 오이의 수확간격 일수는? _____일

54. 오이의 수확 일수는? _____회

55. 오이의 수확시기의 재배관리는?
온도: ______℃ , 습도:______ % , 광: ______

56. 시설 오이 재배와 관련하여 추가로 제시하고 싶은 사항이 있으시면 기록하 여 주십시오.

바쁘신 데도 불구하고 설문조사에 응해 주셔서 대단히 감사합니다.

# 부록B. 오이 생장모형 프로그램

```
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      REAL*8 MIN,NL
      DIMENSION P(13),FUN(14),STEP(13),S(14,13),PC(13),PR(13)
      DIMENSION PE(13),PO(13),W(2,4,6,2),EW(2,4,6,2),DW(2,4,6,2)
      DIMENSION EF(2,4,14),DWF(2,4,14),WG(2)
      COMMON W,DWF,EW,EF,AC,TEMP,RAD,CO2,NL,NDY
      DATA WG/2.0D0,100.0D0/
C
C  NP : NUMBER OF PARAMETER
C  P : PARAMETER VECTOR
C
      NP=13
      NPS=NP+1
C  ALP : REFLECTION COEFFICIENT
C  BETA : CONTRACTION COEFFICIENT
C  GAMMA : EXPANSION COEFFICIENT
C
      ALP=1.0
      BETA=0.5
      GAMMA=2.0
      MIN=100000.0
      ITR=0
C
C  PARM.TXT IS A FILE WITH INITIAL VALUES OF P VECTOR AND
C  INCREMENT OF P, WHICH IS CALLED STEP
C  982HCL.TXT IS A FILE WITH HOURLY VALUE OF RAD, TEMP,
C                      CO2 FROM MAR. 7 TO MAY 18.
      OPEN(5,FILE='PARM.TXT',STATUS='OLD')
      OPEN(6,FILE='SIM.OUT',STATUS='NEW')
      OPEN(10,FILE='982HCL.TXT',STATUS='OLD')
      DO 1 I=1,NP
      READ(5,*)P(I),STEP(I)
1     CONTINUE
C
C  I=1, 1-2W HOUSE
C  I=2, POSTLESS HOUSE
C
      DO 4 I=1,2
```

```
      DO 3 J=1,4
      DO 2 K=1,6
      READ(5,*)(DW(I,J,K,L),L=1,2),W(I,J,K,2)
      W(I,J,K,1)=DW(I,J,K,1)+DW(I,J,K,2)
      DO 7 L=1,2
      W(I,J,K,L)=W(I,J,K,L)*WG(L)
7     CONTINUE
2     CONTINUE
3     CONTINUE
4     CONTINUE
      DO 6 J=1,4
      DO 5 K=1,14
5     READ(5,*)(DWF(I,J,K),I=1,2)
6     CONTINUE
C
C    S : MATRIX OF SIMPLEX POINTS
C
      DO 10 I=1,NP
10    S(1,I)=P(I)
      DO 30 I=2,NPS
      I1=I-1
      DO 20 J=1,NP
      S(I,J)=P(J)
      IF(J.NE.I1)GO TO 20
      S(I,J)=P(J)+STEP(J)
20    CONTINUE
30    CONTINUE
40    CONTINUE
      DO 60 I=1,NPS
      DO 50 J=1,NP
50    P(J)=S(I,J)
      FUN(I)=F(P)
60    WRITE(6,61)(S(I,J),J=1,NP),FUN(I)
61    FORMAT(4F15.6)
70    ITR=ITR+1
C
C    FMAX : MAXIMUM VALUE OF OBJECT FUNCTION
C    FMIN  : MINIMUM  VALUE OF OBJECT FUNCTION
C
      FMAX=-1.0E+10
```

```
      FMIN=1.0E+10
      DO 110 I=1,NPS
      IF(FUN(I).LE.FMAX)GO TO 100
      FMAX=FUN(I)
      IH=I
100   IF(FUN(I).GT.FMIN)GO TO 110
      FMIN=FUN(I)
      IL=I
110   CONTINUE
      DO 90 J=1,NP
      PC(J)=0.0
      DO 80 I=1,NPS
      IF(I.EQ.IH)GO TO 80
      PC(J)=PC(J)+S(I,J)
80    CONTINUE
      PC(J)=PC(J)/NP
90    CONTINUE
      SUM=0.0
      SS=0.0
      DO 112 I=1,NPS
      SUM=SUM+FUN(I)
112   SS=SS+FUN(I)*FUN(I)
      VAR=(SS-SUM*SUM/NPS)/NP
C
C    SD : STANDARD DEVIATION OF OBJECT FUNCTIONS
C
      SD=DSQRT(VAR)
      IF(SD.LT.1.0E-10)GO TO 270
      DO 120 I=1,NP
120   PR(I)=PC(I)+ALP*(PC(I)-S(IH,I))
      FR=F(PR)
      IF(FR.GE.FUN(IL))GO TO 150
      DO 130 I=1,NP
130   PE(I)=PC(I)+GAMMA*(PR(I)-PC(I))
      FE=F(PE)
      IF(FE.GE.FUN(IL))GO TO 250
      DO 140 I=1,NP
140   S(IH,I)=PE(I)
      FUN(IH)=FE
      GO TO 70
```

```
150   IN=0
      DO 160 I=1,NPS
      IF(I.EQ.IH)GO TO 160
      IF(FR.GT.FUN(I))IN=IN+1
160   CONTINUE
      IF(IN.LT.NP)GO TO 250
      IF(FR.GT.FUN(IH))GO TO 180
      DO 170 I=1,NP
170   S(IH,I)=PR(I)
      FUN(IH)=FR
180   CONTINUE
      DO 190 I=1,NP
190   PO(I)=PC(I)+BETA*(S(IH,I)-PC(I))
      FC=F(PO)
      IF(FC.LE.FUN(IH))GO TO 230
      DO 200 I=1,NP
200   P(I)=S(IL,I)
      DO 220 I=1,NPS
      DO 210 J=1,NP
210   S(I,J)=(S(I,J)+P(J))/2.0
220   CONTINUE
      GO TO 40
230   CONTINUE
      DO 240 J=1,NP
240   S(IH,J)=PO(J)
      FUN(IH)=FC
      GO TO 70
250   CONTINUE
      DO 260 J=1,NP
260   S(IH,J)=PR(J)
      FUN(IH)=FR
      GO TO 70
270   WRITE(6,280)ITR,FMIN
280   FORMAT(///10X,'OPTIMIZATION BY NELDER-MEAD METHOD'//,
     * 17X,'NO OF ITERATIONS',I4//15X,'MINIMAL FUNCTION VALUE',
     * F10.4)
      WRITE(6,290)
290   FORMAT(//10X,'PARAMETER',5X,'ESTIMATED AS'/)
      DO 300 I=1,NP
300   WRITE(6,310)I,S(IL,I)
```

```
310     FORMAT(/13X,I2,9X,F12.4)
        DO 350 I=1,2
        DO 340 J=1,4
        DO 330 K=1,6
        DO 320 L=1,3
320     WRITE(6,360)I,J,K,L,W(I,J,K,L),EW(I,J,K,L)
330     CONTINUE
340     CONTINUE
350     CONTINUE
360     FORMAT(4I3,2F10.3)
        DO 390 I=1,2
        DO 380 J=1,4
        DO 370 K=1,14
370     WRITE(6,400)I,J,K,DWF(I,J,K),EF(I,J,K)
380     CONTINUE
390     CONTINUE
400     FORMAT(3I3,2F10.3)
        STOP
        END
        DOUBLE PRECISION FUNCTION F(P)
        IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
        INTEGER PL, HOUSE
        REAL*8 NL
        DIMENSION P(13),W(2,4,6,2),EW(2,4,6,2),IND1(6),IND2(14)
        DIMENSION Y(10),F1(10),F2(10),F3(10),F4(10),TF(10)
        DIMENSION DWF(2,4,14),EF(2,4,14)
        COMMON W,DWF,EW,EF,AC,TEMP,RAD,CO2,NL,NDY
        DATA IND1/22,29,36,43,50,57/
        DATA IND2/45,47,49,51,53,55,57,59,61,63,65,67,69,73/
        N=10
        H=0.1
        IP=10
        REWIND 10
C
C   Y  : THE VECTOR OF THE STATE VARIABLES
C
C    Y(1) : SHOOT DRY WEIGHT (G)
C    Y(2) : ROOT DRY WEIGHT (G)
C    Y(3) : FRUIT DRY WEIGHT (G)
C    Y(4) : CH2O CONTENT IN SHOOT( G CH2O/G DW )
```

```
C     Y(5) : CH2O CONTENT IN ROOT( G CH2O/G DW )
C     Y(6) : CH2O CONTENT IN FRUIT( G CH2O/G DW )
C     Y(7) : SOLUBLE N CONCENTRATION IN SHOOT
C     Y(8) : SOLUBLE N CONCENTRATION IN ROOT
C     Y(9) : SOLUBLE N CONCENTRATION IN FRUIT
C     Y(10): STORAGE CH2O CONTENT IN SHOOT
C     INITIAL VALUES OF STATE VARIABLES ARE AS FOLLOWS
C
10      FORMAT(/1X,'DAY',2X,'SHOOT WT',3X,'ROOT WT'/)
C
C   LDAY  : THE LAST DAY OF SIMULATION
C
        LDAY=73
C        WRITE(7,90)X,Y(4),Y(5)
        DO 104 HOUSE=1,2
        DO 102 PL=1,4
        Y(1)=1.40
        Y(2)=0.28
        Y(3)=0.5
        Y(4)=0.1
        Y(5)=0.05
        Y(6)=0.25
        Y(7)=0.04
        Y(8)=0.025
        Y(9)=0.03
        Y(10)=0.07
        AC=20.0
        K=0
        K1=0
        DO 100 NDAY=1,LDAY
        NDY=NDAY
        TMAX=-100.0
        TMIN=100
        NL=-4.1782 + 0.0216*AC
        DO 80 NTIME=1,24
        READ(10,*)TEMP,RAD,CO2
        IF(TEMP.GE.TMAX)TMAX=TEMP
        IF(TEMP.LE.TMIN)TMIN=TEMP
        DO 70 NT=1,IP
        CALL FCN(P,F1,Y)
```

```
C
C   CALCULATE  F1
C
       DO  20  I=1,N
       F1(I)=H*F1(I)
20     TF(I)=Y(I)+0.50*F1(I)
       CALL  FCN(P,F2,TF)
C
C   CALCULATE  F2
C
       DO  30  I=1,N
       F2(I)=F2(I)*H
30     TF(I)=Y(I)+0.5*F2(I)
       CALL  FCN(P,F3,TF)
C
C   CALCULATE  F3
C
       DO  40  I=1,N
       F3(I)=H*F3(I)
40     TF(I)=Y(I)+F3(I)
       CALL  FCN(P,F4,TF)
C
C   CALCULATE  F4
C
       DO  50  I=1,N
50     F4(I)=H*F4(I)
C
C   CALCULATE  Y(N+1)
C
       DO  60  I=1,N
       TF(I)=(F1(I)+2.0*F2(I)+2.0*F3(I)+F4(I))/6.0
60     Y(I)=Y(I)+TF(I)
70     CONTINUE
80     CONTINUE
       AC=AC+(TMAX+TMIN)/2.0
       DO  82  I=1,6
       IF(NDAY.EQ.IND1(I))GO  TO  84
82     CONTINUE
       GO  TO  92
84     K=K+1
```

```
      EW(HOUSE,PL,K,1)=Y(1)*2.0D0
C       EW(HOUSE,PL,K,2)=Y(1)*(1.0-(0.7372-0.00193*NDY))*3.0D0
      EW(HOUSE,PL,K,2)=Y(2)*100.0D0
90    FORMAT(I3,10F8.3)
      GO TO 100
92    CONTINUE
      DO 94 I=1,14
      IF(NDAY.EQ.IND2(I))GO TO 96
94    CONTINUE
      GO TO 100
96    K1=K1+1
      EF(HOUSE,PL,K1)=Y(3)
100   CONTINUE
      NDY1=NDAY-1
      WRITE(6,90)NDAY1,(Y(KK),KK=1,10)
102   CONTINUE
104   CONTINUE
      F=0.0
      DO 140 L=1,2
      DO 130 I=1,2
      DO 120 J=1,4
      DO 110 K=1,6
      F=F+(W(I,J,K,L)-EW(I,J,K,L))**2
110   CONTINUE
120   CONTINUE
130   CONTINUE
140   CONTINUE
      DO 170 I=1,2
      DO 160 J=1,4
      DO 150 K=1,14
150   F=F+(DWF(I,J,K)-EF(I,J,K))**2
160   CONTINUE
170   CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE FCN(P,F,Y)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION F(10),Y(10),P(13),W(2,4,6,2),EW(2,4,6,2)
      DIMENSION DWF(2,4,14),EF(2,4,14)
      REAL*8 LAI,NRS,NSF,NL
```

```
      COMMON W,DWF,EW,EF,AC,TEMP,RAD,CO2,NL,NDY
C
C   Y  : VECTOR OF THE STATE VARIABLES
C   F  : VECTOR OF THE DERIVATIVE OF THE STATE VARIABLES
C   WL: LEAF WEIGHT
      WL=(0.7372-0.00193*NDY)*Y(1)
C
C   PS : PLANTING SPACE
C
      PS=20.0
      LAI=(11.831+1.6832*WL)/PS
C   PG : GROSS PHOTOSYNTHETIC RATE
C   EX : EXTINCTION COEFFICIENT
      EX=0.3427
      IF(RAD.EQ.0.0)GO TO 10
      DENO=0.0773*EX*RAD*DEXP(-EX*LAI)+P(4)*0.8583
      PG=P(4)/EX*DLOG((0.0773*EX*RAD+P(4)*0.8583)/DENO)
      PG=PG*TEMP/(7.5397+TEMP)*1.0/(1.0+5.1729*DEXP(-0.4161*Y(7)))
      PG=PG*(1.0-0.8865*DEXP(-0.0018*CO2))
      GO TO 20
10    PG=0.0
C   RM : MAINTENANCE RESPIRATION RATE ( G CH2O/G DW/DAY )
C   GR : GROWTH RESPIRATION COEFFICIENT ( G CH2O/G DW )
C   UR : THE ENERGY COST FOR N UPTAKE ( G CH2O/G N )
C
C       WRITE(*,21)Y(10)
20    PG=PG*(0.3-Y(4))*P(5)
21    FORMAT(F10.3)
C
C   F(1) : GROWTH RATE OF SHOOT
C   F(2) : GROWTH RATE OF ROOT
C   F(3) : GROWTH RATE OF FRUIT
C
      F(1)=P(1)*Y(4)*Y(7)*Y(1)
      F(2)=P(2)*Y(5)*Y(8)*Y(2)
      F(3)=P(3)*Y(6)*Y(9)*Y(3)
      IF(NL.LT.9.0)F(3)=0.0
22    FORMAT(2X,'GROWTH RATE',3F10.3)
C
C  RS : SHOOT RESPIRATION RATE
```

```
C  RR  : ROOT
C  RF  : FRUIT
C
         RS=0.0734*F(1)+0.000229*DEXP(0.093*TEMP)*Y(1)
         RR=0.1002*F(2)+0.000229*DEXP(0.093*TEMP)*Y(2)
         RF=0.075*F(3)
         RS=(0.15+3.571233*Y(10))*RS
C
C     UN : NITROGEN UPTAKE RATE
C     RN : ENERGY COST FOR NITROGEN UPTAKE
C
         UN=P(6)*(0.15- Y(8))*Y(2)*Y(5)*11.0/(11.0068*(P(7)+Y(5)))
         RN=0.552*UN
         RR=RR+RN
C
C    TCR : TRANSLOCATION RATE OF CH2O FROM SHOOT TO ROOT
C    TCF :                                          TO FRUIT
C
         TCR=P(8)*Y(4)*(0.1- Y(5))
         TCF=P(9)*Y(4)*(0.40- Y(6))
C
C    US  : UTILIZATION OF SOLUBLE CH2O FOR SHOOT GROWTH
C    UR  :                                 ROOT
C    UF  :                                 FRUIT
C
         US=0.92*F(1)
         UR=0.92*F(2)
         UF=0.92*F(3)
C
C    USN : UTILIZATION OF SOLUBLE N FOR SHOOT GROWTH
C    URN :                              ROOT
C    UFN :                              FRUIT
C
         USN=0.015*F(1)
         URN=0.015*F(2)
         UFN=0.015*F(3)
C
C    D    : SHOOT DEMAND FOR CH2O
C    FCS : PARTITIONING OF CH2O TO STARCH POOL
C    FSC : FLOW CH2O FROM STARCH POOL TO SOLUBLE CH2O
```

```
C
      D=RS+US+TCR+TCF+Y(4)*F(1)
      FCS=P(10)*Y(4)*(0.35-Y(10))
      IF(RAD.EQ.0.0)FCS=0.0
      FSC=0.0
      IF(RAD.EQ.0.0)FSC=P(11)*D*(0.3-Y(4))*Y(10)
C
C DSN : NITROGEN DEMAND FOR SHOOT GROWTH
C NRS : NITROGEN TRANSLOCATION RATE FRON ROOT TO SHOOT
C DFN : NITROGEN DEMAND FOR FRUIT GROWTH
C NSF : NITROGEN TRANSLOCATION RATE FRON SHOOT TO FRUIT
C
      DSN=(0.015+Y(7))*F(1)
      NRS=P(12)*(0.15-Y(7))*Y(8)
      DFN=(0.015+Y(9))*F(3)
      NSF=P(13)*(0.15-Y(9))*F(3)
      IF(NL.LT.9.0)NSF=0.0
C
C  F(4) : RATE OF CHANGE OF SHOOT CH2O
C  F(5) :                      ROOT
C  F(6) :                      FRUIT
C
      F(4)=(PG-RS-US-FCS+FSC-TCF-TCR-Y(4)*F(1))/Y(1)
      F(5)=(TCR-RR-UR-Y(5)*F(2))/Y(2)
      F(6)=(TCF-UF-RF-Y(6)*F(3))/Y(3)
C
C  F(7) : RATE OF CHANGE OF SHOOT SOLUBLE N
C  F(8) :                      ROOT
C  F(9) :                      FRUIT
C
      F(7)=(NRS-USN-NSF-Y(7)*F(1))/Y(1)
      F(8)=(UN-URS-URN-Y(8)*F(2))/Y(2)
      F(9)=(NSF-UFN-Y(9)*F(3))/Y(3)
C
C  F(10) : RATE OF CHANGE OF SHOOT STORAGE CH2O
C
      F(10)=(FCS-FSC-Y(10)*F(1))/Y(1)
      RETURN
      END
```