

발 간 등 록 번 호

11-1543000-001494-01

뿌리혹선충 저항성 고품질 당근 계통  
육성 및 중국수출용 1대 잡종 품종 개발  
최종보고서

2016. 9. 22.

주관연구기관 / 서울대학교

농림축산식품부

## 2. 제출문

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “뿌리혹선충 저항성 고품질 당근 계통 육성 및 중국수출용 1대 잡종 품종 개발”(개발기간 : 2011. 9. ~ 2016. 9.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 9. 22.

주관연구기관명 : 서울대학교

협동연구기관명 : (주)당근한중당근육종연구소

주관연구책임자 : 김영호

연구원 : 윤혜영

연구원 : 서윤희

연구원 : 박지영

연구원 : 김은지

협동연구책임자 : 박 용

연구원 : 김용수

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

### 3. 보고서 요약서

#### 보고서 요약서

과제고유번호	11042-05-SB010	해 당 단 계 연 구 기 간	2015.9.23.~20 16.9.22	단 계 구 분	2015.9.23.~2016.9.22./ 2011.9.23.~2016.9.22
연구사업명	중 사업명				
	세부 사업명				
연구과제명	대 과 제 명	뿌리혹선충 저항성 고품질 당근계통 육성 및 중국수출용 1대 잡종 품종 개발			
	세부 과제명	(세부)뿌리혹선충 저항성 고품질 당근계통 육성을 위한 저항성 스크리닝 및 분자표지 개발			
		(협동)내선충 고품질 당근 계통 육성			
연구책임자	김영호	해당단계 참 여 연구원 수	총: 10 명 내부: 3 명 외부: 7 명	해당단계 연 구 개 발 비	정부: 130,000 천원 민간: 43,500 천원 계: 173,500 천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 50 명 내부: 15 명 외부: 35 명	총 연구개발비	정부: 650,000 천원 민간: 217,500 천원 계: 867,500 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	서울대학교 농생명공학부			참여기업명 (주)한중당근육종연구소	
위 탁 연 구	연구기관명:			연구책임자:	박용
<p>본 연구를 통해 고품질 선충저항성 당근 계통을 육성하고 1대 잡종 품종을 개발하여 국내 당근의 생산성과 품질 제고 및 중국시장에 수출경쟁력을 확보하고자 한다. 이를 위해 기존에 육성된 고품질 국내 200 당근 계통으로 시작하여 그 후 4년간 자식 및 교배를 실시하여 육성한 당근 계통과 조합의 뿌리혹선충(<i>Meloidogyne incognita</i>와 <i>M. hapla</i>)에 대한 저항성 스크리닝과 조직병리학적 저항성기작 및 분자표지 조사, 국내와 중국 포장에서 총 2,033 조합 및 계통의 당근을 재배하면서 당근의 생산성, 뿌리 생육 및 형태(포장성능)를 조사하였고, 당근 총 1,725 조합 및 계통의 당도와 carotene 함량을 분석하여 선충저항성 고품질 일대잡종 당근 두 품종을 개발하였고, 교배 모본으로 선충저항성 고품질 저항성 당근 계통 다수를 육성하였고, 아울러 차후 다양한 선충저항성 당근의 육성을 위한 우리나라 당근 유전자원의 저항성특성과 포장성능 및 품질 등에 대한 정보와 강한 선충저항성 선발을 위한 스크리닝 기술을 확보함.</p>				보고서 면수: 127 면	

4. 국문 요약문

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>-본 연구는 고품질 선충저항성 당근 육성을 목적으로 하는 바, 이를 위해 기존에 육성된 고품질 200 계통으로 시작하여 그 후 4년간 자식 및 교배를 실시하여 육성한 당근 계통과 조합의 뿌리혹선충(<i>Meloidogyne incognita</i>(Mi)와 <i>M. hapla</i>(Mh))에 대한 저항성 스크리닝과 조직병리학적 저항성기작 및 분자표지 조사, 국내와 중국 포장에서 총 2033 조합 및 계통의 당근을 재배하면서 당근의 생산성, 뿌리 생육 및 형태를 조사하였고, 당근 총 1725 조합 및 계통의 당도와 carotene 함량을 분석하였음.</p>				
<p>연구개발성과</p>	<p>-접종실험에서 Mi에 대한 329계통(조합)과 Mh에 대한 119계통(조합) 중에 저항성은 각각 92계통(조합)(28.0%) 79계통(조합)(66.4%)으로 Mh에 대한 저항성비율이 Mi에 비해 높았고, 자식계의 저항성 비율(Mi 66.7%, Mh 100%)이 교배계의 저항성 비율(Mi 11.7%, Mh 34.9%)보다 높았으며, 기존 계통보다 조합계 저항성의 균질성(homogeneity)이 높아짐          -최종적으로 선충저항성으로 육성된 조합의 포장성능검정과 품질평가를 실시한 결과 생산성과 근형이 우수한 Mi, Mh 공통 저항성 F<sub>1</sub> 교배계 1조합(15KH-3), Mh 저항성 F<sub>1</sub> 교배계 1조합(15KH-7) 및 Mi, Mh 동시저항성 자식계 3계통(1226-1-2, 1226-2-3, 1234-1-2)을 육성하였고 이 중 생산성이 높고 근형과 근색이 양호한 F<sub>1</sub> 당근(15KH-3과 15KH-7)을 품종보호출원 하여 상품화할 예정임.          -토성별 선충의 증식력을 조사한 바 Mi와 Mh는 사질토에서 뿌리혹과 알집형성율이 높게 나타났는데 Mi는 사질토에서 침입율이 높았고, Mh는 사질토에서 선충침입 병의 진전이 촉진되는 것으로 나타났으므로 차후 당근의 저항성 계통이 유지를 위한 스크리닝 시스템으로 활용할 수 있음.          -뿌리혹선충의 접종 밀도에 따른 뿌리혹 형성율을 조사한 결과 접종 밀도가 높아질수록 저항성 정도가 Mi와 Mh 모두에 대해 다소 낮아짐이 관찰되었고, 또 18개의 저항성 관련 primer들을 사용한 분자표지 검정 연구에서도 저항성 관련 유전자가 검출되지 않는 점을 감안하면 우리나라 당근은 접종조건과 환경에 영향을 받는다는 다인자저항성을 가지는 것으로 판단됨.          -포장성능검정과 품질 분석을 통해 Mi 저항성 교배계 119계통 자식계 104계통, Mh 저항성 교배계 51계통 자식계 66계통, Mi와 Mh에 동시저항성 교배계 16계통 자식계 36계통 육성불임 6계통, 화분친 11계통을 육성하여 우리나라 당근 계통의 선충저항성 정도와 포장성능 및 품질에 관한 정보 확보.</p>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>-육성한 고품질 선충저항성 F1 계통들의 품종보호등록 및 상품화 기대하고 중국의 당근종자 시장에서 경쟁력을 제고할 수 있을 것임.          -우리나라 당근 계통의 선충에 대한 저항성 정도, 포장성능 및 당도와 carotene 함량에 대한 정보를 보유하게 되어 차후 이러한 정보를 이용한 고품질 당근 육성에 유용한 자료로 활용될 것임.          -선충저항성 계통의 강한 선발을 위한 적정 토성이 구명되었고 또 우리나라 당근 계통의 선충저항성 특성이 밝혀져 차후 보다 강한 저항성 계통의 개발을 위한 정보로 활용할 수 있음.</p>				
<p>핵심어 (5개 이내)</p>	<p>당근 육종</p>	<p>뿌리혹선충</p>	<p>저항성</p>	<p>포장성능</p>	<p>품질</p>



5. 영문 요약문

< SUMMARY >

<p>Purpose &amp; Contents</p>	<p>- This study aims to develop root-knot nematode-resistant carrots with high quality. For this, it began with 200 Korean carrot lines with high quality, followed by their crossing and selfing during the following 4 years to produce their progenies, which were examined for their responses to the infection of the root-knot nematodes {<i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) and <i>M. hapla</i> (Mh)} in a screening system including their histopathological resistance mechanisms and molecular markers for resistance, for their productivities, growths and morphologies after cultivations of 2033 carrots in domestic and foreign (Chinese) carrot fields, for sugar and carotene contents of 1725 carrots.</p>				
<p>Results</p>	<p>- In inoculation tests, screening of 329 breeding lines with Mi and 119 lines with Mh revealed nematode-resistance of 92 lines (28.0%) to Mi and 79 lines (66.4%) to Mh, suggesting the higher rates of the Mh-resistant than the Mi-resistant, more resistant F<sub>1</sub> lines from selfing (66.7% to Mi, 100% to Mh) than from crossing (11.7% to Mi, 34.9% to Mh), of which the internal resistance homogeneity increased during the breeding processes.</p> <p>- Through the breeding processes, high quality carrots of one F<sub>1</sub> crossing line (15KH-3) resistant to both Mi and Mh, another F<sub>1</sub> crossing line (15KH-7) resistant to Mh, and the other three selfing F<sub>1</sub> lines (1226-1-2, 1226-2-3, 1234-1-2) resistant to both Mi and Mh have been bred, of which the F<sub>1</sub> crossing lines will be applied for the protection of new carrot cultivars that are to be commercialized.</p> <p>- The gall and eggmass formations on carrot roots were highest in sandy soil, in which penetration rates of Mi into and growths of Mh within the roots were highest, suggesting the screening of the carrots for the nematode resistance in such soil texture can be applied as a way for the selection of the strong nematode-resistant breeding carrot lines</p> <p>- The resistance degrees of carrots to Mi and Mh decreased with the increase of the inoculum (nematode) density and no genetic marker for resistance specific to nematodes were detected in the analysis of nematode-resistant genes using 18 resistance-related primers, suggesting the nematode-resistance of Korean carrots may be governed by polygenic resistance genes whose expressions are influenced by inoculum, plant-growth and environmental conditions.</p> <p>- Through field performance and quality evaluation tests, nematode-resistant carrot lines with high quality have been bred, including 119 F<sub>1</sub> crossing lines and 104 selfing lines resistant to Mi, 51 F<sub>1</sub> crossing lines and 66 selfing lines resistant to Mh, and 16 F<sub>1</sub> crossing lines and 36 selfing lines, 6 male-sterility lines and 11 pollen parental lines, which suggests the information on the characteristics of Korean carrots for nematode-resistance, root morphology and growth, and sugar and carotene contents has been secured for the high quality carrot breeding program in the future.</p>				
<p>Expected Contribution</p>	<p>- The nematode-resistant carrot lines with high quality will be registered for the protection of new carrot cultivars and commercialized to secure high competitiveness in domestic and Chinese markets.</p> <p>- Data on the cultural and biological characteristics of Korean carrots and their nematode resistance degrees and characters have been secured and that will be applied for breeding high-quality carrot lines in the future.</p> <p>- Optimum soil textures for the root-knot nematode infection on carrot have been determined that can be applied for the selection of carrot lines with strong resistance to the nematodes.</p>				
<p>Keywords</p>	<p>carrot breeding</p>	<p>root-knot nematodes</p>	<p>resistance</p>	<p>field performance</p>	<p>quality</p>

## 6. 영문 목차

### 〈Contents〉

1. Overview of the R & D projects .....	7
2. Current state of domestic and international technology development .....	10
3. Results of the research studies .....	11
4. Goal attainment and contributions to related fields .....	118
5. Future Plans of utilizing the R & D results .....	119
6. International scientific and technical information collected during the research process .....	120
7. Security clearances of the R&D results .....	120
8. Current status of the registered equipment and facilities in the National Science and Technology Information System .....	120
9. Laboratory safety measures performance concerning the R&D projects .....	120
10. Typical study results of the R&D projects .....	121
11. Other details .....	121
12. References .....	122

## 7. 본문 목차

### < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 .....	7
2. 국내외 기술 개발 현황 .....	10
3. 연구 수행 내용 및 성과 .....	11
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	118
5. 연구개발성과의 활용 계획 .....	119
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 .....	120
7. 연구개발성과의 보안등급 .....	120
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황 .....	120
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 .....	120
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 .....	121
11. 기타 사항 .....	121
12. 참고 문헌 .....	122

# 제1장. 연구개발과제의 개요

## 1. 연구개발 목표

- 비타민 A, C와 섬유소가 풍부한 당근은 감자 다음으로 전 세계적으로 많이 생산되고 있고 당근은 1억 달러의 시장 가치, 110만 헥타르의 재배 면적, 2천4백만 Mt의 생산량으로 전 세계 10대 채소 작물의 하나이다 (Simon 등, 2008). FAO 통계에 의하면 2011년도 감자와 순무 생산량이 약 3천6백만 Mt이고 이 중 중국이 그 절반을 차지하고 있는 것으로 보고되었다(FAO, <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>). 당근은 우리나라에도 무와 함께 중요한 뿌리채소작물의 하나로 2011년도 통계에 의하면 그 재배면적이 2,849 ha이며 그 중 83.1%가 제주도가 지배적으로 많이 차지하는 야외포장에서 재배되며 16.9%가 경남북 등 내륙지방의 시설재배지로 이루어져 있고 이 시설재배 면적이 지난 6년간 꾸준히 증가하고 있는 실정이다(농림수산식품통계연보, 2012).
- 당근의 재배에 있어서 질적, 양적 생산에 큰 영향을 미치는 요인으로 병해충에 의한 피해이다. 그 중 뿌리혹선충에 의한 피해가 가장 큰 것으로 알려져 있다. 뿌리혹선충은 비단 선충에 의한 직접적인 피해가 클 뿐만 아니라 다른 병원균의 침입을 돕거나 병의 피해를 악화시키는 등 간접적인 피해도 상당하다. 뿌리혹선충의 방제법으로는 경종적 방제법, 살선충제 사용에 의한 화학적 방제법 등 여러 가지가 있을 수 있으나 선충의 피해가 겉으로는 잘 드러나지 않고 또 토양병의 특성상 방제가 어려워 이들 방제법으로는 큰 효과를 기대하기 어렵다. 가장 효과적인 방제법으로는 저항성 품종 사용인 것으로 알려져 있는데 이는 경작자의 추가적인 비용 지출이 소요치 않고 지속적으로 방제를 이룰 수 있으며 환경에 악영향이 극소화될 수 있다는 점에 있다.
- 따라서 본 연구에서는 현재 국내에서 본 연구진에 의해 육성된 고품질 당근 계통들을 대상으로 뿌리혹선충에 대한 저항성을 검정하여 고품질내선충 당근 계통을 육성하고 이러한 계통들을 이용한 교배조합을 작성하여 포장 시험을 통해 선충 저항성 검정과 품질 분석을 통해 고품질 선충 저항성 1대 잡종 품종을 개발하고자 하며, 이를 통해 적정 저항성 검정 기술을 확보하여 차후 지속적으로 당근의 저항성을 평가하여 국내 당근 품종의 우수성을 유지하는데 기여하고자 한다.

## 2. 연구개발의 필요성

- 당근의 재배에 있어서 질적, 양적 생산에 큰 영향을 미치는 요인으로 병해충에 의한 피해이다. 그 중 뿌리혹선충에 의한 피해가 가장 큰 것으로 알려져 있다. 뿌리혹선충은 비단 선충에 의한 직접적인 피해가 클 뿐만 아니라 다른 병원균의 침입을 돕거나 병의 피해를 악화시키는 등 간접적인 피해도 상당하다. 식물기생선충에 의한 피해는 전 세계적으로 매년 약 천 억불의 수량 감소가 초래되고 있는데 그 중 가장 큰 피해를 주는 선충이 뿌리혹선충으로 알려져 있다(Oka 등, 2000). 약 2000 가지의 식물이 뿌리혹선충에 감수성이며 전 세계적으로 약 5%의 수량 감소를 초래하고 있다(Sasser and Carter, 1985). 당근에 있어서도 뿌리혹선충에 의한 피해가 다른 어떤 선충보다 크다. 뿌리혹선충은 당근에 피해를 주는 뿌리혹선충 종은 4 가지(*Meloidogyne incognita*, *M. hapla*, *M. arenaria* 및 *M. javanica*)로 알려져 있다. 이들 중 *M. javanica*는 열대나 아

열대 지역에서 주로 피해를 주고 있으며, *M. incognita*와 *M. arenaria*는 비교적 기후가 온난하거나 온실 등 시설재배지에서 많은 피해를 주며, *M. hapla*는 비교적 추운 지역의 재배 포장에서 피해를 큰 것으로 알려져 있다.

- 우리나라에서는 아직 당근에서 나타나는 뿌리혹선충의 종류조차 확실히 파악되고 있지 않으나 당근재배지에서 흔히 발견되며 경우에 따라서는 심한 피해를 주는 것으로 알려져 있다. 우리나라의 재배 작물에는 전국적으로 위의 뿌리혹선충 4종이 분포하는 것으로 알려져 있고 우리나라 당근 재배지에도 이들 선충이 분포하리라 생각된다. 특히 선선한 기후를 선호하여 온대지역의 야외포장에 주로 분포하는 *M. hapla*는 우리나라에서는 야외 포장에서 겨울재배가 이루어지는 제주도 재배 당근에 피해를 주고, 연중 따뜻한 환경이 조성되는 내륙지방의 시설재배지에서는 다른 세종의 뿌리혹선충의 분포 가능성이 있으나 그 중 지금까지 다른 시설작물 재배지의 선충종의 분포도 변화와 당근의 시설재배역사와 시설재배의 면적 등을 고려할 때 고려할 때 *M. incognita*의 분포가 가장 높을 것으로 예상된다. 또한 이 두 뿌리혹선충의 흑의 크기 및 형성 정도를 비교할 때 *M. hapla*보다 *M. incognita*에 의한 피해가 더 클 것으로 예상된다.
- 작물의 선충병 발생은 일반적인 미생물에 의한 병과 마찬가지로 환경 조건에 따라 달라지므로 병 발생이 감소하였다고 저항성으로 직결되지 않는다. 병의 회피가 일어날 수 있기 때문이다. 따라서 작물의 선충에 진정저항성(true resistance)이 있는지 평가되어야 하며 이는 저항성 유전자의 확인을 통해 가능하다. 그러나 단인자저항성의 경우 저항성 유전자의 파악이 비교적 용이하고 또 환경에 의한 영향을 크게 받지 않는 반면, 다인자저항성의 경우 저항성 유전자의 파악이 어려울 뿐 아니라 환경조건에 따라 다른 저항성 정도를 나타낸다. 진정 저항성을 확인하기 위해서는 교배(crossing) 또는 자식(selfing)을 통해 저항성이 후대로 유전되는지 확인되어야 하고 포장시험을 통해 다양한 환경 하에서 저항성이 확인되어야 할 것이다. 또한 저항성 유전자의 확인이 어려울 경우에는 어떠한 저항성메커니즘을 가지고 있는지 병리학적인 검증도 필요하다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 당근 계통을 사용하여 두 가지 뿌리혹선충 *M. hapla* 및 *M. incognita*에 대한 저항성 screening과 저항성 유전자 및 저항성메커니즘 조사, 교배 및 자식 시 후세대의 저항성 검정과 야외 포장시험을 통한 선충의 피해 조사 및 당근 품질 특성을 구명함으로써 고품질 선충저항성 당근 계통을 육성하고자 한다.

### 3. 연구개발 범위

- 뿌리혹선충 저항성 고품질 당근 계통 육성을 위한 저항성 스크리닝 및 분자표지 개발
  - 각종 당근 유전자원의 뿌리혹선충 *Meloidogyne incognita*, *M. hapla*에 대한 접종 방법에 의한 저항성 스크리닝 및 적정 스크리닝 조건(토성별) 확립
  - 뿌리혹선충의 침입률 및 거대세포 형성 등 조직병리학적 조사를 통한 뿌리혹선충 저항성 메커니즘 구명
  - 기 개발된 뿌리혹선충 저항성 유전자 연관 분자표지 평가, 저항성의 유전 양상 규명을 통해 연관 분자표지 제작 및 이를 접종법에 의한 저항성 screening의 결과와 연계하여 당근 계통의 저항성 특성 구명

- 선충 저항성 고품질 당근 계통 육성 및 1대 잡종 품종 개발
  - 기존 국내 고품질 당근 계통의 선충 저항성 검정과 외국으로부터 도입된 선충저항성 계통의 *Meloidogyne incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성검정을 통한 고품질내선충 계통육성
  - 선발된 고품질내선충 계통을 활용하여 교배조합을 작성하고, 계통간 교배 후 F1의 지역별 포장 시험, 시교생산 및 시교시험, 지역연락시험을 통해 우수한 1대 잡종 품종 개발
  - 기존 계통, 육성된 선충저항성 및 교배된 F1 품종들의 카로틴 및 담 함량 분석을 통해 당근의 품질 조사잎마름병의 발생과 확산 원인 및 진단법 구명: 투바키아잎마름병 피해 산지에서 분리된 병원균의 균학적, 계통유전학적 특성 조사, 병 발생율에 의한 병원성 정도 확인을 통해 기존의 점무늬 증상이 아닌 잎마름 증상과의 관련성을 조사하여 발병의 주체임을 확인하고 이병목에서 투바키아 종의 분리 빈도를 조사하여 병원균의 월동처와 감염부위를 확인함으로써 병환과 관련된 병 발생 특성을 구명함.

## 제2장. 국내외 기술개발 현황

### 1. 세계적 수준

- 뿌리혹선충은 전 세계적으로 작물에 가장 큰 피해를 주는 선충으로 이에 대한 연구로 선충 및 선충의 피해 특성, 형태적 및 판별작물 집중법에 의한 선충의 분류 동정 등 다양한 연구가 이루어졌다. 또한 선충을 방제하기 위해 저항성 작물의 육성에 대해 끊임없는 연구가 이어져 왔다. 그 가운데 특히 토마토에 피해가 큰 뿌리혹선충 *Meloidogyne incognita*에 대해서는 저항성 유전자 *Mi*가 예전부터 알려져 있으며 이를 무력화시키는 이 선충의 새로운 race에 대한 저항성 유전자도 도출된 바 있다. 마찬가지로 당근에서 이들 뿌리혹선충을 방제하기 위해 선진 각국에서는 저항성 계통 육성 연구가 진행되고 있으나 아직 괄목할 만한 성과의 보고나 범용적으로 상용화된 경우는 드물다. 미국 California (Riverside) 대학에서는 2006년경 선충저항성 유전자를 발굴하고 뿌리혹선충에 저항성 당근 계통 개발을 위한 연구가 추진 중이었으며, 또한 Wisconsin 대학에서는 몇 가지 저항성 당근 계통을 육성하였고 또 선충저항성 1대 잡종 품종 개발이 다소 이루어졌으나 최근까지 선충 저항성 당근 품종이 널리 상용화되었다는 보고는 없다.
- 당근의 뿌리혹선충 저항성 유전자에 대한 연구가 진행되어 여러 실험 결과가 발표되었는데, 그 가운데 ‘Brasilia’ 품종과 여기서 파생된 품종에서는 뿌리혹선충 저항성이 단일 우성 저항성 유전자좌에 의해 유전된다는 연구보고가 발표된 바 있다.

### 2. 국내 수준

- 작물별 선충 분포 조사에서 우리나라 뿌리혹선충의 종류가 확인된 바 있다. 특히 시설참외재배지에서 두 가지 뿌리혹선충(*M. incognita*와 *M. arenaria*)이 우점종임이 확인되었고 이들 선충을 위한 여러 가지 재배적 방제방법이 연구되었다. 참외 및 고추를 이용하여 *M. incognita*에 대한 저항성 screening을 통해 몇 가지 고추 품종의 저항성이 확인된 바 있다. 토마토에서 뿌리혹선충과 시들음병균의 동시 감염에 의한 복합병으로 피해가 심화되는 현상과 이를 미생물을 이용한 생물학적 방제에 대한 보고가 있다. 그러나 국내 당근 계통 육성 및 품종 개발은 1970년대 시작되어 근 40 여년의 역사를 가져 육종의 기술적 수준은 세계적 평균 수준임에도 당근의 식물체적 특성으로 인하여 첨단 분자생물학적 육종기술의 적용이 어려워 전통 육종 방식에 의존하고 있다. 또한 당근의 뿌리혹선충 저항성 계통 육성 및 품종 개발과 선충 저항성 유전자에 대한 연구는 현재까지 이루어지지 않고 있다. 국내 당근의 생산성과 품질 제고를 위해 당근 선충에 대한 저항성육종 연구가 필요한 실정이다.

# 제3장. 연구 수행 내용 및 성과

## 제1절. 뿌리혹선충 저항성 고품질 당근계통 육성을 위한 저항성 스크리닝 및 분자표지 개발

### 1. 당근 계통의 *Meloidogyne incognita*(Mi)와 *M. hapla*(Mh)에 대한 저항성 검정

#### 가. 당근 계통, 교배 및 자식조합의 뿌리혹선충에 대한 저항성 검정

##### (1) 주요 연구내용 및 방법

- 국내 (주)한중당근육종연구소(한중당)에서 개발된 당근 계통과 전년도에 뿌리혹선충에 대한 저항성 스크리닝을 완료한 계통의 교배조합과 자식조합을 각 선충을 접종하여 저항성 정도를 평가하였음. 연도별로 스크리닝한 계통수는 1차년도에는 한중당에서 개발한 316계통과 미국 University of Wisconsin에서 분양받은 21계통을 Mi에 대해 스크리닝하였고, 2차년도에는 중 전년도에 Mi에 대한 저항성 검정을 완료한 계통 중 44 교배조합과 50 자식조합 등 총 94 조합을 이용하여 Mi와 Mh에 대한 저항성 스크리닝을 실시하여 부모세대와 자식세대의 저항성 정도를 비교하였고, 3차년도에는 1, 2차 연도에 저항성 스크리닝을 완료한 계통을 교배하고 자식한 79 조합에 대해 Mi와 Mh에 대해 저항성 여부를 조사하였고, 4차년도에는 1, 2, 3차 연도에 저항성 스크리닝을 완료한 계통을 교배하고 자식한 57 F<sub>1</sub> 계통의 Mi와 Mh에 대한 저항성 여부를 조사하였으며, 5차 마지막 연도에는 지금까지의 스크리닝을 통해 나타난 결과를 토대로 잠정적으로 육성가능한 교배 및 자식조합을 이용하여 Mi와 Mh에 대한 저항성 정도를 평가하였음.
- 연구에서 사용된 선충으로 *Meloidogyne incognita*는 참외의 뿌리혹선충 피해지에서 분리한 선충이며 *M. hapla*는 뿌리혹선충 피해 인삼 뿌리에서 분리하였고 각각은 판별 식물 또는 분자유전학적인 방법에 의해 동정되었음. 저항성 스크리닝을 위해 사용된 선충은 Mi의 경우 고추에서 Mh의 경우는 토마토(cv. Rutgers)에서 사육된 뿌리혹선충을 각각의 뿌리에 붙어 있는 선충의 알집(egg mass)을 분리해내어 깔때기 법으로 알을 부화시킨 2령 유충(J2)을 접종원으로 사용하였음.
- 연도별 스크리닝에서는 1차년도 2차 시기부터 4차년도까지는 (주)한중당근육종연구소이 소재하는 비닐하우스 포장에서, 1차년도 1차와 5차년도에는 서울대학교 농업생명과학대학의 실내온실에서 당근을 계통이나 조합별로 5 개체의 식물체를 플라스틱 포트( $\phi$  10 x height 9 cm)의 토양(모래 1: 상토 1)에 심은 후 4주 동안 자라게 한 후 선충(J2)을 접종하였고, 선충 접종 6~7주 후 혹형성물을 조사하였는데 뿌리혹지수 조사 방법은 뿌리혹의 뿌리 점유도에 따라 다음과 같은 지수에 의해 조사하였고{0= 0-10% of galled roots, 1= 11-20%, 2= 21-50%, 3= 51-80%, 4= 81-90%, and 5= 90-100% of roots galled (K. R. Barker)}, 혹 지수가 0.1 이하이면 고도저항성(HR), 1.0 이하이면 저항성(R), 1.0~2.0이면 중도저항성(MR), 2.0보다 높으면 감수성(S)으로 판단하였음(Modified from Sasser et al., 1984). 그러나 초기에 보다 강력한 선발을 위해 2년차까지는 중도저항성을 감수성으로 표기하여 저항성 계통의 기준을 엄격히 책정하였음.
- 당근 계통의 뿌리혹선충 저항성 스크리닝 결과 감수성으로 나타난 계통과 저항성으로 나타난 계통에서 선충 침입부위의 뿌리조직을 수거하여 현미경 관찰 재료로 사용하였는데 수거한 뿌리조직은 5 mm 이하로 잘라 Karnovsky fixative로 4 시간 고정 후 세척하고 이어 0.1% Osmium tetroxide로 후고정 후 세척 및 ethanol series에서 탈수하고 Spurr resin으로 embedding 한 후 Ultramicrotome을 사용하여 유리칼로 1.0  $\mu$ m 두께로 절



단한 절편을 1.0% Toluidine blue O로 염색하여 광학현미경으로 관찰하였다. 또한 그 중 일부는 Ultramicrotome 을 사용하여 diamond knife로 80 nm의 초박편을 만들어 전자현미경 하에서 관찰하였다.

## (1) 연구 결과 및 고찰

### (가) 1차 연도 저항성 스크리닝 결과와 조직병리학적 반응

#### ① 저항성 스크리닝 결과

- 국내 (주)한중당근육종연구소에서 개발된 당근 계통과 외국으로부터 분양받은 당근 계통 총 301계통에 대해 저항성 스크리닝을 실시한 결과 다양한 혹 형성 정도를 나타내었으며 혹 형성 정도 및 다른 종류의 뿌리 피해(뿌리괴사 등)에 따라 뿌리 생육의 차이가 나타났음 (그림 1). 그러나 계통에 따라서는 동일 계통 내에서도 혹형성 정도에 있어서 개체 간 변이가 관찰되어 이러한 경우 계통 내에서도 저항성에 차이가 있음이 판단됨.

- 1차년도 Mi에 대한 저항성 스크리닝 결과 제 1차 시기에는 국내 당근 100계통 중 4계통이 저항성을 나타내었고, 외래도입 21계통 중 5계통이 *M. incognita*에 대해 저항성을 나타내었음 (표 1). 제 2차 저항성 screening에서는 하우스 내 창가에 배치한 당근 135 계통은 낮은 기온의 영향으로 생육불량으로 혹 형성이 부진할 것으로 판단되어 검정에서 제외되었고 하우스의 중앙에 정상적으로 생육한 81계통을 스크리닝한 결과 저항성으로 판단되는 계통수가 45, 감수성으로 판단되는 계통수가 36으로 나타나 (표 2), 1, 2차 모두 합하여 국내 당근 총 181 계통 중 49 계통(27.1%)이 저항성으로 나타남. 이들 저항성 계통 중 혹형성지수가 낮은 식물체는 선별하여 본포에 심어 뿌리혹선충 저항성계통 육성재료로 활용하였음.



<그림 1. 당근 계통의 뿌리혹선충 저항성 스크리닝 결과: 혹의 수와 크기에 차이를 보이며 혹 지수에 따라 주근의 생육 차이가 있음을 볼 수 있음>

표 1 . 국내 당근 계통과 외래 분양 당근 계통의 뿌리혹선충에 대한 저항성 1차스크리닝 결과

No.	Gall index	R/S	No.	Gall index	R/S	No.	Gall index	R/S
610	2.00 ± 1.58	S	712	2.00 ± 0.00	S	723	2.75 ± 1.50	S
645	2.40 ± 1.14	S	280	1.00 ± 0.00	S	632	2.25 ± 0.96	S
406	1.60 ± 1.52	S	651	2.50 ± 0.71	S	427	1.75 ± 0.96	S
403	1.00 ± 0.82	S	412	1.00 ± 0.00	S	702	3.00 ± 0.00	S
414	1.60 ± 1.14	S	647	1.00 ± 0.00	S	424	3.50 ± 0.58	S
607	0.60 ± 0.55	R	411	1.00± 0.00	S	416	3.20 ± 0.84	S
401	1.20 ± 0.84	S	644	3.00± 0.00	S	408	2.00 ± 0.89	S
631	1.80 ± 0.45	S	252	1.60 ± 0.55	S	650	3.20 ± 0.45	S
223	2.60 ± 0.89	S	718	1.80 ± 0.84	S	281	1.50 ± 0.71	S
510	2.40 ± 0.55	S	273	1.00 ± 0.00	S	503	1.60 ± 0.55	S
649	2.60 ± 0.55	S	751	1.80 ± 0.84	S	720	2.75 ± 0.50	S
648	1.80 ± 0.84	S	709	2.60 ± 0.89	S	407	1.50 ± 0.58	S
405	1.60 ± 0.55	S	266	3.60 ± 0.55	S	428	1.67 ± 0.58	S
430	1.60 ± 0.55	S	603	1.25 ± 0.50	S	519	1.40 ± 0.55	S
278	1.40 ± 0.55	S	646	1.50 ± 0.58	S	222	1.80 ± 0.45	S
624	2.25 ± 0.96	S	225	2.00 ± 0.82	S	701	2.60 ± 0.55	S
434	1.00 ± 0.82	S	431	2.50 ± 0.58	S	221	3.40 ± 0.55	S
724	0.75 ± 0.50	R	636	2.50 ± 1.29	S	415	3.33 ± 0.58	S
418	1.50 ± 0.58	S	426	1.33 ± 0.58	S	623	1.67 ± 1.15	S
608	1.00 ± 0.00	S	419	1.25 ± 0.50	S	436	1.00 ± 0.00	S
631	1.50 ± 0.58	S	426	1.33 ± 0.58	S	633A	2.00 ± 1.41	S
254	3.00 ± 0.82	S	274	1.67 ± 0.58	S	633B	1.67 ± 0.58	S
420	1.50 ± 0.58	S	502	2.00 ± 1.00	S	2566A	0.33 ± 0.58	R
227	2.50 ± 1.00	S	429	2.50 ± 0.71	S	2566B	1.00 ± 1.00	S
410	2.00 ± 0.82	S	402	0.50 ± 0.71	R	3180C	1.33 ± 1.15	S
423	3.00 ± 0.82	S	211	1.50 ± 0.71	S	4002MJRB	0.50 ± 0.71	R
417	1.25 ± 0.50	S	515	2.00± 0.00	S	5238A	0.33 ± 0.58	R
719	1.25 ± 0.50	S	228	4.20 ± 0.45	S	5238B	1.33 ± 1.15	S
413	1.67 ± 0.58	S	422	2.00 ± 0.71	S	5280A	0.67 ± 0.55	R
256	1.67 ± 0.58	S	425	2.80 ± 0.84	S	6253A	1.00 ± 1.41	S
509	1.50 ± 0.58	S	207	1.75 ± 0.50	S	6274A	1.00 ± 1.41	S
409	1.75 ± 0.50	S	263	1.50 ± 0.58	S	6274B	1.67 ± 1.30	S
601	3.00 ± 0.00	S	721	3.25 ± 0.96	S	6366A	3.33 ± 1.30	S
617	1.25 ± 0.50	S	505	1.50 ± 0.58	S	7254A	2.33 ± 0.58	S
628	1.33 ± 0.58	S	504	0.67 ± 0.58	R	7254B	1.67 ± 0.82	S
224	2.67 ± 0.58	S	612	3.67 ± 0.58	S	7262A	1.33 ± 1.15	S
260	2.00 ± 1.00	S	652	1.00 ± 0.00	S	7262B	1.50 ± 0.71	S
714	2.67 ± 0.58	S	210	1.60 ± 0.55	S	7322E	2.00 ± 0.00	S
643	2.00 ± 1.00	S	226	2.80 ± 0.45	S	9304A	1.00 ± 0.00	S
776	1.33 ± 0.58	S	622	3.00 ± 0.82	S	9304B	1.00 ± 0.82	S
						62513B	0.67 ± 0.58	R

\* 황색바탕은 외래 도입 계통; R: resistant, S: susceptible

표 2. 국내 당근 계통(정상생장)의 뿌리혹선충에 대한 저항성 2차 스크리닝 결과

No.	Gall index	R/S	No.	Gall index	R/S	No.	Gall index	R/S
1215(4)	0.2±0.4	R	446	0.2±0.4	R	1210(5)	1.2±1.3	S
1215(3)	0.2±0.4	R	444	0.4±0.5	R	1210(2)	1.6±0.5	S
1215(1)	0.2±0.4	R	441	0.4±0.5	R	1209(5)	1.4±1.1	S
1214(2)	0.2±0.4	R	427	0.2±0.4	R	1211(2)	1.4±1.1	S
1214(4)	0.8±0.4	R	422(2)	0.4±0.5	R	1213(3)	1.2±0.4	S
1214(1)	0.8±0.8	R	421	0.4±0.5	R	1213(1)	1.0±0.7	S
1211(5)	0.2±0.4	R	420	0.3±0.5	R	1212(1)	1.2±1.1	S
1211(3)	0.4±0.5	R	413	0.2±0.4	R	269(2)	1.2±0.8	S
1211(1)	0.8±0.8	R	403	0.2±0.4	R	268(1)	1.0±0.8	S
1210(4)	0.8±0.8	R	224(4)	0.2±0.4	R	256(1)	1.0±0.8	S
1207(3)	0.8±1.1	R	224(2)	0.4±0.9	R	251(1)	1.0±0.8	S
1201(5)	0.2±0.4	R	453	0.2±0.4	R	253(3)	1.0±0.8	S
1201(4)	0.4±0.5	R	450	0.4±0.5	R	264(1)	1.0±1.0	S
267(2)	0.8±0.8	R	412	0.2±0.4	R	267(1)	1.2±0.8	S
265(2)	0.5±0.6	R	223(4)	0.2±0.4	R	266(1)	2.0±0.0	S
254(4)	0.6±0.5	R	223(1)	0.2±0.4	R	1206(2)	1.3±0.5	S
252(0)	0.6±0.5	R	456	0.2±0.4	R	1206(1)	2.0±0.7	S
251(5)	0.8±0.8	R	454	0.4±0.5	R	1204(3)	2.6±0.5	S
250(5)	0.4±0.5	R	1203(3)	1.2±1.1	S	1204(2)	1.4±0.9	S
249(3)	0.2±0.4	R	1203(1)	1.8±0.4	S	1204(1)	1.5±1.0	S
249(1)	0.6±0.9	R	1202(0)	1.0±1.0	S	1203(4)	1.6±1.1	S
248(5)	0.2±0.4	R	442	1.0±1.0	S	211(2)	1.3±2.5	S
448	0.4±0.5	R	422(1)	1.4±0.5	S	1205(4)	1.6±1.9	S
410(2)	0.4±0.5	R	409	0.8±0.8	S	1205(2)	1.8±0.4	S
402(1)	0.4±0.9	R	402	0.5±1.0	S	1205(1)	1.3±1.0	S
408	0.2±0.4	R	228(1)	1.0±1.0	S	1204(4)	1.8±1.1	S
406	0.4±0.9	R	224(1)	0.5±0.6	S	pot 5	1	S

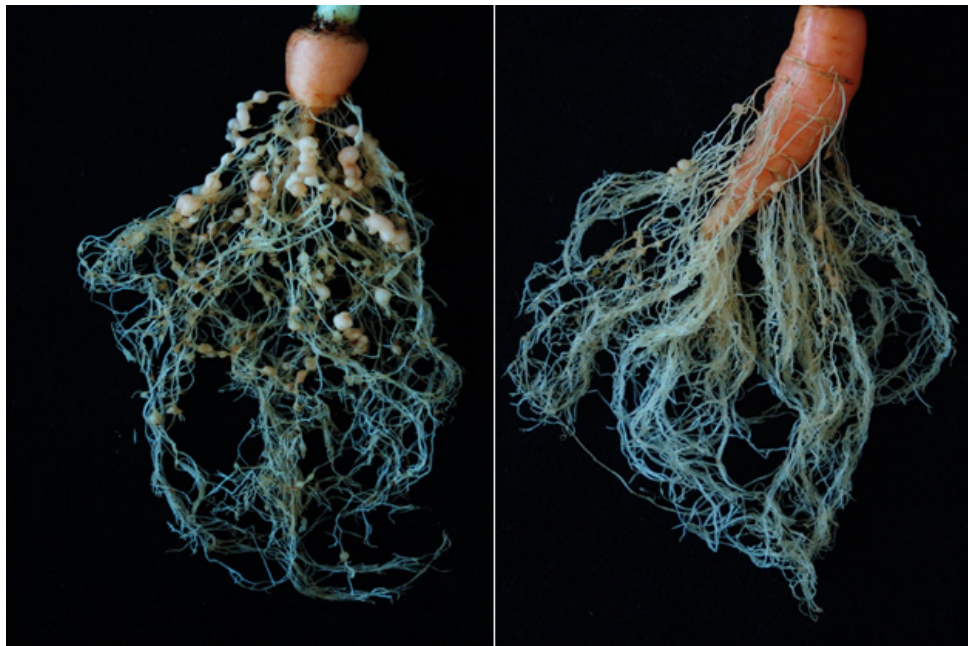
## ② 조직병리학적 반응

- 혹 형성에 있어서 저항성으로 나타난 계통은 감수성 계통보다 혹의 숫자와 함께 혹의 크기도 상당히 작아 혹의 발달이 완전히 이루어지지 않았을 것으로 생각됨 (그림 2).

- 감수성 계통에서 선충의 침입 부위에서는 여러 개의 거대세포(giant cell; G)가 선충(N) 주변에 형성되었고 거대세포 주변에는 물관(Xylem vessel; X)이 다량으로 분포하고 피층(cortex; Cr)의 안쪽에 물관 및 사부조직(Phloem; Ph)과 인접하는 거대세포의 안쪽 세포벽에 세포벽이입생장(cell wall ingrowth)과 관찰되고 또 거대세포의 세포질에 선충의 흡즙을 돕는 흡즙관(feeding tube; FT)관찰되는 등 전형적인 뿌리혹선충에 대한 감수성 반응의 결과물을 생성함(그림 3).

- 그러나 저항성 계통에서는 선충 주위에 다소 변화된 세포(modified cell; MC)만이 관찰되고 거대세포는 형성되지 않았으며 물관의 분포도 낮았으며, 특히 MC 주위를 둘러싸는 괴사층(necrotic layer; Nc)이 형성되었는데 이 괴사층은 세포 사이의 물질 이동 즉 거대세포를 발달을 위한 영양소나 MC에서 생성된 독성물질 등의 이동을 차단함으로써 거대세포의 형성 및 발달을 저지하는 기작으로 알려져 있음. 따라서 이러한 세포조직학적 반응은 뿌리혹선충에 대한 전형적인 저항성 반응으로 알려져 있음.

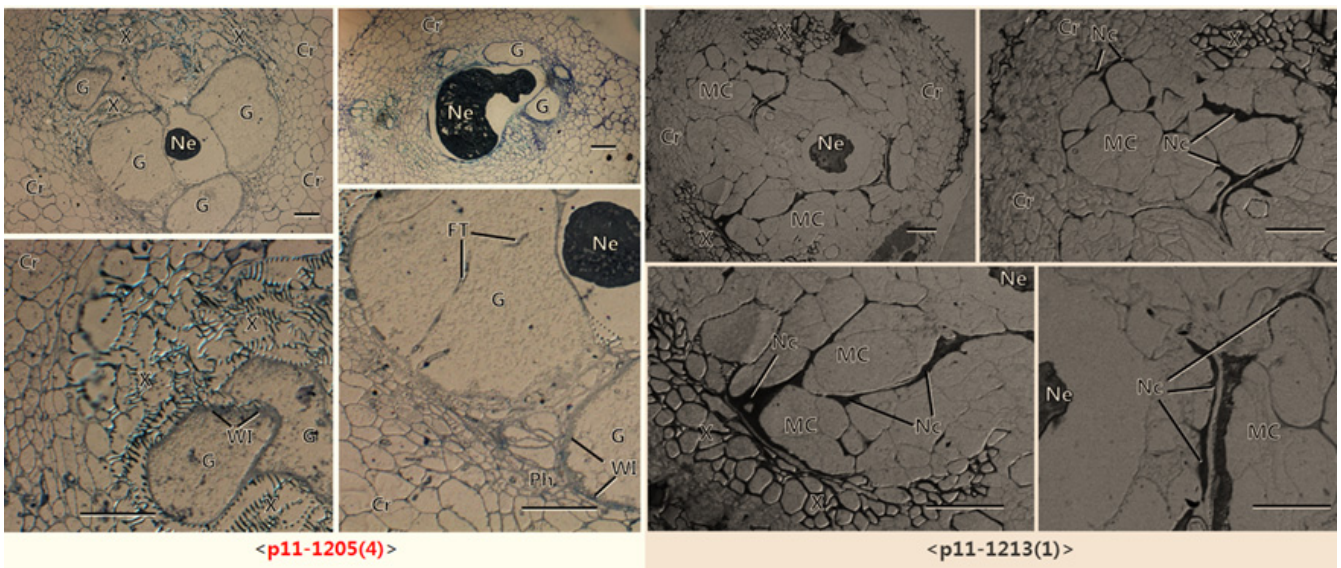
- 이러한 결과로 볼 때 뿌리혹선충 저항성 screening에서 저항성으로 나타난 당근 계통에서 혹형성률이 낮게 나타남은 뿌리혹선충의 감염 회피나 환경적인 요인에 의해 혹형성률이 낮아진 것이 아니라 자체 뿌리혹선충 저항성 유전인자의 발현에 기인할 가능성이 높다고 판단됨.



<p11-1205(4)>

<p11-1213(1)>

<그림 2. 뿌리혹선충에 대한 저항성 스크리닝 결과 감수성으로 나타난 당근 계통(p11-1205<4>)과 저항성으로 나타난 당근 계통(p11=1213<1>)에서 뿌리혹형성 정도; 저항성 식물의 뿌리에서는 혹의 숫자뿐만 아니라 그 크기도 상당히 작은 것을 알 수 있음>



<p11-1205(4)>

<p11-1213(1)>

<그림 3. 뿌리혹선충에 감수성(좌) 및 저항성(우) 계통의 선충 침입 부위의 뿌리조직에서 나타난 광학현미경으로 확인된 세포조직학적 반응 결과: Ne: 선충, G: 거대세포, Cr: 피층, X: 물관, Ph:체관, MC: 변형세포, Nc:괴사된 부위, WI: 이입생장. 감수성계통: 거대세포 형성 양호, 저항성계통: 거대세포 형성 불량 및 변형세포 주변에 괴사반응>



## (나) 2차 연도 저항성 스크리닝 결과와 조직병리학적 반응

### ① Mi에 대한 저항성 스크리닝 결과와 조직병리학적 반응

#### ㉠ 저항성 스크리닝 결과

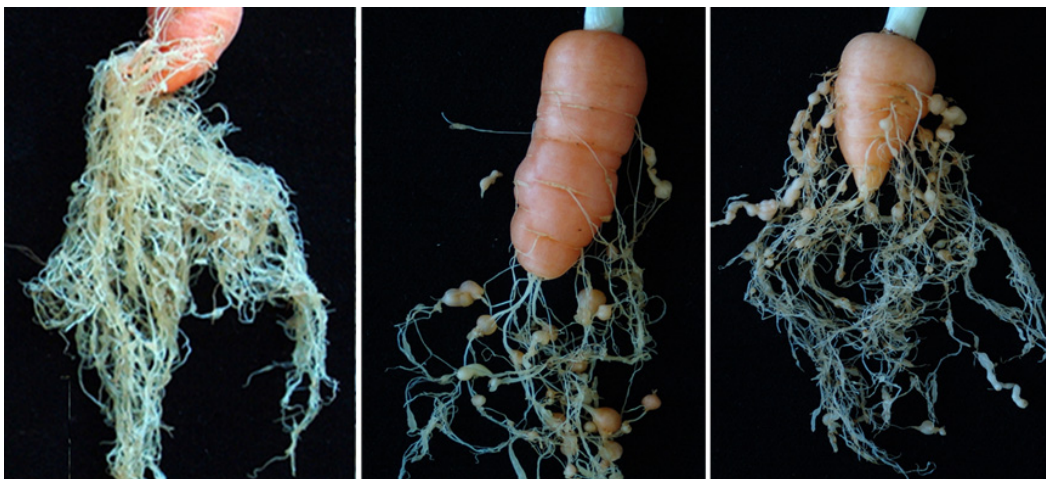
- 국내 (주)한중당근육종연구소에서 개발된 당근 계통과 외국으로부터 분양받은 당근 계통의 교배조합 총 94 조합에 대해 *M. incognita*에 대한 저항성 스크리닝을 실시한 결과 원 계통과 마찬가지로 혹지수(gall index)에 따라 저항성과 감수성으로 구분이 가능하였으며, 혹 형성이 심할 때 잔뿌리의 형성이 줄어들어 뿌리의 물과 영양분의 흡수 기능이 저하되는 것으로 판단됨(그림 4).

- 44 교배조합의 뿌리혹선충에 대한 저항성 screening에서는 4 계통이 저항성이었고 나머지 40조합은 감수성으로 판단되어 교배조합에서는 감수성이 지배적이었음(표 3). 저항성 조합에서의 부모세대에서 부계가 모두 저항성이었고 하나의 조합에서 모계가 감수성을 보여 적어도 부모중 하나 이상이 저항성이어야 교잡조합에서도 저항성으로 나타날 것으로 판단됨. 그러나 양친이 모두 저항성이라도 자식세대에서는 감수성을 보여 한국 품질 계통 당근의 경우 아직 뿌리혹선충에 대한 저항성이 잘 고정되지 않았을 것으로 생각됨. 이는 우리나라 당근 재배 역사와 *M. incognita*의 분포가 지금까지는 상당히 낮으므로 당근 재배에서 이 선충에 노출되는 기회가 적어 도태압(selection pressure)이 약했기 때문으로 생각됨.

- 50 자식조합에서는 교배조합과는 반대로 저항성이 29조합, 감수성이 21조합으로 나타났음(표 4). 이러한 결과는 우리나라 품질 당근이 *M. incognita*에 대한 저항성 유전특성을 근원적으로 지니고 있기 때문에 나타난 결과로 생각됨.

- 따라서 교배 및 자식에 의해 양육된 총 94계통에서 저항성은 33계통, 감수성은 61계통으로 저항성이 자식세대에도 전달이 잘 이루어지고 있는 것을 판단되며 저항성 후세대 계통의 양육 확률을 높이기 위해서는 교배보다는 자식이 더 유리할 것으로 생각됨.

- 그러나 주근의 생장은 뿌리혹선충의 지수와 유의적인 상관관계가 나타나지 않아 선충의 감염이 초기 주근의 형성에는 큰 지장이 없는 것으로 나타났음.



<그림 4. 당근 교배 조합 계통의 *M. incognita* 저항성 스크리닝 결과: 좌편: 혹형성이 거의 없는 저항성 조합의 당근 뿌리; 중앙과 우편: 심한 뿌리혹형성을 보이는 감수성 조합의 당근 뿌리; 뿌리혹형성 지수가 높을 때 잔뿌리의 형성이 적어 뿌리의 물과 영양분의 흡수 기능이 저하됨을 알 수 있음>

표 3. 국내 당근 계통과 외래 분양 당근 계통의 교배조합의 저항성 스크리닝 결과

Parents(Crossing)				F1			
No.	RR-Mi	No.	RR-Mi	No.	gall index	Taproot size(cm <sup>3</sup> )	RR-Mi
503	S	pot14	R	717	0.8±1.5	1.3±2.2	R
504	R	pot12	R	728	0.8±1.1	10.1±3.1	R
11-407⑤	R	11-208(12)⑤	R	744	0.4±0.9	10.3±3.5	R
11-432④	R	11-206(2)①	R	749	1.0±1.4	8.8±7.7	R
502	S	pot11	R	701	2.8±0.4	2.3±1.1	S
502	S	pot12	R	702	2.2±0.8	3.7±3.1	S
502	S	pot14	R	704	2.0±0.0	7.1±5.3	S
502	S	pot16	-	706	2.2±0.8	12.1±1.2	S
502	S	pot21	S	711	1.6±0.5	9.6±3.4	S
503	S	pot12	R	715	2.0±0.0	1.8±1.1	S
503	S	pot13	R	716	1.2±0.8	4.4±1.6	S
503	S	pot15	R	718	2.6±0.5	4.3±1.4	S
503	S	pot16	-	719	2.8±1.0	9.3±4.6	S
503	S	pot17	-	720	2.8±0.4	5.8±2.3	S
503	S	pot18	-	721	2.4±0.5	5.2±2.3	S
503	S	pot19	-	722	2.2±0.4	5.9±1.9	S
503	S	pot20	-	723	1.4±0.9	5.8±1.3	S
503	S	pot21	S	724	1.2±0.8	7±1.5	S
503	S	pot22	-	725	1.6±0.5	5.3±1.4	S
503	S	pot23	S	726	1.6±0.5	5.8±3.7	S
504	R	pot13	R	729	2.0±0.7	10.4±3.1	S
504	R	pot14	R	730	1.2±1.1	8.4±3.0	S
504	R	pot15	R	731	1.6±0.5	8.5±1.3	S
504	R	pot16	-	732	2.8±0.4	10.9±4.0	S
504	R	pot17	-	733	2.4±0.5	7.6±1.5	S
504	R	pot18	-	734	2.4±0.5	6.2±4.4	S
504	R	pot21	S	737	2.4±0.5	2.8±2.9	S
504	R	pot22	-	738	2.6±0.5	6.6±1.0	S
504	R	pot19	-	735	2.0±0.0	2.3±1.7	S
504	R	pot20	-	736	1.4±0.9	6.4±4.1	S
504	R	pot23	S	739	1.2±0.8	12.6±4.6	S
p11-407⑤	R	p11-205(2)⑤	R	743	2.4±0.5	12.4±2.9	S
p11-432④	R	p11-205(1)①	R	746	3.0±0.0	9.9±3.7	S
p11-432④	R	p11-206(9)②	R	750	2.8±0.4	8.1±4.7	S
p11-432④	R	p11-206(9)③	R	751	5.0±0.0	7.8±3.9	S
p11-432④	R	p11-206(9)④	R	752	2.6±1.1	8.3±3.5	S
11-432④	R	11-208(12)④	R	753	1.8±1.3	7.6±2.6	S
11-432④	R	11-209(3)⑤	R	754	2.0±0.0	1.4±1.2	S
11-432④	R	11-209(7)②	R	756	2.0±0.0	4.5±4.1	S
p11-432④	R	p11-244(4)⑤	R	758	2.7±0.6	5±4.6	S
p11-432④	R	p11-245(0)①	R	759	2.2±0.8	10.4±3.8	S
11-432④	R	11-246(2)⑤	R	760	1.8±0.4	7.7±2.2	S
11-432④	R	11-1214(5)①	R	761	1.4±0.5	11±8.2	S
11-432④	R	11-1214(5)④	R	762	2.0±0.0	6.8±1.2	S

\* 회색바탕은 외래 도입 계통; RR-Mi: resistance rating to *Meloidogyne incognita*;

R: resistant, S: susceptible

표 4. 국내 당근 계통과 외래도입 계통의 자식(selfing) 조합의 )의 저항성 스크리닝 결과

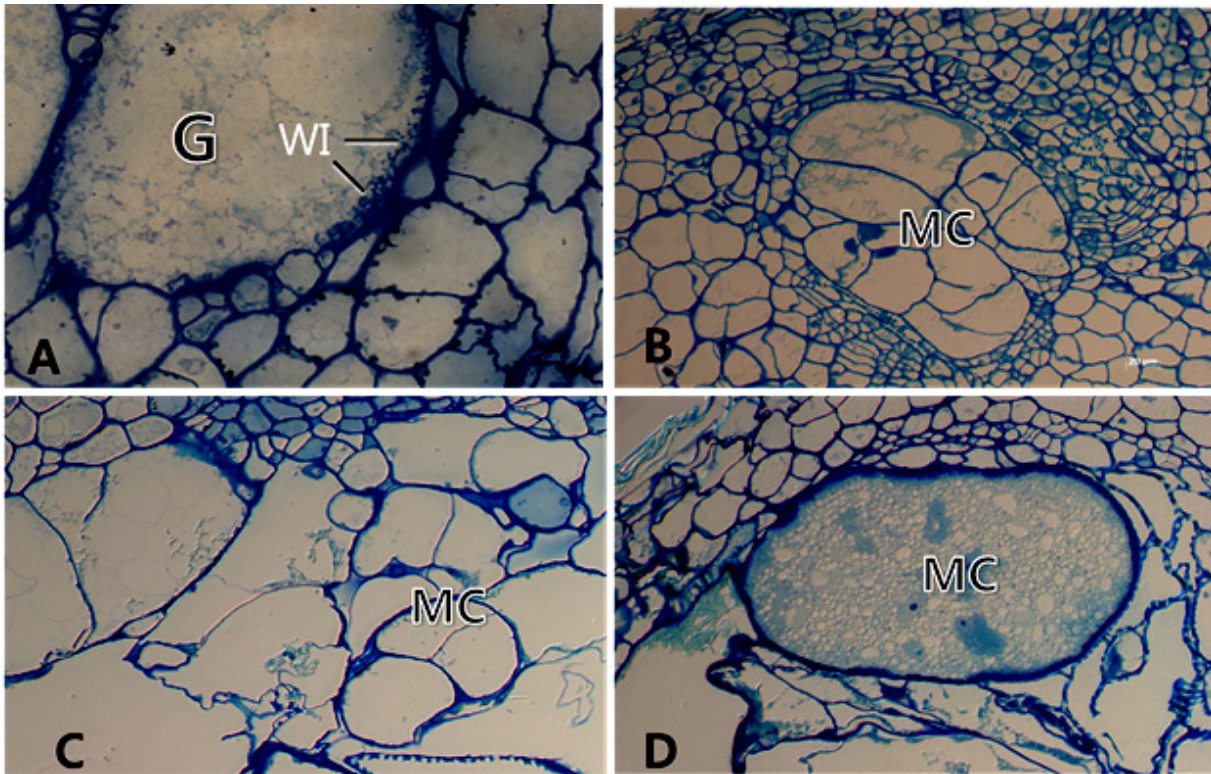
Parents (Selfing)		F1			
Line no.	RR-Mi	No.	gall index	Taproot size(cm <sup>3</sup> )	RR-Mi
205(1)-1(sf)	R	801	1.0±0.7	3.8±2.8	R
208(12)-4(sf)	-	808	1.0±1.0	5.3±2.1	R
209(8)-2(sf)	R	811	1.0±1.3	2.7±0.8	R
1214(5)-1(sf)	R	816	1.0±1.0	1.2±1.1	R
1214(5)-3(sf)	R	817	0.4±0.5	3.4±2.1	R
1214(5)-4(sf)	R	818	0.8±1.1	2±0.8	R
KH11-298-3(sf)	-	823	0.8±0.8	3.9±1.8	R
KH11-298-4(sf)	-	824	0.6±0.5	1.9±0.9	R
J11-818-1(sf)	-	831	0.8±0.8	2.2±0.8	R
J11-821-1(sf)	-	833	0.6±0.5	2.7±0.8	R
J11-821-1(sf)	-	834	0.6±0.9	2.9±2.8	R
KH11-1202(1)-1(sf)	-	841	0.4±0.5	1.3±1.0	R
KH11-1205(3)-1(sf)	-	842	0.4±0.5	2.3±1.2	R
KH11-1209(5)-1(sf)	R	843	0.6±0.5	2±0.9	R
KH11-1210(1)-1(sf)	-	844	0.8±1.3	2±0.8	R
KH11-1211(1)-1(sf)	R	845	0.4±0.5	2.9±1.2	R
KH11-1214(3)-1(sf)	R	847	0.8±0.8	2.7±1.4	R
pot2(sf)	-	852	0.6±0.5	1.8±1.0	R
pot3(sf)	-	853	0.8±1.3	3.6±2.2	R
pot4(sf)	-	854	0.4±0.5	3.2±0.7	R
pot6(sf)	-	856	0.6±0.5	3.5±1.9	R
pot8(sf)	-	858	0.8±0.8	6.3±3.3	R
pot12(sf)	R	862	1.0±1.0	2.4±0.6	R
pot14(sf)	R	864	0.6±0.5	4.9±2.0	R
pot18(sf)	-	868	0.6±0.5	4.8±2.1	R
pot19(sf)	-	869	1.0±0.7	3.6±2.5	R
pot20(sf)	-	870	1.0±1.0	7.5±4.2	R
pot21(sf)	S	871	1.0±0.5	2.9±0.5	R
pot23(sf)	S	873	0.6±0.5	4.7±3.6	R
206(9)-3(sf)	R	806	2.0±0.7	5.9±3.1	S
206(9)-4(sf)	R	807	2.0±1.2	4±2.3	S
209(3)-5(sf)	R	810	1.2±1.1	1±0.8	S
242(4)-4(sf)	R	812	1.6±1.1	5.3±3.5	S
244(4)-5S	R	813	2.2±0.8	2.8±2.2	S
245(0)-1(sf)	R	814	1.6±0.9	2.9±1.6	S
KH11-298-1(sf)	-	821	2.0±0.7	2.4±1.7	S
KH11-298-2(sf)	-	822	1.8±0.8	2.8±1.5	S
J11-818-2(sf)	-	832	1.2±1.1	3.1±1.4	S
KH11-1214(1)-1(sf)	R	846	1.2±0.8	2.2±0.9	S
KH11-1215(5)-1S	R	848	2.2±1.1	3.1±1.6	S
pot1(sf)	-	851	1.4±1.5	1.7±0.7	S
pot5(sf)	-	855	1.2±0.8	2.9±1.4	S
pot9(sf)	-	859	1.6±1.1	2.8±1.8	S
pot10(sf)	-	860	1.2±0.8	3.7±2.0	S
pot11(sf)	R	861	1.6±0.5	2.5±0.8	S
pot13(sf)	R	863	1.6±0.5	3.5±2.4	S
pot15(sf)	-	865	1.2±0.8	3.6±3.4	S
pot16(sf)	-	866	1.4±0.5	3.6±0.8	S
pot17(sf)	-	867	1.8±1.1	5.2±2.8	S
pot22(sf)	-	872	1.2±0.8	1.8±0.7	S

\* 회색바탕은 외래 도입 계통; RR-Mi: resistance rating to *Meloidogyne incognita*,

R: resistant, S: susceptible

## ㉞ 조직병리학적 반응

- 당근 뿌리의 뿌리혹선충 감염 부위의 조직병리학적 조사를 위한 현미경 관찰에서는 감수성 계통에서는 거대세포(giant cell)의 형성과 거대세포 내 물과 영양분의 전달(transfer)을 촉진하는 것으로 알려진 세포벽이입생장(cell wall ingrowth)가 다수 발견되어 아직 거대세포가 기능성을 가지고 있음을 알 수 있었음. 그러나 저항성 당근 뿌리에서는 주변 세포보다 다소 커지기는 했으나 완전한 거대세포로 변형이 이루어지지 않은 변형세포(modified cell)만 발견되었고 또 일부 변형세포는 세포질의 액포화(vacuolation)이 심하게 일어났음으로 보아 이러한 변형세포가 조기 퇴화된 것으로 판단되는 형태적 특성을 나타내었음(그림 5). 그러나 이전 저항성 계통에서 관찰되었던 과민반응(과저반응)을 발견되지 않았는데 이는 변형세포 주변에 선충이 발견되지 않았으므로 선충으로부터 상당히 떨어져 있는 부위의 저항성 반응 특성으로 판단됨.



A: 감수성; B, C, D: 저항성. G: giant cell, Mc: modified cells  
WI: cell wall ingrowth

<그림 5. 각각 뿌리혹선충에 감수성 및 저항성 교배조합의 뿌리혹선충 감염부위조직에서 세포조직학적 반응 결과; 감수성 뿌리조직에서는 cell wall ingrowth(WI)를 가진 기능적인 거대세포(G)가 형성된 반면, 저항성 뿌리에서는 미발달된 변형세포(Mc)나 변형세포의 퇴화현상이 발견되었음>



## ② Mh에 대한 저항성 스크리닝 결과 및 조직병리학적 반응

### ㉠ 저항성 스크리닝 결과

- 국내 (주)한중당근육종연구소에서 개발된 당근 계통과 외국으로부터 분양받은 당근 계통 중에서 *M. incognita*에 대한 저항성 screening을 실시한 해 51계통에 대해 *M. hapla*에 대해 저항성 screening을 실시한 결과 흑지수(gall index)에 따라 저항성과 감수성으로 구분이 가능하였으나 전체적으로 흑의 크기와 흑형성률이 *M. hapla*가 감염된 인삼이나 *M. incognita*에 감염된 당근에 비해 낮음을 알 수 있었다(그림 6).

- 51 당근계통의 *M. hapla*에 대한 저항성 screening에서는 28 계통이 저항성으로 나타났고 나머지 23 계통은 감수성으로 판단되어 *M. incognita*에 대한 저항성 screening에서와는 달리 저항성 계통의 비율이 높았음(표 5). 이는 아마도 *M. hapla*에 의한 뿌리혹 형성률이 *M. incognita*에 의한 것보다 전반적으로 낮은 것도 하나의 이유가 될 수 있을 것으로 판단되어 차후 최종적으로 *M. hapla*에 대한 저항성 계통의 선발 확정시에는 저항성에 해당되는 흑 지수를 낮추거나 계통별 평균 흑 지수 대비 변이의 폭에 제한을 두어 보다 엄격하고 안정적인 저항성 계통 선발에 만전을 기할 것임.

- 또한 *M. hapla*와 *M. incognita*에 대해 동시에 저항성을 가지는 계통이 L744, L808, L816, L818, L823, L824, L831, L832, L841, L845, L847 등 11계통으로 나타나 차후 이 두 선충에 대해 복합저항성을 갖는 계통의 육성이 가능할 것으로 생각됨.



<그림 6. 당근 계통의 *M. hapla*에 대한 저항성 스크리닝 결과: 좌편: 흑형성이 거의 없는 저항성 계통의 당근 뿌리; 우편: 심한 뿌리혹형성을 보이는 감수성 계통의 당근 뿌리; 그러나 인삼에 형성된 뿌리혹(그림 4)과 *M. incognita*에 의한 당근의 뿌리혹(그림 2)에 비해 뿌리혹의 크기가 작고 그 형성률이 낮았음>

표 5 . 당근 계통의 *M. hapla*에 대한 저항성 스크리닝 결과

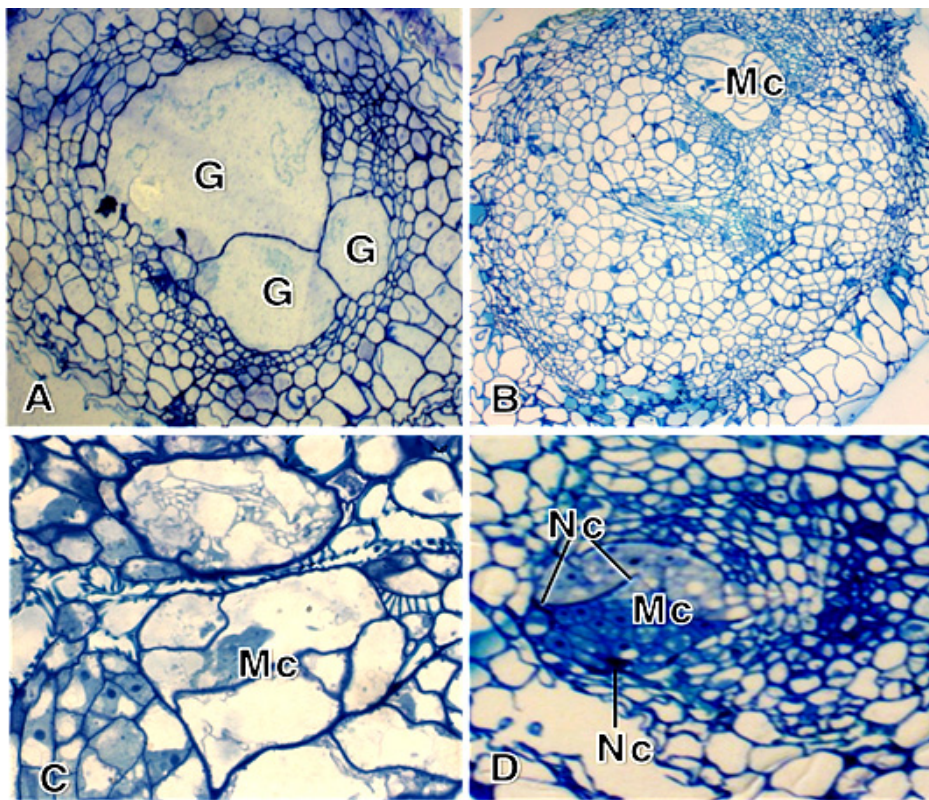
Line no.	Gall index	Taproot size(cm <sup>3</sup> )	RR-Mh	RR-Mi
726	0.3±0.6	14.7±1.2	R	S
728	1.3±1.2	22.9±16.2	S	R
729	1.0±1.0	15.5±5.2	R	S
730	0.4±1.0	25.4±13.3	R	S
731	0.7±1.2	28.6±15.7	R	S
732	2.0±1.2	15.1±14.9	S	S
733	0.8±0.5	21.9±11.9	R	S
734	1.0±0.8	19.9±12.3	R	S
735	1.3±1.0	10.8±5.7	S	-
736	2.0±0.8	6.9±8.3	S	S
737	0.7±0.6	1.8±2.1	R	S
738	1.0±1.2	8.3±6.8	R	S
739	0.3±0.5	1.9±0.2	R	S
743	0.2±0.4	15.1±12.3	R	S
744	0.6±0.5	14.1±5.1	R	R
746	1.3±1.5	5.7±5.6	S	S
751	2.0±1.2	5.0±3.1	S	S
752	1.2±0.8	9.2±4.1	S	S
753	1.4±0.9	9.6±5.1	S	S
755	0.6±0.9	5.5±5.1	R	-
756	0.2±0.4	5.4±4.9	R	S
760	1.0±1.0	13.5±5.7	R	S
761	0.8±1.0	14.3±2.5	R	S
762	0.0±0.0	11.5±5.2	HR	S
801	1.2±0.8	5.9±3.9	S	R
806	1.3±1.5	10.6±4.7	S	S
807	1.8±1.3	8.9±2.3	S	S
808	0.2±0.4	5.8±5.7	R	R
810	1.7±0.6	3.5±2.2	S	S
812	2.0±0.0	10.1±6.4	S	S
813	1.3±0.6	5.7±6.1	S	S
814	1.4±0.9	8.5±3.3	S	S
816	0.5±0.6	4.4±4.7	R	R
817	1.2±0.4	21.7±16.4	S	R
818	0.4±0.5	7.8±6.5	R	R
821	1.8±0.4	22.8±6.8	S	S
822	1.0±1.0	11.4±7.9	R	S
823	0.8±1.1	12.7±4.0	R	R
824	0.2±0.4	10.6±5.2	R	R
831	1.0±1.0	10.7±4.7	R	R
832	0.6±0.9	15.8±4.1	R	S
833	2.0±1.0	11.3±6.4	S	R
834	1.4±0.9	9.3±4.8	S	R
841	1.0±0.7	5.8±2.6	R	R
842	1.4±0.9	11.3±7.3	S	R
843	1.2±1.1	11.1±5.4	S	R
844	1.6±0.9	12.9±3.6	S	R
845	0.4±0.5	16.8±4.8	R	R
846	0.4±0.9	17.2±4.7	R	S
847	0.2±0.4	15.5±3.7	R	R
848	0.6±1.3	14.6±6.8	R	S

\* RR-Mh: resistance rating to *Meloidogyne hapla*, RR-Mi: resistant rating to *M. incognita*  
R: resistant, S: susceptible

\* 회색 바탕의 계통은 *M. hapla*와 *M. incognita*에 대해 동시에 저항성 반응을 보임.

㉔ 조직병리학적 반응

- 당근 뿌리의 뿌리혹선충 감염 부위의 조직병리학적 조사를 위한 현미경 관찰에서는 감수성 계통에서는 뿌리의 중심주(stele)를 거의 다 점유하는 거대세포(giant cell)가 형성된 반면(그림 7A), 저항성 당근 뿌리에서는 중심주의 변방의 일부를 점유하고 주변의 세포보다 다소 커지기는 했으나 완전한 거대세포로 변형이 이루어지지 않은 변형세포(modified cell)만 발견되었고(그림 7B, C), 초기의 변형세포의 주변에는 과민반응의 결과로 보이는 괴사(necrosis)가 형성되어 진정저항성 중 수직저항성 반응과 관련된 조직병리학적인 현상을 나타내었음. 이러한 결과는 *M. hapla*에 대한 당근의 저항성이 병 회피에 의한 외견상 저항성이 아니라 저항성 유전자를 가지고 있는 진정저항성을 나타내므로 우리나라 당근 계통의 저항성 육종에 밝은 전망을 나타내는 것이라 생각 됨.



A: 감수성; B, C, D: 저항성. G: giant cell, Mc: modified cell, Nc: necrosis

<그림 7. 뿌리혹선충(*M. hapla*) 감염부위조직에서 세포조직학적 반응 결과; 감수성 뿌리조직에서는 중심주를 거의 점유한 거대세포(G)가 형성된 반면(A), 저항성 뿌리에서는 중심주의 일부분만 차지하고 있는 변형세포(Mc)와 변형세포 주변에 과민성반응의 결과인 괴사(necrosis, Nc)가 발견되었음>

## (다) 3차 연도 저항성 스크리닝 결과와 조직병리학적 반응

### ① Mi에 대한 저항성 스크리닝 결과와 조직병리학적 반응

#### ㉠ 저항성 스크리닝 결과

- 국내 (주)한중당근육종연구소에서 개발된 당근 계통의 43 교배조합과 36 자식조합의 뿌리혹선충에 대한 스크리닝 결과 표 6에서 보는 바와 다양한 혹지수(gall index)를 나타내어 교배조합의 평균지수는 2.33, 자식조합의 평균지수는 1.87, 전체평균지수는 2.12로 나타나 전체적으로는 감수성 반응을 보였으며 **교배조합보다 자식조합의 저항성이 더 높았다.** 이에 따라 교배조합에서는 중도저항성(MR)이 5 조합에서 나타났을 뿐이었고, 자식조합에서는 저항성(R) 2 조합, 중도저항성이 12조합에서 나타났다. 이는 작년 결과와 같은 경향으로 2년 연속 이러한 결과를 보임은 결과의 신뢰성을 더하며 이를 바탕으로 조합을 작성하는 것이 지속적인 저항성 유지의 방편이라 사료되며, **차후 자식조합의 계통을 이용하면 이 선충에 대한 저항성 당근 선발이 효율적으로 이루어질 것으로 사료된다.**

한편 각각에 대한 저항성 및 감수성 반응의 변이 정도를 조사하기 위해 혹지수의 변이계수(coefficient of variance, CV)를 측정한 결과 교배조합은  $0.39 \pm 0.15$ , 자식조합은  $0.37 \pm 0.17$  및 전체조합은  $0.38 \pm 0.16$ 으로 나타나 조합별 변이계수의 차이가 매우 작았다. 보통 변이계수가 1.0이하이면 조합 내 혹지수의 오차가 크지 않음을 나타내는데 이 수치로 볼 때 감수성 조합이 많은 교배조합에서나 저항성 조합이 상대적으로 많은 자식조합에 차이가 없음은 감수성과 저항성 판별 간에 편차가 적음을 의미한다. 전체 변이계수를 1년차 연구에서의 *M. incognita*에 대한 스크리닝에서 나타난 수치인  $0.68 \pm 0.57$ (Seo et al., 2014)와 비교할 때 반 정도로 줄어들었음을 알 수 있는데 이는 *M. incognita*에 대해서는 스크리닝 방법이 정립되었거나 또는 교잡을 통해 저항성에 대한 유전적 균등화가 이루어지고 있음을 의미한다. 어느 쪽이 맞든지 간에 변이계수가 줄어들었음은 screening의 정확도나 조합 내 낮은 변이로 인해 *M. incognita*에 대한 저항성 조합의 선발의 효율성에 기여하리라 생각된다.

표 6. 교배 및 자식조합의 뿌리혹선충(*M. incognita*)에 대한 반응

파종번호	조합(교배)	Gall index	RR-Mi	파종번호	조합(자식)	Gall index	RR-Mi
1002	716-2 × 831-3	1.6±0.5	S	1203	801-4S	2.0±0.0	S
1003	716-3 × 808-1	2.0±0.8	S	1204	801-5S	3.5±0.6	S
1004	716-3 × 810-5	2.0±1.4	S	1205	808-1S	1.5±0.6	MR
1005	722-1 × 801-5	3.2±0.8	S	1206	810-5S	1.2±0.4	MR
1006	722-1 × 869-5	3.8±1.3	S	1208	816-2S	1.2±0.4	MR
1007	722-3 × 801-1	2.8±0.8	S	1209	817-5S	1.2±0.4	MR
1008	722-3 × 810-5	2.8±1.1	S	1210	823-4S	1.8±0.8	S
1009	723-1 × 801-5	3.4±1.1	S	1211	823-5S	2.4±0.5	S
1010	723-1 × 808-1	2.2±0.8	S	1212	824-4S	3.2±0.8	S
1011	723-5 × 870-2	3.4±0.9	S	1213	824-5S	1.7±0.6	S
1013	724-1 × 871-2	1.8±1.8	S	1215	832-1S	1.8±0.8	S
1014	725-4 × 801-5	2.8±1.1	S	1218	833-3S	2.0±0.7	S
1015	725-4 × 810-5	1.4±0.5	MR	1219	834-1S	1.0±0.0	R
1016	726-3 × 801-5	2.8±0.8	S	1220	834-2S	1.6±0.5	S
1017	726-3 × 810-5	2.8±1.1	S	1221	834-3S	1.4±0.5	MR
1018	726-3 × 811-1	3.2±1.1	S	1222	834-4S	1.2±0.4	MR
1019	726-3 × 873-3	2.2±1.3	S	1223	834-5S	1.6±0.9	S
1020	726-5 × 873-1	2.4±0.5	S	1224	841-2S	1.6±0.9	S
1021	728-1 × 831-4	2.6±0.9	S	1225	841-4S	2.0±0.7	S
1023	728-3 × 810-5	2.2±0.7	S	1226	841-5S	1.4±0.5	MR
1026	730-5 × 864-1	1.1±0.7	MR	1227	845-2S	1.8±0.8	S
1027	736-5 × 801-4	1.6±0.9	S	1228	845-3S	2.0±1.2	S
1029	743-4 × 801-2	2.4±0.9	S	1232	864-1S	1.3±0.5	MR
1031	746-2 × 801-5	2.4±0.9	S	1233	864-2S	1.6±0.5	S
1034	751-1 × 801-5	1.2±0.4	MR	1234	864-3S	1.0±0.0	R
1037	756-2 × 810-5	2.4±1.1	S	1235	864-4S	1.2±0.4	MR
1038	756-5 × 816-2	2.4±0.5	S	1236	864-5S	1.2±0.8	MR
1039	760-1 × 801-4	1.2±0.4	MR	1237	865-2S	2.4±0.5	S
1040	760-1 × 811-1	2.2±0.8	S	1238	865-3S	1.4±0.9	MR
1041	760-1 × 816-2	2.0±0.7	S	1239	865-5S	1.4±1.1	MR
1042	760-1 × 863-2	2.0±0.7	S	1243	866-5S	2.8±1.3	S
1043	760-5 × 864-4	1.6±0.9	S	1244	867-5S	2.8±1.0	S
1052	852-1 × 867-5	2.2±0.4	S	1246	868-4S	2.6±0.9	S
1054	853-4 × 863-2	1.4±0.5	MR	1249	869-4S	2.0±1.1	S
1057	856-4 × 866-5	3.6±1.3	S	13-1201	In KH12-801-1S	2.0±0.8	S
1059	858-1 × 873-1	2.4±0.5	S	13-1231	In KH12-863-2S	4.4±1.3	S
1060	858-2 × 868-4	2.4±0.9	S	Average(selfing)		1.87±0.75	
1061	858-3 × 872-5	2.0±1.0	S	CV(selfing)		0.37±0.17	
1062	859-1 × 872-2	2.8±1.6	S				
1063	859-3 × 872-3	2.8±1.3	S	Average(total)		2.12±0.73	
1022-2	728-2 × 862-1	2.8±0.8	S	CV(total)		0.38±0.16	
1030-2	743-4 × 801-4	2.4±1.1	S	CVs (coefficients of variations) are calculated by standard deviations/averages of gall indices for the crossing, selfing and total carrot lines.			
1031-2	743-4 × 811-1	1.8±0.5	S				
Average(crossing)		2.34±0.66					
CV(crossing)		0.39±0.15					



## ㉞ 조직병리학적 반응

- *M. incognita*에 감수성 반응을 보이는 당근은 그 흑지수에 관계없이 선충에 감염된 감염된 뿌리조직에는 모두 여러 개의 핵(nucleus, N)을 가진 거대세포(giant cell, GC)가 잘 형성되었고 저항성 당근에서 나타나는 거대세포 주변에 괴사증상이 나타나지 않아 모두 감수성 반응을 나타내었다(그림 8). 그러나 흑지수의 차이에 따라 흑지수가 높은 뿌리혹에서는 주변세포와 물질의 전이를 도와주는 세포벽이입생장(Cell wall ingrowths, WI)과 거대세포 주변의 물관이 더 확장되어 있어서 선충에 영양분을 공급하는 거대세포의 발달이 더욱 왕성하고 이에 따라 식물의 피해가 더 크을 알 수 있었다. 또한 흑의 형성과 크기와 관련된 흑세포(gall cell, Ga)도 더 많이 형성되어 있는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서의 스크리닝 방법이 당근의 저항성 및 감수성 판별에 상당한 타당성이 있음을 나타낼 뿐만 아니라, 흑지수에 따라 식물의 피해를 어느 정도 가늠하게 하여 우수 품질의 저항성 계통 및 조합 선발에 유용하게 이용할 수 있다.

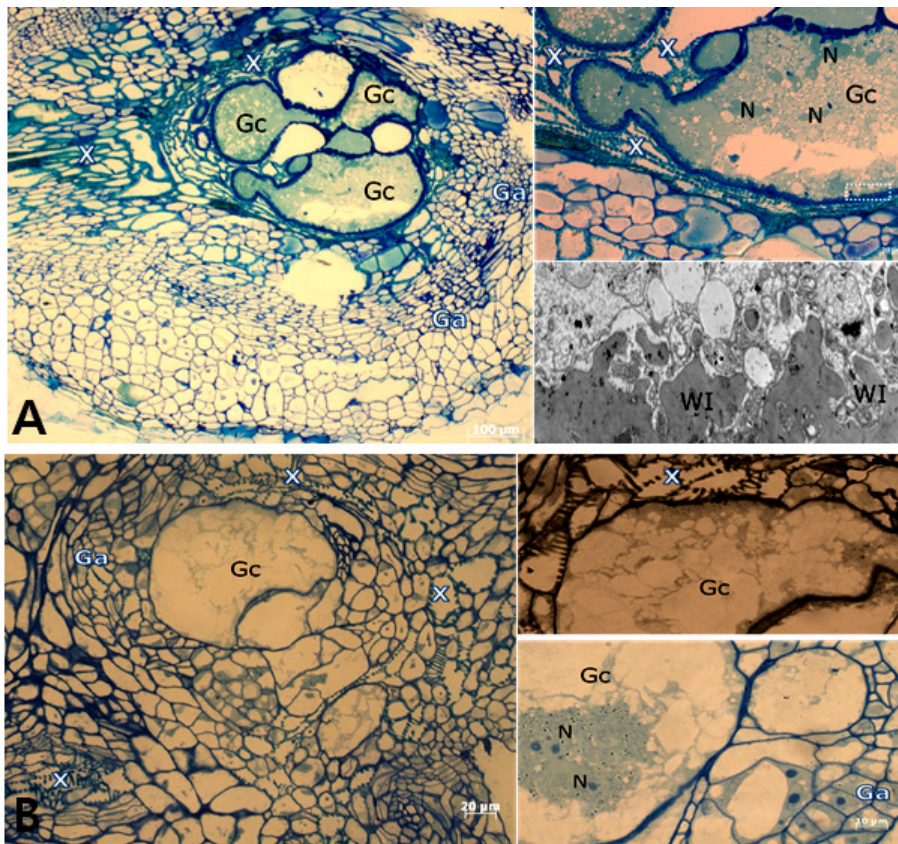


그림 8. 뿌리혹선충 감염부위의 현미경사진(A: *M. incognita*, B: *M. hapla*). Ga: gall cell, GC: giant cell, N: nucleus, WI: cell wall ingrowths, X: xylem vessel

## ㉟ Mh에 대한 저항성 스크리닝 결과와 조직병리학적 반응

### ㉠ 저항성 스크리닝 결과

- 국내 (주)한중당근육종연구소에서 개발된 당근 계통의 27 교배조합과 17 자식조합의 뿌리혹선충에 대한 스크리닝 결과 표 7에서 보는 바와 같이 교배조합의 평균 흑지수는 0.91, 자식조합의 평균지수는 0.38, 전체평균지수는 0.70으로 나타나 전체적으로는 저항성 반응을 보였으며, *M. incognita*에서와 마찬가지로 교배조합보다 자식조합의 저항성이 더 높았다. 이에 따라 교배조합에서는 감수성(S)이 5조합, 중도저항성(MR) 1조합, 저항성 21조합으로 나타났고 자식조합은 모두 저항성으로 나타났다. 조합작성이 첫해인 전년보다 작년에 이어 다시 조

합을 작성한 금년의 저항성 조합수가 획기적으로 상승한 것과 또 중도저항성은 오직 하나이고 감수성과 저항성으로 분명히 나뉘지는 것을 감안하면 조합작성에 의해 선충에 대한 반응의 일관성이 높아졌음을 의미한다. 더욱이 작년에 이어 올해에도 *M. incognita*보다 저항성 조합의 수가 많을 것을 볼 때 이러한 경향이 우리나라 당근 계통의 원천적 소질과 관련이 있는 것으로 판단되며 압도적으로 넓은 면적에 재배되는 노지당근의 주요 선충인 *M. hapla*에 대한 저항성 당근의 개발 가능성이 높은 것으로 생각된다. 흑지수의 변이계수는 조합별로는 차이가 작았으나 전체적으로 상당히 높은 것으로 나타났는데 이는 대부분의 흑지수가 매우 적으므로 상대적으로 그 변이가 크게 나타났기 때문으로 생각된다.

표 7. 교배 및 자식조합의 뿌리혹선충(*M. hapla*)에 대한 반응

파종번호	조합(교배)	Gall index	RR-Mh	파종번호	조합(자식)	Gall index	RR-Mh
1102	730-2×818-5	3.2±1.1	S	1263	817-2S	0.2±0.4	R
1104	730-4×816-3	3.4±1.1	S	1264	817-4S	0.2±0.4	R
1105	730-4×817-2	3.2±1.1	S	1273	831-3S	0.6±0.9	R
1106	731-3×817-2	1.2±0.4	MR	1274	831-4S	1.0±0.0	R
1107	732-2×817-2	0.4±0.9	R	1276	841-2S	0.6±0.9	R
1108	732-2×866-2	0.6±0.5	R	1277	841-3S	0.0±0.0	R
1109	732-5×818-4	0.6±1.3	R	1278	845-1S	0.8±0.8	R
1110	732-5×824-2	0.4±0.5	R	1279	845-3S	0.6±0.9	R
1112	739-5×817-2	0.4±0.5	R	1280	846-1S	0.0±0.0	R
1113	744-5×817-2	0.2±0.4	R	1281	846-2S	0.4±0.5	R
1114	744-5×818-3	0.4±0.9	R	1282	846-4S	0.0±0.0	R
1115	744-5×845-1	0.4±0.9	R	1284	847-2S	0.2±0.4	R
1116	In KH12-751-2×808-1	0.0±0.0	R	1285	847-3S	0.4±0.5	R
1117	Ha KH12-751-2×817-2	0.2±0.4	R	1286	847-5S	0.4±0.5	R
1118	751-3×816-3	0.4±0.5	R	1287	848-3S	0.4±0.9	R
1119	751-5×816-3	0.6±0.9	R	1288	848-4S	0.6±0.9	R
1120	751-5×817-2	0.2±0.4	R	1283-1	846-5S	0.0±0.0	R
1122	759-3×818-3	0.4±0.5	R	Average(selfing)		0.38±0.30	
1123	In KH12-759-5×808-1	0.6±0.9	R	CV(selfing)		1.12±0.81	
1124	Ha KH12-761-4×816-3	1.0±0.7	R	CVs (coefficients of variations) are calculated by standard deviations/averages of gall indices for the crossing, selfing and total carrot lines.			
1125	761-4×818-3	0.6±0.5	R				
1126	762-3×816-3	0.8±0.8	R				
1127	762-4×817-2	0.4±0.5	R				
1128	762-4×818-2	0.4±0.5	R				
1129	In KH12-762-5×801-1	0.2±0.4	R				
1103-2	730-2×824-2	2.2±0.4	S				
13-1101	Ha KH12-Ha KH12-730-2×817-4	2.2±0.4	S				
Average(crossing)		0.91±1.00					
CV(crossing)		1.12±0.74					

⑧ 조직병리학적 반응

- 길항세균의 처리 여부에 따라 두 식물체 모두에서 흑형성율과 알집형성율이 확연히 감소하는 결과를 나타내었는데 유의성 분석결과 흑형성과 알집형성 모두 유의적으로 감소하고 그 경향이 동일함을 알 수 있었다 (표 8). 이는 이 두 분석 방법에 큰 차이가 없음을 나타내는 것이라 생각된다. 한편 흑형성은 토마토에서 100% 방제효과를 가지고, 알집형성은 당근에서 100% 방제효과를 가지는데, 이에 따른 토마토의 알집형성은 75%의 방제효과를 가지며 당근의 흑형성은 90%의 방제효과를 가지는 것으로 나타나 식물에 따라 선충에 대한 반응이 다를 수 있다. 즉 토마토에서는 흑이 전혀 형성되지 않아도 선충이 증식할 수 있는 반면 당근에서는 흑형성에 지장을 받으면 그것 이상으로 선충의 생육에 지장이 초래됨을 의미한다. 또한 당근의 경우 알집이 전혀 형성되지 않아도 식물피해의 주요 원인인 흑은 어느 정도 형성되므로 알집형성으로 식물에 피해를 줄이는 저항성 판별에 오류가 있을 수 있다. 따라서 본 시험의 당근 계통의 선충 저항성 스크리닝에서 흑형성에 의한 저항성 판별이 그 타당성이 높고 적절한 방법이라 생각되어 차후 지속적으로 이 방법에 의존한 *M. hapla*에 대한 저항성 스크리닝이 무방하다고 생각된다.

표 8. *M. hapla*에 감염된 당근과 토마토에서의 길항세균의 처리에 따른 흑형성율(GI)과 알집형성율(EMI) 비교

처리	Root galling				Egg mass formation			
	Carrot		Tomato		Carrot		Tomato	
	GI <sup>a</sup>	CE <sup>b</sup> (%)	GI	CE(%)	EMI <sup>c</sup>	CE(%)	EMI	CE(%)
무처리	2.0±0.0a <sup>d</sup>	0	2.0±0.0a	0	1.0±0.0a	0	4.0±0.0a	0
배지	1.6±1.1a	20	2.0±0.0a	0	0.6±0.5a	40	3.2±0.4b	20
길항세균	0.2±0.4b	90	0.0±0.0b	100	0.0±0.0b	100	0.0±0.7c	75

<sup>a</sup>Gall index = severity of root galling on *M. hapla* assessed on a 0-5 rating scale according to the percentage of galled tissue in which 0 = 0-10% of galled roots, 1 = 11-20%, 2 = 21-50%, 3 = 51-80%, 4 = 81-90%, and 5 = 91-100% (Barker, 1985).

<sup>b</sup>CE = control effect.

<sup>c</sup>Egg mass index was assigned to each count using a rating of 0 = no egg mass, 1 = 1-3 egg masses, 2 = 4-10 egg masses, 3 = 11-30 egg masses, 4 = 31-100 egg masses, and 5 = >100 egg masses per root system (Roberts et al., 1990).

<sup>d</sup>Averages ± standard deviations of five replications followed by the same letters are not significantly different at *P* = 0.05 by the least significance difference (LSD) test.

- 조직병리학적으로도 위의 사항에 부응하는 결과를 얻었는데, 그림 9에서 보는 바와 같이 선충을 접종하지 않아 흑이 형성되지 않은 건전식물의 뿌리에는 당근(A)나 토마토(E)에 관계없이 거대세포가 전혀 형성되지 않았으나 선충을 접종하고 길항세균을 처리하지 않거나 배지를 처리한 당근(B, C)와 토마토(F, G)에서는 잘 발달된 거대세포가 형성되었고 거대세포에는 주변세포와 물질의 교환이 활발이 일어남을 나타내는 세포벽이입생장 (cell wall ingrowths, WI)의 발달을 확인할 수 있었다. 그러나 길항세균을 처리한 식물체의 뿌리에서는 당근의 경우는 거대세포의 핵이 파손되어 핵물질이 세포내에 흩어져 있는 것으로 보아 거대세포가 되었음을 알 수 있고 이에 따라 절대활물기생체인 선충의 생존에 지장이 초래되었음을 유추할 수 있는 반면 토마토에서는 거대세포의 형성 없이 발달된 선충이 발견됨에 따라 거대세포의 형성과 발달에 선충이 영향을 덜 받음을 알 수 있



다. 거대세포 없이 선충이 어떻게 생존하며 영양을 공급받는지 아직 알 수 없지만 다른 선충을 이용한 유사한 연구에서도 이 토마토 품종이 조직병리학적 같은 반응을 보여 이 연구에서 나타난 결과가 특별히 예외적이라고는 생각되지 않는다. 이러한 까닭에 앞에서의 설명과 마찬가지로 뿌리혹선충의 스크리닝에 있어서 혹형성율의 조사함은 토마토에 있어서는 선충의 성장과 발달과의 연계성이 낮은 까닭에 적절하지 않음을 나타내는 것이고 그와는 달리 당근에 있어서는 혹형성의 조사는 비교적 선충의 성장과 연관성이 높아 적절한 스크리닝의 조사 방법이라 생각된다. 특히 알집의 형성은 혹형성보다 접종 후 더 오랜 시일이 요구되고 조사에 소요되는 시간과 노력이 혹형성 조사보다 훨씬 많이 소요되기에 현장에서 적용이 어렵다. 이러한 모든 점을 감안할 때 당근의 뿌리혹선충에 대한 저항성 스크리닝에서 혹형성율의 조사가 적절한 방법이라 생각한다. 아울러 혹형성과 관련하여 조직병리학적 변화의 조사는 저항성 정도는 물론 감수성의 정도의 구분도 어느 정도 가능하여 차후 우수 품질의 저항성 당근의 개발에 이를 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

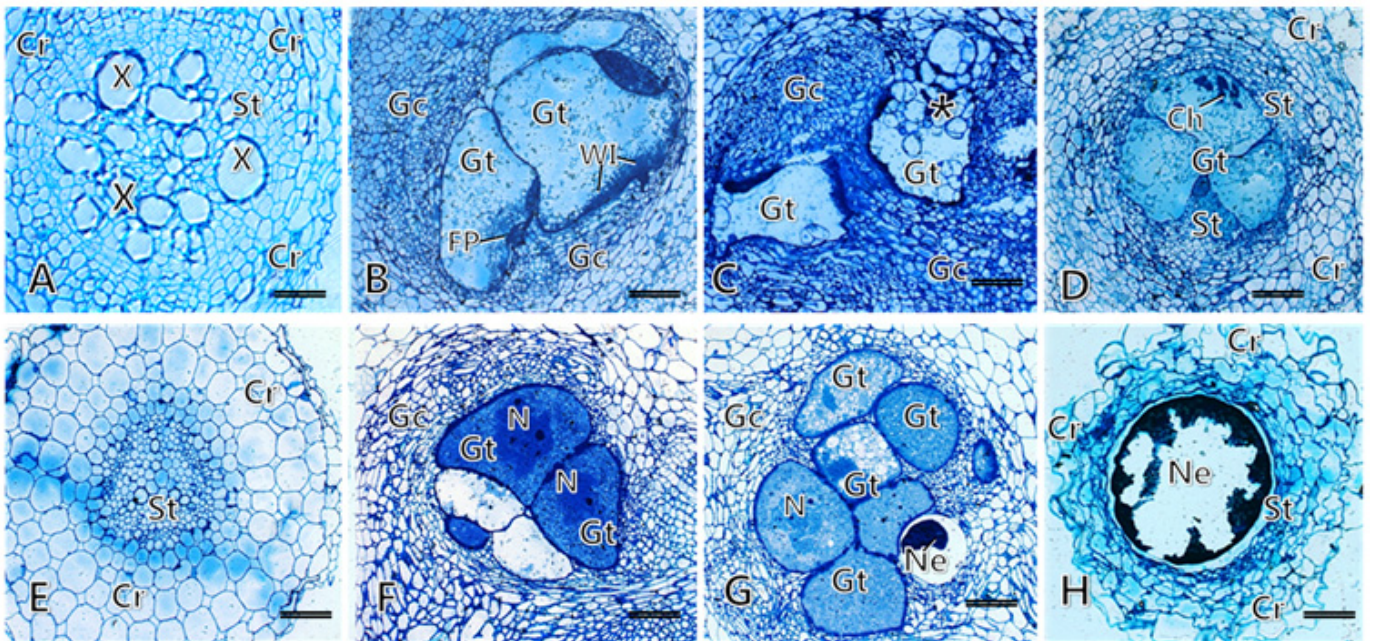


그림 9. *M. hapla* 감염부위의 현미경사진(당근: A, B, C, D; 토마토: E, F, G, H). 무접종 무처리(A, E), 선충만 접종(B, F), 선충 접종과 배지 처리(C, G), 선충 접종과 길항세균 처리 (D, H). Ga: gall cell(혹세포), Gt: giant cell(거대세포), FP: feeding plug(선충섭식부위), Cr: cortex(피층), WI: cell wall ingrowths(세포벽이입성장), St: stele(중심주), N: nucleus(핵), Ne: nematode(선충). Bars = 10  $\mu$ m.

(라) 4차 연도 저항성 스크리닝 결과와 조직병리학적 반응

① 저항성 스크리닝 결과

- 국내 (주)한중당근육종연구소에서 개발된 당근 계통의 A line x B line 교배조합 8 계통, A line x C line 교배조합 16 계통 및 C line 자식조합 33계통 등 총 57계통의 뿌리혹선충에 대한 스크리닝 결과 표 9~11에서 보는 바와 같이 전체적으로 저항성으로 판별된 계통수가 압도적으로 많아 57계통 중 Mi에 대해서는 36계통(63.2%), Mh에 대해서는 41계통(71.9%)이 저항성으로 판명되었다. 교배조합별로 비교할 때 C line 자식계통이 33 계통 중 Mi에 대해서는 27계통(81.8%), Mh에 대해서는 28계통(84.8%)이 저항성으로 판별되어 교배조합의 저항성 계통수 비율보다 높게 나타났음.

- 또한 Mi와 Mh에 대한 저항성-감수성 반응 비교 결과 같은 반응을 보이는 계통수가 33계통(57.9%), Mi에 더 저항성을 나타내는 계통수 7계통(12.3%), Mh에 더 저항성인 계통이 17계통(29.8%)로 전체적으로 Mh에 대한 계통수가 더 많았는데 이는 일반적으로 Mh보다 Mi의 병원성이 더 강한 것으로 보인다.

- 이러한 결과들 중 자식계통의 저항성 정도가 높은 것과 Mi보다 Mh에 저항성이 강한 특성은 2, 3년차 연속 같은 결과를 보임으로 이 시험에서 나타난 결과의 신뢰성을 더하며 이를 바탕으로 당근을 육성에 임하면 이들 선충에 대한 저항성 당근 선발이 효율적으로 이루어질 것으로 사료된다. 특히 이 시험에서 Mi와 Mh에 동시에 저항성으로 판별된 29계통은 병 발생 조건을 달리하고 접종원의 밀도를 달리하여 추가적인 저항성 확인 절차를 거쳐 확실한 저항성 계통을 선발할 가능성이 높을 것으로 사료된다.

표 9. 당근 계통의 교배조합의 뿌리혹선충 감염에 대한 반응

파종No	2014년7월조합내역	교배내역	<i>M. incognita</i>		<i>M. hapla</i>	
			AVG	R/S	AVG	R/S
14KH-184	In13-1039-3×In13-1203-3	A×B	3.4±1.1	S	1.5±1.7	MR
14KH-185	In13-1034-3×In13-1204-1	A×B	3.8±1.1	S	2.5±2.1	S
14KH-186	In13-1015-5×In13-1206-1	A×B	1.2±1.1	MR	0.5±0.6	R
14KH-187	In13-1024-4×In13-1209-1	A×B	1.6±1.1	S	0.5±1.0	R
14KH-188	In13-1254-2×In13-1231-2	A×B	1.0±1.0	R	0.5±0.6	R
14KH-190	Ha13-1129-3×In13-1205-2	A×B	0.2±0.4	R	0.0±0.0	R
14KH-191	Ha13-1123-1×In13-1205-3	A×B	0.4±0.9	R	0.3±0.5	R
14KH-192	Ha13-1108-3×J13-1243-3	A×B	1.2±0.8	MR	0.3±0.5	R
14KH-1	81-2×In13-1205-1	A×C	1.7±0.6	S	1.5±1.3	MR
14KH-2	77-1× “ -2	A×C	1.0±1.0	R	1.3±1.0	MR
14KH-24	77-1×In13-1226-2	A×C	0.2±0.4	R	0.3±0.5	R
14KH-25	81-2× “	A×C	1.0±0.7	R	1.5±1.3	MR
14KH-26	255-1× “	A×C	1.8±0.8	S	0.5±0.6	R
14KH-27	77-1×In13-1232-2	A×C	1.4±0.9	MR	0.8±1.0	R
14KH-28	81-3× “ -3	A×C	2.8±0.8	S	1.5±1.3	MR
14KH-3	89-2× “ -2	A×C	1.6±1.1	S	3.5±2.4	S
14KH-30	255-3× “	A×C	1.4±1.3	MR	0.5±1.0	R
14KH-4	165-4× “ -3	A×C	1.8±0.8	S	1.8±1.3	S
14KH-49	93-1×In13-1238-4	A×C	2.0±1.2	S	1.8±1.3	S
14KH-5	255-3× “ -3	A×C	0.6±0.9	R	0.3±0.5	R
14KH-51	93-5×In13-1239-1	A×C	0.8±0.8	R	0.3±0.5	R
14KH-52	96-2× “	A×C	2.0±0.0	S	1.3±1.0	MR
14KH-53	99-3× “	A×C	0.8±1.1	R	1.3±1.0	MR
14KH-54	105-2× “ -5	A×C	2.4±0.5	S	1.0±1.4	R

표 10. 당근계통의 자식조합의 뿌리혹선충에 대한 반응

파종No	2014년7월조합내역	교배내역	<i>M. incognita</i>		<i>M. hapla</i>	
			AVG	R/S	AVG	R/S
14KHHa-1263-4	Ha13-1263-4S	C	0.6±0.9	R	0.3±0.5	R
14KHHa-1273-2	“ 1273-2S	C	0.2±0.4	R	1.5±1.3	MR
14KHHa-1274-1	“ 1274-1S	C	0.4±0.5	R	1.0±0.8	R
14KHHa-1274-2	“ 1274-2S	C	1.6±0.9	S	1.3±1.0	MR
14KHHa-1274-3	“ 1274-3S	C	0.8±0.8	R	1.8±1.7	S
14KHHa-1276-2	“ 1276-2S	C	0.0±0.0	R	0.3±0.5	R
14KHHa-1276-3	“ 1276-3S	C	0.0±0.0	R	0.3±0.5	R
14KHHa-1277-3	“ 1277-3S	C	0.0±0.0	R	0.5±0.6	R
14KHHa-1277-4	“ 1277-4S	C	0.0±0.0	R	1.0±0.8	R
14KHHa-1277-5	“ 1277-5S	C	0.0±0.0	R	0.0±0.0	R
14KHHa-1278-2	“ 1278-2S	C	1.0±1.0	R	0.0±0.0	R
14KHHa-1278-3	“ 1278-3S	C	0.0±0.0	R	0.0±0.0	R
14KHHa-1279-5	“ 1279-5S	C	1.2±0.8	MR	0.0±0.0	R
14KHHa-1281-4	“ 1281-4S	C	1.4±0.9	MR	0.0±0.0	R
14KHHa-1281-5	“ 1281-5S	C	0.2±0.4	R	0.3±0.5	R
14KHHa-1285-1	“ 1285-1S	C	2.0±0.7	S	0.0±0.0	R
14KHHa-1287-1	“ 1287-1S	C	0.3±0.5	R	0.0±0.0	R
14KHHa-1287-2	“ 1287-2S	C	0.0±0.0	R	0.5±0.6	R
14KHHa-1288-1	“ 1288-1S	C	0.0±0.0	R	0.3±0.5	R
14KHIn-1205-2	In13-1205-2S	C	0.5±0.7	R	0.8±0.5	R
14KHIn-1205-3	“ 1205-3S	C	1.2±1.3	MR	0.5±0.6	R
14KHIn-1205-4	“ 1205-4S	C	0.2±0.4	R	1.3±0.5	MR
14KHIn-1206-1	“ 1206-1S	C	1.0±1.0	R	1.3±1.0	MR
14KHIn-1209-1	“ 1209-1S	C	0.2±0.4	R	0.5±1.0	R
14KHIn-1219-1	“ 1219-1S	C	0.0±0.0	R	1.0±0.8	R
14KHIn-1226-1	“ 1226-1S	C	0.0±0.0	R	0.0±0.0	R
14KHIn-1226-2	“ 1226-2S	C	0.0±0.0	R	0.0±0.0	R
14KHIn-1231-1	“ 1231-1S	C	0.0±0.0	R	0.0±0.0	R
14KHIn-1231-2	“ 1231-2S	C	0.4±0.5	R	0.0±0.0	R
14KHIn-1234-1	“ 1234-1S	C	0.0±0.0	R	0.3±0.5	R
14KHIn-1235-1	“ 1235-1S	C	0.0±0.0	R	0.0±0.0	R
14KHIn-1239-2	“ 1239-2S	C	0.2±0.4	R	0.0±0.0	R
14KHIn-1248-5	“ 1248-5S	C	1.8±1.3	S	1.0±1.4	R

표 11. 두 종의 뿌리혹선충에 대한 당근의 저항성-감수성 반응 비교

저항성-감수성 반응		계통수		
		<i>M. incognita</i>	<i>M. hapla</i>	비교
저항성(R)	AxB	3	6	Mh에 대한 저항성 높음
	AxC	6	7	
	C	27	28	
	계	36	41	
중도저항성(MR)	AxB	2	1	
	AxC	2	6	
	C	3	4	
	계	7	11	
감수성(S)	AxB	3	1	Mi에 대한 감수성 높음
	AxC	8	3	
	C	3	1	
	계	14	5	
동일 및 차별적 저항성 반응				
저항성 정도		<i>M. incognita</i>	<i>M. hapla</i>	계통수
같은 반응	R	R	29	33
	MR	MR	0	
	S	S	4	
Mi에 더 큰 저항성 반응	R	S	1	7
	R	MR	6	
	MR	S	0	
Mh에 더 큰 저항성 반응	S	R	5	17
	MR	R	5	
	S	MR	7	

## ② 조직병리학적 반응

- 표 12 및 그림 10에서 보는 바와 같이 Mi와 Mh의 접종에 의해 모든 계통에서 선충 중에 관계없이 높은 뿌리혹 형성율을 나타내어 혹지수(GI)가 2.4-4.4로 나타나 모두 감수성으로 판명되었으나 계통 간 다소의 차이가 있어서 가장 높은 GI는 MJ 11-8 (♀)에서 나타났고, 가장 낮은 GI는 MJ 11-8 (♂)에서 나타났음. 같은 당근 계통에서 Mi에 의한 GI가 Mh에 의한 GI보다 유의적( $P \leq 0.05$ )으로 높아 위의 연구결과와 마찬가지로 Mi에 대한 감수성 정도가 높음을 알 수 있었음. 또한 모든 당근 계통에서 Mi에 의한 뿌리혹이 Mh보다 현저히 크고 Mi에 의해 감염된 주근은 그 크기가 Mh보다 작고 측근과 세근의 발달이 현저히 낮아 뿌리 기능의 손상이 더 심함을 알 수 있다. 이는 많은 당근을 포함한 많은 원예작물에서 Mh는 작은 혹을 형성하는 반면 Mi는 큰 혹을 형성함과 아울러 심한 성장저해와 위황 및 시들음 증상을 유발한다는 보고(Sardanelli et al., 1983)와 일치하는 결과이다. 따라서 이들 당근 계통뿐 아니라 다른 당근 계통들도 Mi에 감수성이 더 크고 Mi에 의해 더 큰 피해를 입을 가능성이 높을 것으로 사료된다. 우리나라의 경우 Mi는 비닐하우스 시설재배지 토양에 주로 분포하므로 경남 양산 등지의 봄당근 하우스 재배지에 분포할 가능성이 크다. 따라서 시설 당근 재배지에서는 뿌리혹선충 관리에 더 큰 관심을 기울여야 할 것이다. 이러한 Mi와 Mh의 병원성과 피해의 차이는 일반적으로 잘 알려진 사실로 공시된 계통뿐 아니라 다른 대분의 당근 계통과 품종에도 적용 가능하므로 차후 본 연구에서 개발된 선충저항성 품종의 경우에도 이를 참조하여 재배에 임하므로 저항성 품종에 의한 방제효율을 극대화하는데 기여하게 될 것으로 사료된다.

표 12. 상업용 당근 품종(신흑전오촌; SHC)와 출시예정 당근계통{MJ 11-8 (F1)} 및 이의 양친{MJ 11-8 (♀) and MJ 11-8 (♂)}의 Mi와 Mh의 접종에 따른 뿌리혹형성율(gall index; GI)과 병리학적 반응(Pathological response, PR)

Cultivar (line)	<i>M. incognita</i>		<i>M. hapla</i>	
	GI <sup>a</sup>	PR <sup>b</sup>	GI	PR
SHC	3.8±0.8abx <sup>c</sup>	S	3.0±0.7abx	S
MJ 11-8 (♂)	3.0±0.7bx	S	2.4±0.5bx	S
MJ 11-8 (♀)	4.4±0.9ax	S	3.6±1.1ax	S
MJ 11-8 (F <sub>1</sub> )	3.6±0.9abx	S	2.4±0.5by	S

\*Figures are averages and standard deviations of five replications

<sup>a</sup>Gall index (GI) scored by the percentages of roots galled as 0 = 0-10%, 1 = 11-20%, 2 = 21-50%, 3 = 51-80%, 4 = 81-90%, and 5 = 91-100% (Baker, 1985)

<sup>b</sup>Pathological response (PR) based on GI: highly resistance (HR) when GI ≤ 1.0; resistant (R) when GI ≤ 1.0; moderately resistant (MR) when GI = 1.0~2.0, and susceptible (S) when GI > 2.0 (modified from Sasser et al., 1984).

<sup>c</sup>The same first (a, b, c) and last (x, y) letters denote no significant differences at  $P \leq 0.05$  in a column and row, respectively, by least significant difference (LSD) test.



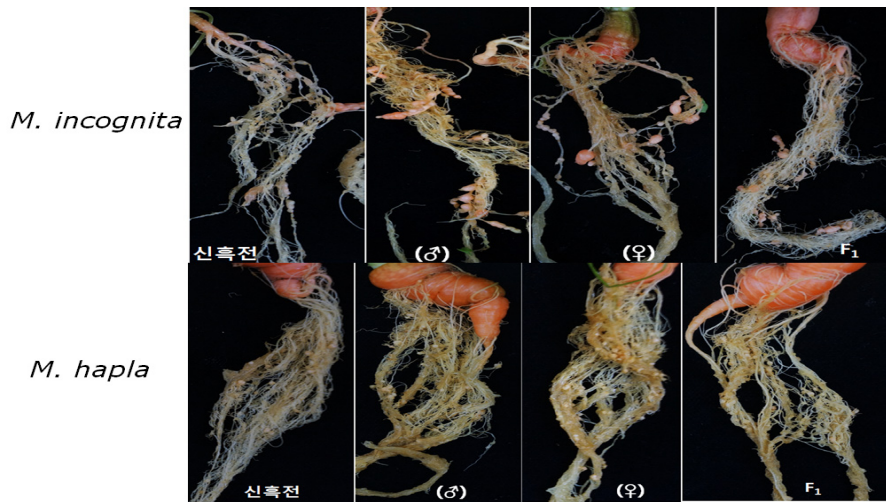


그림 10. 상업용 당근 품종(신흑전오촌; 신흑전)와 출시에정 당근계통{MJ 11-8 (F1)}(F1) 및 이의 양친 {MJ 11-8 (♀) and MJ 11-8 (♂)}의 Mi와 Mh에 대한 스크리닝 결과

- Mi와 Mh에 의해 형성된 뿌리혹 부위 조직을 광학현미경으로 관찰한 결과 모든 계통에서 잘 발달된 거대세포가 발견되었다(그림 11). Mi와 Mh에 의해 형성된 거대세포의 특성을 비교해볼 때 거대세포는 모두 유관속조직을 포함하는 중심주(stele) 내에 형성되었는데 Mi에 의해 형성된 거대세포가 Mh에 의한 거대세포보다 더 넓은 지역을 점유하고 있고 주변에 분포하는 물관(xylem vessel)의 파괴가 더 심함을 알 수 있다. 거대세포는 침입한 선충에게 영양분을 공급하여 기주식물의 영양을 탈취할 뿐만 아니라 (Shepherd and Huck, 1989; Hussey, 1985), 중심주 내 유관속조직을 파괴하여 물과 영양분의 통로를 차단함으로써 식물의 성장발육을 저해한다. 따라서 Mi에 의한 당근의 피해는 뿌리 발육 저해에 의한 물과 영양분의 흡수 저해와 더불어 흡수한 물과 영양분의 이동을 저지함으로써 그 피해가 상승적으로 작용하여 당근의 생육에 지장을 초래할 것으로 사료된다. 이러한 점을 감안하면 앞에서 언급한 바와 같이 Mi의 관리에 더욱 주의를 기울여야 할 것이다.

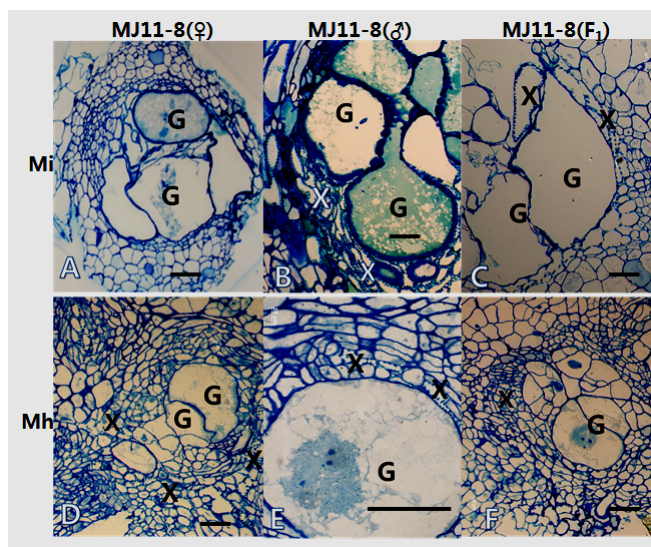


그림 11. 출시에정 당근계통{MJ 11-8 (F1)} 및 이의 양친{MJ 11-8 (♀) and MJ 11-8 (♂)}에서 Mi와 Mh에 의한 접종 7주 후에 형성된 뿌리혹부위 감염 조직의 현미경사진. 거대세포(G)가 모든 계통의 뿌리혹부위에 형성되어 있고, 거대세포 주변에 물관(X)이 다량 분포하고 있다. Mi에 의한 형성된 거대세포가 중심주를 더 넓게 점유하고 물관의 파괴가 현저하다. Bars = 50  $\mu$ m.

- 4차년도까지의 저항성 스크리닝을 한 결과는 표 13에서 보는 바와 같이 원계통과 조합 등 모두 합하여 Mi에 대해서는 329계통, Mh에 대해서는 119계통 중에 저항성은 각각 92계통(28.0%) 79계통(66.4)이었으며 감수성은 각각 216계통(65.7%)과 32계통(26.9%)로 Mh에 대한 저항성 비율이 높았으며 교배조합과 자식조합의 저항성 비율이 각 선충에 대해 11.7%와 34.9%, 66.7%와 100%로 자식조합의 저항성 비율이 두 선충 모두에 대해 높았음을 알 수 있다. 원계통에 대비해 조합계통의 저항성 비율을 볼 때 Mi에 대해서는 다소 낮아졌으나 Mh에 대해서는 현저히 높아져 전체적으로 유사한 저항성비율을 나타냈으나 계통 내 흑지수의 변이를 감안할 때 조합계통의 뿌리혹선충에 대한 저항성의 균질성(homogeneity)이 높아진 것으로 생각된다. 원계통에 대해서는 조사하지 않았지만 교배조합과 자식조합에서 두 선충 모두에 대한 저항성이 각각 6계통과 23계통으로 나타나 선충저항성 육성 과정에서 동시저항성의 비율이 증가했을 것으로 생각된다.

표 13. 1~4차년도까지의 당근 계통 및 조합의 뿌리혹선충 저항성 스크리닝 결과

연차별	계통(조합) 내역	대상 선충	계통(조합)수				
			총계	저항성	중도 저항성	감수성	동시 저항성
1차년도	원계통	Mi	<b>132</b>	<b>49</b>		<b>83</b>	
2차년도	교배조합 자식조합 계	Mi	44 50 <b>94</b>	4 29 <b>33</b>		40 21 <b>61</b>	
	원계통	Mh	51	28		23	
3차년도	교배조합 자식조합 계	Mi	43 36 <b>79</b>	0 1 <b>1</b>	5 12 <b>17</b>	38 23 <b>61</b>	
	교배조합 자식조합 계	Mh	27 17 <b>44</b>	21 17 <b>38</b>	1 0 <b>1</b>	5 0 <b>5</b>	
4차년도	교배조합(AxB)	Mi(Mh)	8	3(6)	2(1)	3(1)	3
	교배조합(AxC)		16	6(7)	2(6)	8(3)	3
	교배조합계		24	9(13)	4(7)	11(4)	6
	자식조합 계		33 <b>57</b>	27(28) <b>36(39)</b>	3(4) <b>7(11)</b>	3(1) <b>14(5)</b>	23 <b>29</b>
총계	원계통	Mi	132	49(37.1%)	-	83(62.9%)	
		Mh	51	28(54.9%)	-	23(45.1%)	
	교배조합	Mi	111	13(11.7%)	9(8.1%)	89(80.2%)	
		Mh	51	34(66.7%)	8(15.7%)	9(17.6%)	
	자식조합	Mi	86	30(34.9%)	12(14.0%)	44(51.2%)	
		Mh	17	17(100%)	0(0.0%)	0(0.0%)	
	계	<b>Mi</b>	<b>329</b>	<b>92(28.0%)</b>	<b>21(6.4%)</b>	<b>216(65.7%)</b>	
		<b>Mh</b>	<b>119</b>	<b>79(66.4%)</b>	<b>8(6.7%)</b>	<b>32(26.9%)</b>	

- not examined

## 나. 뿌리혹선충 저항성 우수 당근 계통 육성

### (1) 주요 연구내용 및 방법

- 5차 마지막 연도에는 지금까지의 스크리닝을 통해 나타난 결과를 토대로 잠정적으로 육성가능한 교배 및 자식 26조합의 부모계 또는 자식계 총 56 당근 계통과 상업용 당근 품종 신희천5촌 당근을 이용하여 Mi와 Mh에 대한 저항성 정도를 평가하였음. 저항성 스크리닝을 위해 당근 계통별로 5개체의 식물을 플라스틱 포트( $\phi$  10 x height 9 cm)의 토양(모래 1: 상토 1)에 심은 후 4주 동안 자라게 한 후, 고추와 토마토에서 사육된 뿌리혹선충 Mi와 Mh의 알집(egg mass)을 분리해내어 깔때기 법으로 알을 부화시켜 2령유충(J2)을 식물 개체당 1000 J2를 뿌리 주변에 선충 용액을 주입시켜 접종하였음. 이후 25°C 실내 온실에서 식물을 키웠으며 선충 접종 7주 후 혹형성률을 조사하였는데 혹 형성률은 뿌리혹의 뿌리 점유도에 따라 다음과 같은 지수에 의해 조사하였고 {0= 0-10% of galled roots, 1= 11-20%, 2= 21-50%, 3= 51-80%, 4= 81-90%, and 5= 90-100% of roots galled (K. R. Barker)}, 혹 지수가 0.1 이하이면 고도저항성(HR), 1.0 이하이면 저항성(R), 1.0~2.0이면 중도저항성(MR), 2.0보다 높으면 감수성(S)으로 판단하였음(Modified from Sasser et al., 1984). 또한 당근의 품질 평가를 위한 당도와 carotene 함량 분석은 협동과제에서 실시하였고, 당근의 형태와 크기는 포장에서 상용 당근 재배용 포장에서 재배된 당근을 수확기에 채굴하여 조사하였음.

### (2) 연구 결과 및 고찰

#### ① 당근 조합 계통의 뿌리혹선충 저항성 스크리닝

- 총 56 당근 계통의 선충 접종 7주 후 혹 형성 조사에서 감수성 계통에서 gall index 4 정도의 혹형성이 이루어지고 저항성 계통에서는 gall index 1.0 미만의 혹형성이 이루어져 선충의 접종이 양호하게 이루어져 병의 회피가 없었을 것으로 생각되어 유효한 스크리닝 결과로 판단됨(그림 12). 총 56 계통 중 Mi에 대해서는 10계통이 저항성, 18계통이 중도저항성, 28계통이 감수성으로 나타났으며 Mh에 대해서는 각각 21, 15, 20계통으로 나타났고 두 선충 모두에 대한 저항성은 9계통에서 나타났음(표 14). 이는 이전의 스크리닝 결과와 마찬가지로 Mi 보다 Mh에 대한 저항성 계통의 수가 많았고, 또한 Mi에 대해 조합내에 변이가 없이 동일한 저항성을 나타내는 조합이 전무한 반면, Mh에 대해서는 5 조합이 조합내 계통들이 동일한 저항성 반응을 나타내었다. 이는 조사된 당근 계통들이 Mh에 대한 저항성이 상대적으로 높고 안정적인 것으로 판단되며 포장 재배 시에 뿌리혹선충의 방제를 위한 유용성이 더 클 것으로 생각된다.

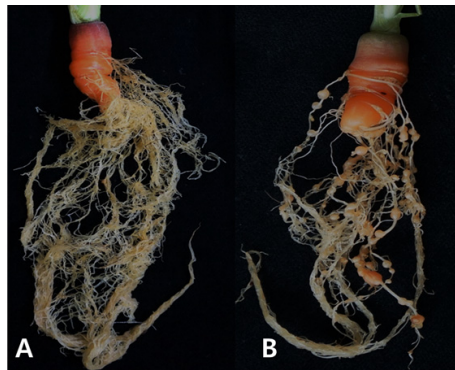


그림 12. 최종 스크리닝에서 저항성 당근(A)과 감수성 당근(B)의 혹형성 정도 비교.

표 14. 당근계통의 자식조합의 뿌리혹선충에 대한 반응

Lines	<i>M. incognita</i>		<i>M. hapla</i>	
	Gall Index	RT <sup>a</sup>	Gall Index	RT
L1209 ♂	0.5±0.6	R	0.2±0.4	R
L1209-1	1.7±0.6	MR	1.0±0.8	R
L1219 ♂	1.0±0.0	R	1.0±0.0	R
L1219-1	0.6±0.5	R	1.0±0.0	R
L1226 ♂	1.2±0.8	MR	1.0±0.0	R
L1226-1	3.2±0.4	S	1.0±0.0	R
L1226-2	1.8±0.4	MR	1.0±0.0	R
L1231 ♂	1.6±0.6	MR	1.0±0.0	R
L1231-1	2.4±0.5	S	1.4±0.5	MR
L1231-2	2.4±0.5	S	2.6±0.9	S
L1235 ♂	1.0±0.0	R	1.0±0.0	R
L1235-1	0.8±0.4	R	0.8±0.4	R
L1239 ♂	1.6±0.5	MR	1.4±0.5	MR
L1239-2	1.4±0.5	MR	1.2±0.4	MR
L1274 ♂	1.2±0.4	MR	1.0±0.7	R
L1274-1	1.4±0.5	MR	2.0±0.0	S
L1288 ♂	3.0±1.0	S	2.0±0.0	S
L1288-1	4.0±0.7	S	2.0±0.0	S
L1278 ♂	3.6±0.5	S	3.6±0.5	S
L1278-2	2.2±0.8	S	1.0±0.0	R
L1278-3	3.0±0.0	S	1.0±0.0	R
L1277-3	2.4±0.5	S	1.0±0.0	R
L1277-4	2.4±0.5	S	1.6±0.5	MR
L1277-5	2.4±0.5	S	0.8±0.4	R
L1287-1	3.2±0.4	S	1.6±0.5	MR
L1287-2	3.6±0.5	S	1.4±0.5	MR
L1281-4	1.8±0.8	MR	1.2±0.4	MR
L1281-5	3.4±0.5	S	1.6±0.5	MR
L14KH-191	4.0±0.0	S	3.8±0.4	S
L14KH-24	3.0±0.0	S	3.0±0.7	S
L14KH-188	3.0±0.0	S	2.8±0.4	S
L14KH-51	2.4±0.5	S	3.0±0.7	S
L1054 ♀	3.6±0.5	S	2.8±0.8	S
L13-93 ♀	3.0±0.0	S	3.6±0.5	S
L13-77 ♀	4.0±0.7	S	3.0±1.0	S
L1123 ♀	3.0±0.7	S	4.2±0.4	S
L1209-1-5	2.6±1.1	S	2.2±0.4	S
L1226-1-3	1.2±0.8	MR	0.6±0.5	R
L1226-2-3	0.8±0.4	R	0.4±0.5	R
L1234-1-2	0.4±0.5	R	1.0±0.7	R
L1234-1-4	1.4±0.5	MR	2.4±0.5	S
L15KH-1	1.0±0.8	R	0.8±0.5	R
L15KH-1 ♂	1.8±1.0	MR	1.4±0.5	MR
L15KH-1 ♀	1.6±0.9	MR	1.8±0.4	MR
L15KH-2	2.2±0.4	S	2.6±0.5	S
L15KH-2 ♀	1.6±0.9	MR	2.6±0.5	S
L15KH-3	1.0±0.7	R	0.8±0.4	R
L15KH-3 ♀	2.4±0.9	S	2.2±0.8	S
L15KH-4	1.0±0.7	R	1.6±1.1	MR
L15KH-4 ♀	1.4±0.5	MR	1.4±0.5	MR
L15KH-5	1.2±0.4	MR	1.8±0.4	MR
L15KH-5 ♀	1.8±0.8	MR	1.4±0.5	MR
L15KH-6	2.0±0.7	S	1.8±0.8	MR
L15KH-7	2.0±1.0	S	1.0±0.0	R
L15KH-7 ♂	1.8±0.4	MR	2.0±0.7	S
L15KH-7 ♀	2.2±0.8	S	2.4±0.9	S
SHC	2.4±1.1	S	1.2±0.4	MR

<sup>a</sup>RT: response type; R-resistnat, MR-moderately resistant, S-susceptible



- 위의 스크리닝 결과를 요약해 볼 때 5차년도에 조합과 부모계통 총 56계통에 있어서 Mi와 Mh에 대한 저항성 계통수는 각각 9계통과 22계통으로 예년과 마찬가지로 Mh에 대한 저항성 계통의 비율이 높게 나타났고 조합계통에 있어서도 저항성 계통수가 각각 6과 16계통이었다(표 15). 실제로 조합계통이 품종으로 개발될 수 있으므로 이번 연구를 통해 야외 포장과 시설 재배에 동시에 사용될 수 있는 선충저항성 품종 개발의 가능성이 높아졌음을 나타내는 것이라 생각된다.

표 15. 5차년도 당근 조합과 부모계통의 뿌리혹선충 저항성 스크리닝 결과 요약

연차별	계통(조합)내역	대상선충	계통(조합)수				
			총계	저항성	중도 저항성	감수성	동시 저항성
5차년도	부계	Mi(Mh)	11	3(6)	6(2)	2(3)	2
	모계		10	0(0)	4(3)	6(7)	0
	조합		35	6(16)	8(10)	21(9)	6
	계		56	9(22)	18(15)	29(19)	8

## ② 선발된 당근 계통의 생육과 품질 특성 비교

- 이들 총 56 당근 계통 중 선충 접종 7주 후 혹 형성 조사에서 Mi와 Mh 중 하나에 대해 또는 둘 모두에 저항성을 보이는 당근 계통 중 당근 계통 선발을 위한 포장 생산 시험에서 당근의 모양과 크기 및 당도와 carotene 함량 분석에서 상업용 당근 신희전5촌(SHC)과 드림7(Dream 7, D-7)과 비교해서 대등하거나 우수한 8 계통을 선충저항성 우수 당근 계통으로 선발하였다(표 16, 그림 13). 이를 자세히 살펴보면 선발된 당근 계통들은 모두 옅은색의 Nantes 타입의 서양 품종계로 매끄러운 껍질과 진한 빛깔의 중심(core)의 당근이며 5 계통(L1219♂, L1219-1, L1226♂, L1226-1 및 L1234-1-2)은 당도가 9.5~11.3으로 상업용 당근보다 유의적으로 높았으며, 나머지 세 계통(L15KH-3, L15KH-4 및 L15KH-7)은 carotene 함량에서는 차이가 없었으나 당도가 상업용 당근보다 다소 높았다. 현재 제주도에 가장 많이 심고 있는 일본 도입 당근 품종인 드림7보다는 선발된 당근 계통의 당도와 carotene 함량이 모두 높아 품질 면에서 더 우수한 당근으로 판단된다. 이들 선충저항성 당근 계통 중 중국 현지(북경연구소)에서 생산성을 확인한 당근 계통 LMH-3과 LMH-7은 생산성이 현재의 당근 품종보다 높으며 원통형 진당근으로 중국 시장에서 선호도가 높아 본 연구에서는 이들 두 품종을 우선적으로 품종보호출원 하였다.

표 16. 선정된 당근 계통의 뿌리혹선충 저항성 정도와 품질(당도와 carotene 함량)

Line or cv.	Gall index(Response type)		Sugar content (%)	Carotene content (µg/g)
	Mi	Mh		
L1219♂	1.0±0.0(R)	1.0±0.0(R)	9.5	322.1
L1219-1	0.6±0.5(R)	1.0±0.0(R)	9.9	307.5
L1226♂	1.2±0.8(MR)	1.0±0.0(R)	11.3	296.0
L1226-1	3.2±0.4(S)	1.0±0.0(R)	10.8	310.4
L1234-1-2	0.4±0.5(R)	1.0±0.7(R)	10.3	270.9
L15KH-3	1.0±0.7(R)	0.8±0.4(R)	10.9	148.6
L15KH-4	1.0±0.7(R)	1.6±1.1(MR)	11.0	163.3
L15KH-7	2.0±1.0(S)	1.0±0.0(R)	12.1	140.0
SHC	2.4±1.1(S)	1.2±0.4(MR)	9.0	210.6
D-7	2.4±0.6(S)	nt	8.6	88.2

\* not tested



그림 13. 선발된 당근계통들의 뿌리 모습. A: L1219♂, B: L1219-1, C: L1226♂, D: L1226-1, E: L1234-1-2, F: L15KH-3, G: L15KH-4, H: L15KH-7, I: 신흑전5촌, J: 드림7

## 다. 뿌리혹선충 저항성 스크리닝에 영향을 주는 요인 조사

### (1) 주요 연구내용 및 방법

#### (가) 토성에 따른 뿌리혹과 알집 형성을 변화

- Mi와 Mh의 감염에 따른 뿌리혹형성에 대한 토성의 영향을 평가하기 위해 상용 당근 품종인 신희전5촌과 최근 (주)한중당에서 개발한 교잡계통의 모계(3-77♀)를 사용하여 조사하였다. 사용한 토양은 상토에 모래를 다른 비율(10:0, 7:3, 5:5, 3:7, 0:10)로 섞은 후 121°C 15분간 멸균한 후 플라스틱 포트(9cm<지름>x8cm<높이>)에 넣고 포트 당 한 식물체를 계통별로 40 반복으로 식재하여 4주 동안 자라게 한 후, 고추와 토마토에서 사육된 뿌리혹선충 Mi와 Mh의 알집(egg mass)을 분리해내어 깔때기 법으로 알을 부화시켜 2령유충(J2)을 식물 개체당 1000 J2를 뿌리 주변에 선충을 접종하였음.

- 접종 후 2, 5, 10일 후 당근 유묘를 조심스럽게 뽑아내어 물로 뿌리에 남아 있는 흙을 씻어낸 후 한 개체씩 뿌리 전체를 1~2cm로 절단한 후 선충염색약(red food coloring stain, Judy et al., 2002)으로 염색한 후 실체현미경 하에서 선충을 관찰하여 선충의 침입율과 선충의 크기와 모양에 따라 선충의 성장 여부를 판단하였다. 또한 접종 6주 후에는 식물체를 하나씩 조심스럽게 뽑아낸 후 물로 뿌리에 붙어 있는 흙을 씻어낸 후 육안으로 혹과 알집(eggmass) 형성 정도를 조사하였다. 혹 형성 정도는 뿌리혹의 뿌리 점유도에 따라 다음과 같은 지수에 의해 조사하였고(0= 0-10% of galled roots, 1= 11-20%, 2= 21-50%, 3= 51-80%, 4= 81-90%, and 5= 90-100% of roots galled (K. R. Barker)), 알집 형성 정도는 뿌리 당 알집의 개수를 조사하여 평가하였음.

#### (나) 접종 밀도에 따른 뿌리혹형성을 변화

- 저항성 당근 계통의 최종 시험에서 선정된 당근 중 4계통과 다른 감수성 계통을 사용하여 당근 계통별로 5개체의 식물을 플라스틱 포트( $\phi$  10 x height 9 cm)의 토양(모래 1: 상토 1)에 심고 4주 동안 자라게 한 후, 고추와 토마토에서 사육된 뿌리혹선충 Mi와 Mh의 알집(egg mass)을 분리해내어 깔때기 법으로 알을 부화시켜 2령유충(J2)을 식물 개체당 접종 밀도를 500 J2, 1000 J2, 2000 J2로 달리하여 뿌리 주변에 선충을 접종하였음. 이후 25°C 실내 온실에서 식물을 키웠으며 선충 접종 7주 후 혹형성률을 조사하였는데 혹 형성률은 뿌리혹의 뿌리 점유도에 따라 다음과 같은 지수에 의해 조사하였고(0= 0-10% of galled roots, 1= 11-20%, 2= 21-50%, 3= 51-80%, 4= 81-90%, and 5= 90-100% of roots galled (K. R. Barker)), 혹 지수가 0.1 이하이면 고도저항성(HR), 1.0 이하이면 저항성(R), 1.0~2.0이면 중도저항성(MR), 2.0보다 높으면 감수성(S)으로 판단하였음(Modified from Sasser et al., 1984).

### (2) 연구 결과 및 고찰

#### (가) 토성에 따른 뿌리혹과 알집 형성을 변화

##### ① 선충의 침입율 변화

- Mi와 Mh의 선충 접종 후 2, 5, 10일 후 토성별로 선충의 침입율을 조사한 결과(표 17, 그림 14~16)는 다음과 같다. 접종 2일 후 선충의 침입은 주로 뿌리 말단부에서 이루어지고 5일 후에는 뿌리가 자람에 따라 침입부위가 뿌리 말단부의 위쪽에 존재하는데 2일 후에는 선충의 모양이나 크기가 전혀 변하지 않았고 또 혹과 거대세포의 형성이 미미하여 선충의 생장이 거의 이루어지지 않았음을 알 수 있으나(그림 14) 5일 후에는 선충의 형태는 거의 변화가 없으나 간혹 거대세포가 발견되며 약하게나마 혹의 형성이 이루어져 선충의 피해가 시작되

고 있음을 알 수 있었다(그림 15). 그러나 접종 10일 후에는 대부분의 선충이 소세지 모양으로 변해 있고 또 선충 주변에 거대세포가 빈번하게 발견되며 분명한 흑의 형성도 관찰할 수 있었다(그림 16). 이에 따라 선충의 성장과 함께 선충 감염에 의한 식물의 피해가 시작되었음을 알 수 있었다. 토성별 선충의 침입율에 있어서는 Mi의 경우 접종 2, 5, 10일 후에 모래 100%에서의 침입율이 모래-상토 혼합이나 100% 상토에서보다 10일 후 신후전5층을 제외한 모든 경우 현저하게 유의적으로 높은 것으로 나타났고(신후전5층의 경우 접종 10일 후 100% 모래와 일부 다른 토성과 유의적인 침입율 차이가 나타나지 않음), Mh의 경우는 접종 2일 후 신후전5층 당근에서만 100% 모래에서 침입율이 유의적으로 높았고 접종 2일 후 13-77우과 접종 후 5, 10일 후에는 침입율이 토성 간 유의적인 차이를 발견할 수 없었다(표 14).

- 일반적으로 선충의 피해는 사질토에서 심한데 Mi의 경우 이에 대한 이유는 사질토에서 선충의 침입율이 현저히 높아지기 때문이라 생각된다. 이는 사질토에서는 토양의 공극(soil pore)이 커 적절한 수분 함량 하에서는 토양의 공극 사이로 움직이는 선충의 운동력(mobility)이 커지고 이에 따라 접종 시 뿌리 주변에 위치하였던 선충이 뿌리 도달 시간이 단축되어 나타난 결과로 판단된다. 그러나 Mh의 침입율은 Mi와 달리 토성별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데 Mh의 피해가 사질토에서 심한 이유는 사질토에서 선충의 침입율의 증가에 기인함이 아닌 다른 요인이 있을 것으로 생각된다. 선충에 의한 식물의 피해는 뿌리혹과 거대세포의 형성으로 인해 잔뿌리의 생장이 저해되고 식물의 유관속조직이 차단되어 물과 영양분의 흡수와 이동이 제한되고 선충에 의한 영양분의 탈취가 심하게 이루어지기 때문이다. 따라서 Mh의 경우 사질토에서 혹과 거대세포의 형성을 촉진하는 토양환경 조건이 주어졌기 때문이 아닌가 생각된다.

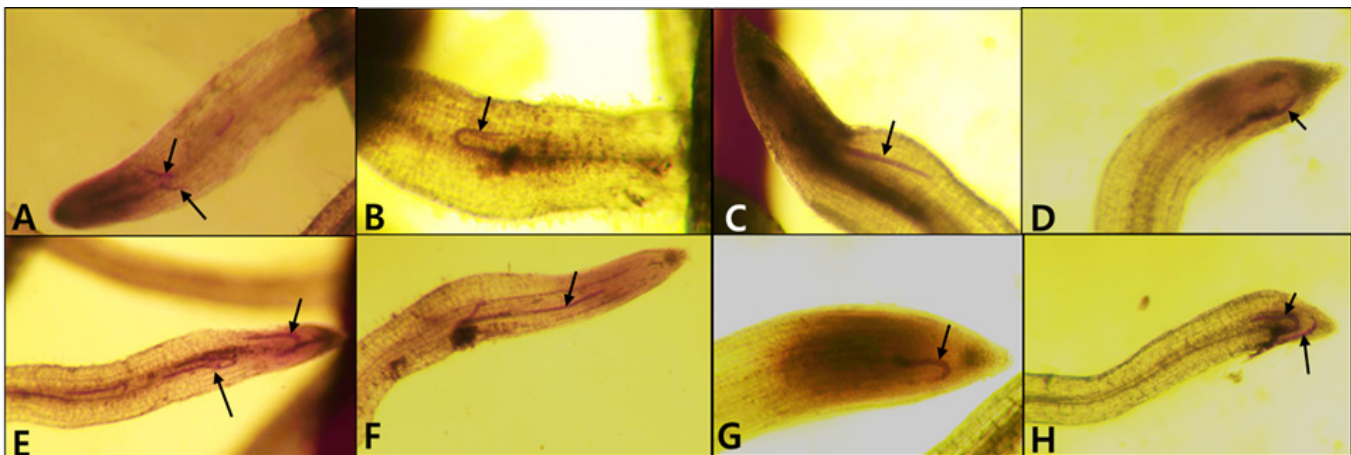


그림 14. Mi 선충(A~E)과 Mh 선충(E~H) 접종 2일 후 당근(신후전5층: A, B, E, F; 13-77♀: C, D, G, H) 뿌리에 침입한 선충모습(화살표). 침입부위가 뿌리의 말단부이고 선충의 형태는 실모양이고 커지지 않았음.



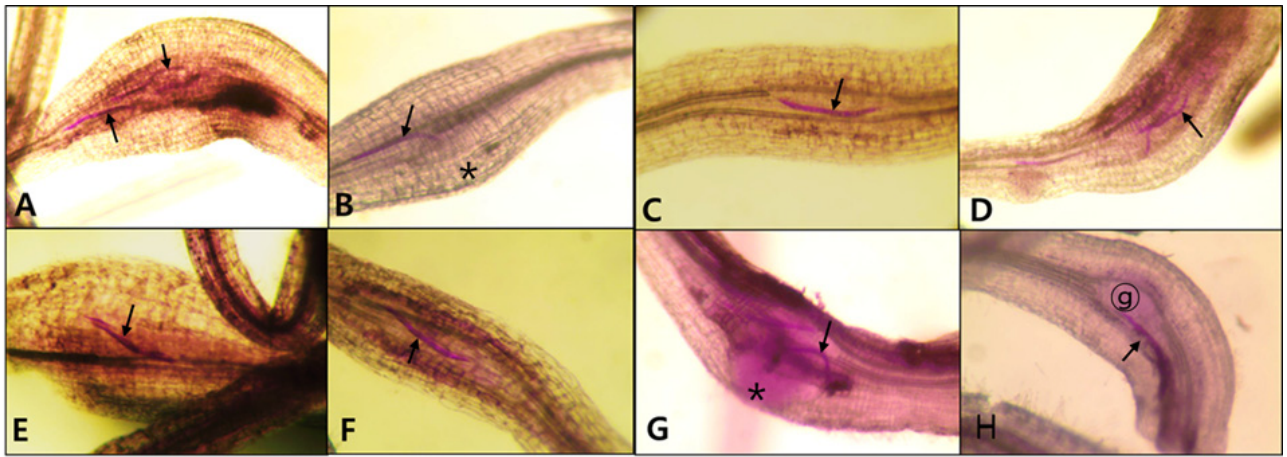


그림 15. Mi 선충(A~E)과 Mh 선충(E~H) 접종 5일 후 당근(신희전5촌: A, B, E, F; 13-77♀: C, D, G, H) 뿌리에 침입한 선충모습(화살표). 침입 부위가 뿌리의 말단부와 떨어져 있어서 침입 후 뿌리끝의 생장이 이루어졌음을 알 수 있고, 간혹 작은 뿌리혹(별표)과 거대세포(ⓐ)가 발견되어 선충의 활동이 이미 시작되었음을 알 수 있음.

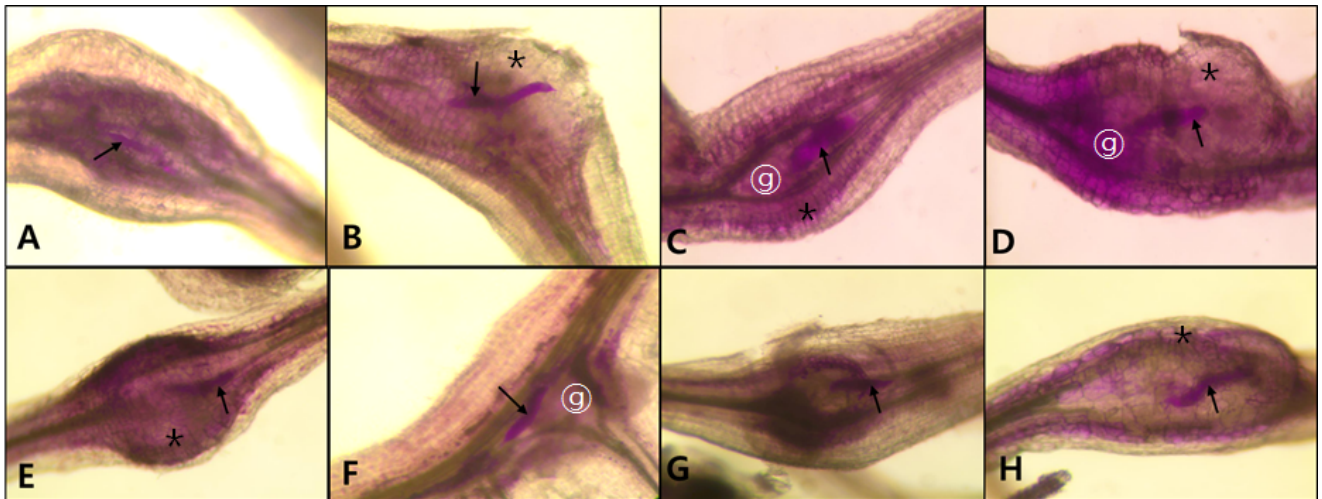


그림 16. Mi 선충(A~E)과 Mh 선충(E~H) 접종 10일 후 당근(신희전5촌: A, B, E, F; 13-77♀: C, D, G, H) 뿌리에 침입한 선충모습(화살표). 선충이 소세지모양으로 다소 뚱뚱해졌고, 분명한 뿌리혹(별표)과 거대세포(ⓐ)가 발견되어 선충이 성장하였고 선충에 의한 식물의 피해가 이미 시작되었음을 알 수 있음.

표 17. 신희전5촌(SHC)과 13-77우 당근의 토성(모래 함량)별 접종 후 시기(2일, 5일, 10일)별 Mi와 Mh 선충의 침입율\*

Nematode	Sand Content (%)	Penetration rate (‰)					
		2 DAI		5 DAI		10 DAI	
		SHC	13-77♀	SHC	13-77♀	SHC	13-77♀
Mi	0	0.33±0.58X <sup>a</sup>	1.67±2.89X	3.00±1.73X	4.67±4.51X	28.67±23.54XY	9.33±5.03X
	30	0.33±0.58X	0.67±0.58X	6.33±9.24X	10.67±10.79X	15.67±6.81X	13.00±11.36X
	50	1.33±2.08X	3.33±5.77X	18.67±29.74X	9.67±14.22X	29.00±22.34XY	35.67±15.95X
	70	7.00±10.82X	3.00±4.36X	0.67±0.58X	6.67±9.07X	12.67±10.50X	25.33±24.13X
	100	65.00±12.73Y	122.33±156.17Y	108.00±73.54Y	155.00±118.70Y	67.67±33.50Y	131.33±57.57Y
	Average	14.80±5.36A	26.20±33.95A	27.33±22.96A	37.33±31.46A	30.73±19.34A	42.93±22.81A
	All avg.	20.50±19.66		32.33±27.21		36.83±21.08	
Mh	0	20.67±27.32X	23.67±29.74X	28.67±16.26X	46.67±13.58X	17.67±15.31X	63.00±3.61X
	30	38.33±52.00XY	45.67±56.61XY	35.67±13.43X	47.33±17.21X	44.67±16.80XY	45.67±18.34X
	50	31.33±30.45X	49.00±66.16XY	45.33±10.21X	54.67±8.50X	40.33±14.15X	46.33±10.97X
	70	29.33±36.23X	79.00±105.67Y	51.00±26.00X	56.67±26.54X	71.00±24.00Y	53.00±9.54X
	100	121.50±84.85Y	25.33±29.14X	62.33±41.97X	65.00±19.47X	31.00± 7.00X	38.67±27.47X
	Average	48.23±46.17A	44.53±57.46A	44.60±21.57A	54.07±17.06A	40.93±15.45A	49.33±13.98A
	All avg.	46.38±51.83		49.34±19.82		45.13±14.72	
	Significance (LSD)	P≤0.01(**)		P≤0.01(**)		NS	

\* 접종 선충수(1000 J2) 대비 뿌리에서 관찰된 선충수(천분율, ‰)

<sup>a</sup>The averages with the same letters in a column of the same nematode denote no significant difference at  $P \leq 0.05$  by the least significant difference (LSD) test.



## ② 선충의 뿌리혹 및 알집 형성을 변화

- Mi와 Mh의 선충 접종 6주 후에 뿌리혹과 알집의 형성을 조사한 결과는 다음과 같다(표 18). 혹 형성에 있어서는 Mi와 Mh 모두 100% 모래에서 다른 토성에 비해 유의적으로 높았으며, 알집 형성에 있어서는 신희전5촌 당근에서 Mi의 알집형성이 토성별 유의적인 차이가 없었으나, 다른 경우 모두 100% 모래에서 알집형성이 유의적으로 높게 나타났다. 신희전5촌에서 Mi의 알집 형성이 차이가 없는 이유는 표 14에서 보는 바와 같이 접종 10일 후 Mi의 침입율이 다른 토성과 비교할 때 큰 차이가 없었는데 이는 접종 후기로 갈수록 다른 토성에서 침입하지 못한 선충의 침입이 추가적으로 이루어져 동등한 침입율이 될 것이며 또 알집의 형성까지 충분한 시간이 있었기 때문이라 생각된다. 특히 Mh의 경우 접종 후 5일부터 침입율에 토성 간 유의적인 차이를 보이지 않았음에도 불구하고 100% 모래에서 유의적으로 높은 혹형성과 특히 현저하게 높은 알집형성을 나타낸 것은 100% 모래에서 선충에 의한 피해와 선충의 생장이 현저하게 잘 이루어짐을 나타내는 것이라 하겠다. 이는 선충의 앞에서 언급한 바와 같이 사질토에서 선충의 피해와 관련이 있는 사항이라 하겠다. 이러한 결과는 당근의 뿌리혹선충 저항성 스크리닝에 있어서 참고 자료로 활용될 수 있으며 특히 저항성 계통의 강선발을 위해서는 100%모래토양에서 스크리닝을 할 필요가 있다고 생각된다. 차후 개발된 뿌리혹선충 저항성 당근의 지속적인 저항성 유지를 위한 QC로 이러한 조건에서 스크리닝을 하여 저항성을 확인하여야 할 것이다.

표 18. Mi와 Mh의 접종 6주후 신희전5촌(SHC)과 13-77♀의 뿌리에 나타난 혹과 알집의 형성율\*

Nematode	% Sand	Gall formation (gall index)		Eggmass formation (No. of egg masses/root)	
		SHC	13-77♀	SHC	13-77♀
Mi	0	2.25±0.50X <sup>a</sup>	1.00±0.00X	3.25±3.20X	0.75±0.50X
	30	2.50±0.58X	2.00±0.00Y	4.25±3.10X	1.75±0.50X
	50	2.25±0.50X	1.33±0.58XY	3.25±1.89X	0.67±0.58X
	70	2.25±0.50X	2.00±0.82Y	4.50±3.11X	1.75±3.50X
	100	4.25±0.50Y	4.25±0.96Z	8.50±7.68X	11.75±8.96Y
	Average	2.70±0.52A	2.12±0.47A	4.75±3.80A	3.33±2.81A
	All avg.	2.41±0.50		4.04±3.31	
Mh	0	1.75±0.50X	1.00±0.00X	1.25±0.96X	0.33±0.58X
	30	2.00±0.00X	2.25±0.50Y	0.75±0.96X	2.50±1.91X
	50	1.75±0.50X	1.50±0.58XY	3.00±1.83X	0.25±0.50X
	70	2.75±0.50Y	1.00±0.00X	3.00±1.41X	0.00±0.00X
	100	4.25±0.50Z	4.00±0.00Z	25.25±11.18Y	18.25±10.01Y
	Average	2.50±0.40A	1.95±0.22A	6.65±3.27A	4.27±2.60A
	All avg.	2.23±0.31		5.46±2.94	
	Significance (LSD)	NS		NS	

\* 혹형성율(혹지수): 뿌리혹의 뿌리 점유도에 따른 지수{0= 0-10% of galled roots, 1= 11-20%, 2= 21-50%, 3= 51-80%, 4= 81-90%, and 5= 90-100% of roots galled (K. R. Barker)}, 알집형성율: 뿌리당 형성된 알집 개수.

<sup>a</sup>The averages with the same letters in a column of the same nematode denote no significant difference at  $P \leq 0.05$  by the least significant difference (LSD) test.

## 나) 접종밀도에 따른 뿌리혹 형성을 변화

- Mi와 Mh의 선충 접종 6주 후에 접종 선충의 밀도별로 당근 계통별로 나타난 뿌리혹과 알집의 형성을 조사한 결과는 다음과 같다(표 19). 대부분의 경우 접종 선충 밀도가 높아질수록 혹형성율이 증가하여 저항성(R)에서 중도저항성(MR)으로 중도저항성(MR)에서 감수성(S)로 변화하였다. 이렇게 변하는 정도에는 두 선충 사이에 큰 차이는 없었으나 1226♂와 1226-1에서는 접종밀도와 관계없이 모두 저항성으로 나타났다. 특히 1226-1의 경우는 접종밀도 2,000 J2의 Mi의 중도저항성 반응을 제외하고는 모든 접종밀도에서 선충과 관계없이 저항성을 나타내어 조사한 계통 중 가장 저항성이 강한 것으로 나타났다. 그러나 이렇게 접종밀도에 따라 식물의 저항성 반응에 차이가 있다는 것은 단일 또는 소수의 저항성유전자에 의한 수직저항성이라기보다는 다인자에 의한 수평저항성 또는 포장저항성의 특성을 나타내는 것이라 생각된다. 이는 토양조건(토성) 및 환경조건에 따라 가변적인 저항성을 나타낼 소지가 있으므로 개발된 당근 계통을 저항성 품종으로 포장에 식재할 때 재배자에서 이와 관련한 유의 사항을 고지할 필요가 있다.

표 19. 접종 밀도를 달리하여 Mi와 Mh를 접종했을 때 접종 6주후 선충별 혹형성율과 반응형(RT)

Lines	Inoculum (No. of J2)	<i>M. incognita</i>		<i>M. hapla</i>	
		Gall Index	RT*	Gall Index	RT*
SHC	500	1.4±0.9	MR	2.0±0.0	S
	1,000	2.4±0.5	S	2.4±0.5	S
	2,000	3.0±0.7	S	3.4±0.5	S
1209♂	500	1.4±0.5	MR	1.8±0.4	MR
	1,000	1.4±0.5	MR	1.6±0.9	MR
	2,000	1.6±0.5	MR	2.2±0.8	S
1219♂	500	0.6±0.5	R	1.0±0.7	R
	1,000	1.0±0.0	R	1.8±0.4	MR
	2,000	1.2±0.4	MR	3.0±0.7	S
1219-1	500	0.8±0.4	R	1.4±0.5	MR
	1,000	0.8±0.4	R	2.0±0.7	S
	2,000	1.6±0.9	MR	2.8±0.4	S
1226♂	500	0.8±0.4	R	1.0±0.0	R
	1,000	1.2±0.4	MR	1.0±0.7	R
	2,000	1.6±0.5	MR	1.0±0.0	R
1226-1	500	0.6±0.5	R	0.6±0.5	R
	1,000	1.0±0.0	R	0.8±0.4	R
	2,000	1.2±0.8	MR	1.0±0.0	R
191	500	1.4±0.5	MR	1.8±0.4	MR
	1,000	1.2±0.4	MR	3.0±0.7	S
	2,000	3.4±1.5	S	3.2±0.4	S

\*Response type(RT): R; resistant, MR: moderately resistant, S: susceptible

## 라. 당근에서의 뿌리혹선충 저항성 분자표지 개발

### (1) 주요 연구내용 및 방법

#### (가) 식물재료

- 연차별로 (주)한중당근육종연구소에서 제공한 식물재료는 1차년도에 당근 13계통의 부모계통, 2차년도에는 1년차 때 *M. incognita*에 대한 저항성 screening을 실시한 실험에서 선발된 부·모친 당근 14 계통과 교잡(crossing) 또는 자식(selfing)에 의해 육성된 63 F1 자식 계통 등 반복수 포함 총 321개의 잎 시료, 3차년도에는 2년차에 실험한 F2 자식계통 121 line(*M. incognita*-89 lines, *M. hapla*-39 lines)로부터 반복수 포함 총 588개의 잎 시료, 4차년도에는 당근의 뿌리혹선충 저항성 분자표지 개발을 위해서는 같은 계통군(부모와 자식세대)에서의 계통 간에 분명한 저항성, 감수성 여부가 판명되어야 하므로 15개 계통군 총 36계통의 뿌리혹선충에 대한 저항성 스크리닝을 실시한 후 저항성과 감수성 반응이 분명한 계통의 식물체 잎을 사용하였고, 5년차에는 전년도에 선발된 같은 시료를 사용하여 primer를 달리한 연구를 수행하였다.

#### (나) Genomic DNA 추출

- 당근의 어린 육묘 잎 조직을 채취하여 96well type의 1.4ml collection microtube에 tungsten carbide bead(3mm) 2개를 함께 넣고 Tissue lyse를 이용하여 잎 조직을 마쇄하였음. 마쇄한 당근 잎으로부터(Kim 등, 2008)의 hexadecyltrimethyl-ammonium bromide(CTAB) 방법을 이용하여 genomic DNA를 추출한 후 NanoDrop®ND-1000 (Nanodrop technologies, USA)를 이용하여 260nm에서 정량하고 최종 농도가  $10\text{ng} \cdot \mu\text{l}^{-1}$ 가 되도록 희석하였음.

#### (다) 프라이머(primer) 제작

- 1, 2차년도에는 당근 선충 저항성 분자표지를 개발하기 위하여 (Aamir 등, 2008)에서 보고된 염기서열을 이용하여 SNP로 전환 가능한 SCAR 분자표지로부터 프라이머를 고안하였고, 3~5차년도에는 SNP로 전환 가능한 SCAR 분자표지와 함께 AFLP로부터 얻어진 *Mj* primer와 토마토에서 알려진 뿌리혹선충 저항성 유전자(*Mi* gene) (Kaloshian 등 1998)을 참고로 primer를 고안하였다.

#### (라) PCR 수행

- PCR을 위한 반응액의 총 부피는 25ul로 하였으며 genomic DNA 50ng, 10X PCR 용액(10mM Tris-HCl(pH8.3), 50mM KCl, 1.5mM  $\text{MgCl}_2$ ), 1mM dNTPs, 0.5uM의 primer(Bioneer, Korea) 1 ul와 unit *Taq* polymerase를 첨가하였음. PCR 반응은 I-cycler(Bio-Rad, USA) 모델을 이용하여 95°C에서 5분 동안 1차 변성하고, 95°C에서 30초, 58°C에서 30초, 72°C에서 60초의 변성, 결합, 신장 3단계를 35번 반복한 후, 최종 신장 단계로 72°C에서 10분간 반응시켰음. 증폭된 DNA 산물은 ethidium bromide(EtBr)로 염색한 1% agarose gel에서 전기영동 한 후 다형성 밴드 형성 여부를 확인하였음.

#### (마) HRM(High Resolution Melt) 분석

- 1차년도에 한하여 당근 계통 간 당형성 여부를 확인하기 위해 Park 등(2009)의 방법을 참고하여 HRM 분석이 진행되었음. PCR을 수행하기 위해 전체 볼륨 20ul에서 50ng의 genomic DNA와 10X PCR 용액(10mM Tris-HCl(pH8.3), 50mM KCl, 1.5mM  $\text{MgCl}_2$ ), 1mM dNTPs, 0.5uM의 primer(Bioneer, Korea) 1ul, 1.25uM SYTO 9 dye(Invitrogen, USA)와 0.2unit home-made *Taq* polymerase를 첨가하였음. PCR은 95°C에서 1차 변성 과정을 거쳐 95°C에서 15초, 58°C에서 15초, 72°C에서 30초의 변성, 결합, 신장 3단

계를 45번 반복하였음. HRM 분석은 PCR 과정이 끝난 후 프로그램화 된 램프 온도 70°C에서 90°C 까지 초당 0.1°C 씩 증가하여 마지막 신장(extention) 과정을 마쳤음. 당근 계통별 Melt curve를 분석하기 위해 Rotor-Gene 6000의 software version 1.7을 이용하였음.

## (2) 연구 결과 및 고찰

### (가) 1차년도 연구결과

#### ① 당근 선충 저항성 분자표지 개발을 위한 당근 계통별 다형성 분석

- 당근 선충 저항성 분자표지를 개발하기 위해 먼저 (Amir 등, 2008)에서 보고된 7개의 SCAR 분자표지 정보를 이용하여 본 실험에 이용된 당근 계통별로 다형성 여부 확인 및 HRM 분석을 통한 SNP 분자표지 전환이 가능한지 여부를 확인하기 위해 PCR을 수행하였음.

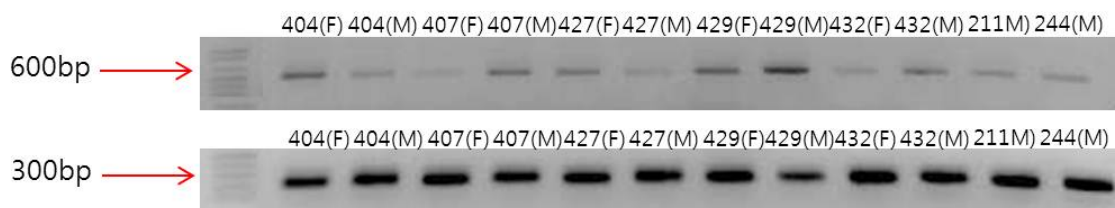
- PCR 수행 결과 전체 7개의 프라이머 조합 중 3개의 프라이머 조합에서 PCR 산물이 증폭되지 않았고, 나머지 4개의 프라이머 조합에서 약 200 ~ 600bp 정도의 PCR 산물이 증폭되었음(표 20, 그림 5).

- 앞에서 PCR 산물이 증폭된 4개의 프라이머 조합에 대해 당근 계통에 SCAR 분자표지 적용 여부를 확인하기 위해 PCR 산물을 2% agarose gel을 이용하여 전기영동 하였음. 그 결과 4개의 분자표지 모두 당근 13계통에 대해 전혀 다형성이 없음을 확인하였음(그림 6).

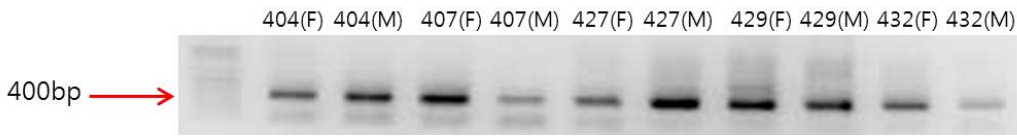
- 그러므로 4개의 분자표지에 대한 당근 계통 간에 SNP 탐색을 위해 HRM(High Resolution Melting) 분석을 실시하였음. 그 결과 1개의 분자표지를 제외한 3개의 분자표지에서 당근 계통별로 양친 간에 서로 다른 다형성을 보이거나, 일부 계통의 경우 양친 간에 다형성이 확인되지 않았다(표 21, 그림 3). 또한 일부 당근 계통의 경우 한쪽 친(부)에 대한 gDNA 시료가 제공되어 다형성 유무를 확인하지 못하였음(표 21). 결과적으로 본 실험을 통해 총 3개의 분자표지가 당근 계통 간에 다형성이 있음을 확인하였기에 앞으로 다양한 당근 선충 병에 대한 분자표지를 개발 및 저항성 당근 계통의 선발 및 개발에 이용될 것임.

표 20. Primer 조합별 PCR 산물 증폭 여부 및 PCR 산물 크기]

Primer name	PCR amplification	Number of PCR product size (bp)	SCAR marker의 적용 여부
Q1_800	○	600	x
SCAR 9A	-		-
SCAR 13A	-		-
SCAR 17A	○	300	x
SCAR 17B	-		-
SCAR 20A	○	200	x
SCAR 21A	○	400	x



<그림 5. 프라이머 조합별 PCR 산물의 밴드 양상>



<그림 6. SCAR 분자표지 적용 후 당근 계통별 PCR 산물의 밴드 양상>

표 21. HRM을 이용한 분자표지 적용시 계통별로 다형성 유무 확인

Marker	당근 계통									
	404(F)	404(M)	407(F)	407(M)	427(F)	427(M)	429(F)	429(M)	432(F)	432(M)
Mj-Q1800	A	B	A	B	A	A	A	C	A	B
Mj-SCAR-17A	A	C	A	B	A	A	A	A	A	D
Mj-SCAR-21A	A	B	A	B	A	A	C	D	A	A

Marker	당근 계통							
	211(2)-F	242(4)_M	244(4)_M	245(0) *	246(2)-M	250(2)_M	277(1) *	1213(1)-M
Mj-Q1800	C	C	G	C	E	F	A	D
Mj-SCAR-17A	A	I	G	F	F	H	A	E
Mj-SCAR-21A	D	J	H	G	F	I	G	E

\* 계통별 양친(모,부)의 유전형 검정

\* 계통별 양친 중, 부친의 유전형만 검정

\* [F = female. M = male], \* = 계통 성별이 구분 안 됨

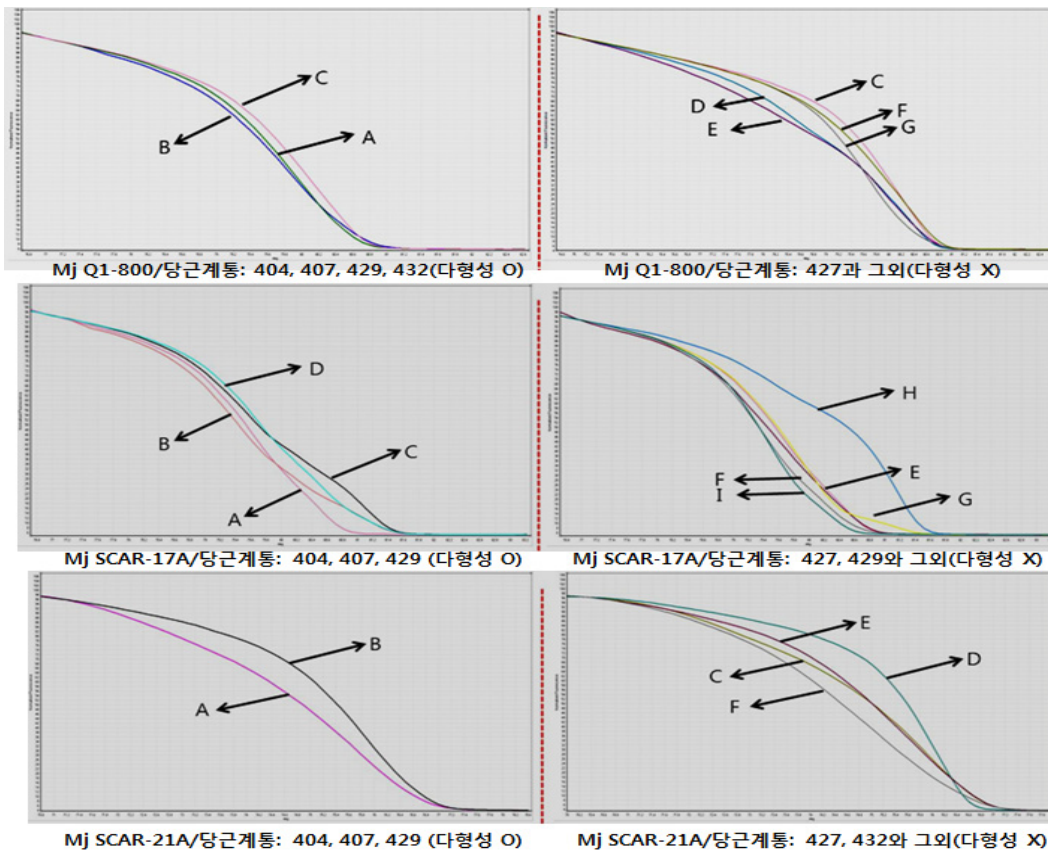


그림 7. HRM 분석을 이용한 SNP 분자표지의 계통별 다형성 확인

## (나) 2차년도 연구결과

- 당근 선충 저항성 분자표지를 개발하기 위해 먼저 (Aamir 등, 2008)에서 보고된 7개의 SCAR 분자표지 정보를 이용하여 본 실험에 이용된 당근 계통별로 다형성 여부 확인 및 HRM 분석을 통한 SNP 분자표지 전환이 가능한지 여부를 확인하기 위해 부모와 그 자식세대가 공동으로 조합을 이룬 계통(표 22)을 대상으로 PCR로 증폭된 산물을 1% agarose gel을 이용하여 전기영동하였다.

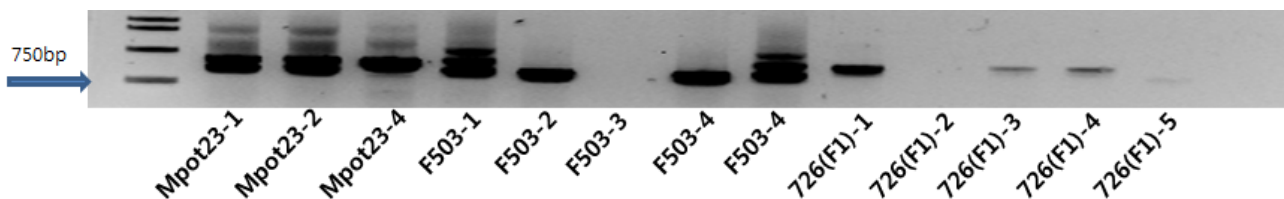
- 그 결과 전체 프라이머 조합에서 약 750 ~ 1,000 bp 정도의 PCR 산물이 증폭된 것을 확인할 수 있었으나 조합별 프라이머에서 다형성이 나타나지 않았음 (그림 8)

- 7개의 프라이머 조합 중 부모세대는 6번(SCAR 9A)조합 프라이머를 제외한 6개의 프라이머 조합에 대해서, 자식 세대에서는 전체 7개의 프라이머 조합 중 5번 (SCAR 13A)조합 프라이머를 제외한 6개의 프라이머 조합에 대해 부분적으로 PCR 산물이 증폭된 것을 확인할 수 있었음(표 23). 그러나 gall index에 따른 저항성 정도에 따라 특이적으로 나타나는 PCR 증폭 산물은 발견할 수 없었으므로 이들 SCAR 분자표지 정보를 이용한 primer로는 뿌리혹선충에 대한 저항성 분자표지로서는 이용가능성이 낮은 것으로 판단됨.

- 차후 HRM (High Resolution Melting) 분석을 실시하여 밴드를 형성한 분자표지별 당근 양친과 F1내 서로 다른 다형성을 보이거나 일부 중 한쪽 친에 대한 다형성 유무를 확인하여 분자표지 개발 및 저항성 당근 계통 선발과 개발에 이용하거나, 토마토에서 발견된 *M. incognita*에 대한 저항성 유전자(*Mi*)의 증폭을 위한 primer들을 이용하여 당근 계통별 다형성 여부를 확인하여 저항성 분자표지 개발을 시도할 예정이다.

표 22. 당근 DNA 샘플들 중 부모와 자식 세트가 맞는 line

부친		모친		F1	Gall index	DI
11-206(9)	S	11-432	S	752	2.6 ± 1.1	S
11-206(9)	S	11-432	S	751	5.0 ± .00	S
Pot21	S	503	S	724	1.2 ± 0.8	S
11-209(7)	S	11-432	S	756	2.0 ± 0.0	S
11-246(2)	S	11-432	S	760	1.8 ± 0.4	S
11-208(12)	S	11-407	S	744	0.4 ± 0.9	R
pot23	S	503	S	726	1.6 ± 0.5	S



<그림 8. SCAR 분자표지 primer를 이용한 당근의 부(M-), 모(F-)와 자식세대(f) 계통의 Genomic의 DNA의 PCR 증폭 산물의 전기영동 결과: 다형성이 나타나지 않음)



표 23. 부모, 자식세대 각 계통별 SCAR marker primer를 이용한 DNA의 PCR 증폭산물의 전기영동 밴드 형성 패턴

Line no.	Gall no.	Primers							Line no.	Gall no.	Primers						
		1	2	3	4	5	6	7			1	2	3	4	5	6	7
744-3	0	-	0	-	0	-	-	-	208(12)-2	10	o	o	o	o	o	-	o
744-4	0	-	0	0	0	-	-	0	208(12)-3	11	o	o	o	o	o	-	o
744-5	0	-	-	-	0	-	-	-	751-1	11	-	-	-	-	-	-	-
724-1	0	-	-	-	-	-	-	-	209(7)-5	12	-	o	o	-	o	-	o
209(7)-2	0	-	o	o	o	o	-	o	752-4	12	0	-	0	-	-	-	0
744-2	0	-	-	0	-	-	-	-	pot23-1	12	o	o	o	o	o	-	o
724-3	1	-	-	0	0	-	-	-	209(7)-3	12	-	o	o	o	o	-	o
724-2	1	-	-	-	-	-	-	-	246(2)-5	13	o	-	o	o	o	-	o
206(9)-3	1	o	-	-	o	o	-	o	503-4	14	o	o	o	o	o	-	o
726-5	1	-	0	0	-	-	-	0	246(2)-4	15	-	-	o	o	o	-	o
760-3	1	0	-	-	0	-	-	-	752-1	16	-	-	-	-	-	-	-
752-3	2	-	-	-	-	-	-	-	407-3	19	o	-	o	o	-	-	o
209(7)-4	2	-	-	o	o	o	-	o	432-3	19	o	-	o	o	o	-	o
726-1	2	-	0	0	0	-	-	0	246(2)-3	20	-	-	o	o	o	-	o
756-2	3	-	-	-	-	-	-	0	407-5	21	o	-	o	o	o	-	o
760-4	3	0	-	-	0	-	-	-	503-2	24	o	-	-	o	-	-	o
726-3	3	-	-	0	0	-	-	0	751-5	25	-	-	-	-	-	-	-
pot23-4	4	-	o	o	o	o	-	o	pot21-3	25	-	o	o	o	o	-	o
209(7)-1	4	-	o	o	o	o	-	o	432-1	25	-	-	o	o	o	-	o
246(2)-1	4	o	o	o	o	o	-	o	432-2	27	o	-	o	o	o	-	o
760-1	4	-	-	-	0	-	-	-	751-2	28	-	-	-	-	-	-	-
756-5	4	0	-	-	0	-	-	-	751-4	29	-	-	-	-	-	-	-
726-2	5	-	-	0	0	-	-	-	752-2	31	-	0	-	0	-	-	0
760-5	5	-	-	-	-	-	-	0	503-5	32	o	o	o	o	o	-	o
756-4	5	0	-	-	0	-	-	0	206(9)-5	33	o	-	o	-	o	-	o
pot21-2	6	-	o	o	o	o	-	o	407-2	34	-	-	o	o	o	-	o
752-5	6	-	-	-	-	-	-	0	503-1	39	o	-	-	o	-	-	o
756-1	6	-	-	-	-	-	-	-	432-5	40	o	-	o	o	o	-	o
208(12)-1	6	-	o	o	o	o	-	o	pot21-4	41	-	o	o	o	o	-	o
756-3	7	-	-	-	0	-	-	0	407-1	45	-	-	-	o	o	-	o
206(9)-1	7	o	-	o	o	o	-	o	407-4	50	-	-	o	o	o	-	o
pot23-2	8	o	-	o	o	o	-	o	503-3	52	-	-	-	o	o	-	-
pot21-1	8	o	o	o	o	o	-	o	pot21-5	56	-	o	o	o	o	-	o
760-2	8	0	-	0	0	-	-	-	206(9)-4	60	o	-	o	o	-	-	o

\* 회색 바탕의 계통은 부모 세대 계통임.

\*\* 좌편은 gall index가 낮은 저항성에 가까운 식물체, 우편은 감수성에 가까운 식물체임  
- 저항성 특이 PCR 증폭 산물이 나타나지 않음.

### (다) 3차년도 연구결과

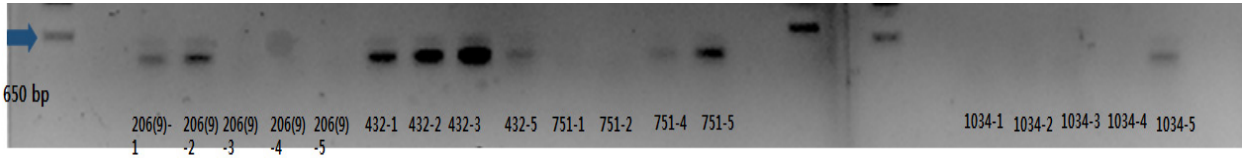
- 당근 선충 저항성 분자표지를 개발하기 위해 먼저 (Amir 등, 2008)에서 보고된 7개의 AFLP, SCAR분자표지 정보와 *Mi* gene STS 를 이용하여 본 실험에 이용된 당근 계통별로 다형성 여부 확인 및 HRM 분석을 통한 SNP 분자표지 전환이 가능한지 여부를 확인하기 위해 PCR를 수행하였는데 PCR 수행 결과 전체 7개의 프라이머 조합 중 모든 조합 내에서 부분적으로 약 500 bp 정도의 PCR 산물이 증폭된 것을 확인할 수 있었다.

- 앞에서 PCR 산물이 증폭된 프라이머 조합들중 부모와 자식세대에 걸쳐 나온 프라이머 조합을 선발해 PCR산물을 1% agarose gel을 이용하여 전기 영동함. 그 결과 조합별 프라이머에서 다형성(polymorphism)이 없음을 확인하였음(그림 3)

- 전년도에 비해 더 많은 primer를 이용하고 특히 *M. incognita*에 대한 저항성 유전자로 알려진 *Mi* gene을 추가하였음에도 불구하고 금년도에도 다형성이 나타나지 않았음. 앞으로 더

많은 primer를 찾아 본 시험과 같은 방법으로 다형성을 탐색하겠으며, 본 시험에서 PCR을 통해 부분적으로 구축된 DNA를 이용하여 DNA Sequencing, SNP 탐색을 위한 HRM(High Resolution Melting) 분석을 실시하여 분자표지개발에 유용한 자료를 확보할 것임.

6B primer



6A primer

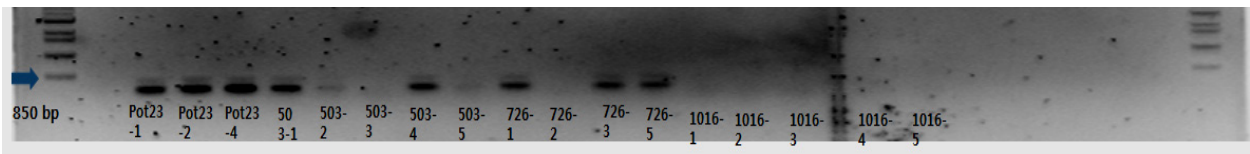


그림 3. 당근 양친, F1, F2 line의 시료에서 추출한 Genomic DNA의 표기된 primer를 이용한 PCR 증폭산물의 전기영동 결과(1% agarose gel). 증폭된 PCR 산물을 확인할 수 있으나 당근 양친과 자손 내 다형성을 보이지 않고 있다.

### (라) 4~5차년도 연구결과

- 공시된 계통의 저항성 스크리닝 결과 총 37계통 중 Mi에 대해서는 저항성, 중도저항성 및 감수성이 각각 5, 6, 26계통이었으며, Mh에 대해서는 각각 14, 8, 15계통으로 나타나 Mh에 대한 저항성 계통이 유의적으로 높았음(표 24). 각 선충별 세대별 계통 모두 저항성인 계통군 수는 Mi에 대해서는 2계통군, Mh에 대해서는 4계통군으로 두 선충 모두에 저항성인 계통군은 2계통 군으로 나타났음. 이들 저항성 계통군은 저항성이 유전된 것이라 판단되므로 저항성 유전자를 보유할 가능성이 큰 것으로 사료된다. 반면 세대별 모두 감수성인 계통군은 Mi에 대해서는 8계통군, Mh에 대해서는 4계통군, 두 선충 모두에 대해 4계통군이 감수성으로 나타나 이들은 저항성 유전자를 가지지 않았을 것으로 사료된다. 따라서 이들 저항성 계통군과 감수성 계통군을 선별하여 유전적 분석을 실시하면 유전자의 존재 여부를 달리하므로 프라이머를 이용한 PCR 수행시 그 PCR 산물에 염기서열이 다름으로 인해 저항성 관련 유전자(염기서열)-분자표지를 검출하는데 유효할 것이라 사료된다. 따라서 저항성과 감수성 계통의 식물체 잎을 계통별 5개 또는 10개의 잎 시료 등 전체 90개 시료에서 위 재료 및 방법에서 언급한 대로 Genomic DNA를 추출하였다 (표 4).

- 현재 확보된 프라이머는 *M. javanica* 저항성유전자 관련 4 프라이머, 토마토에서 *M. incognita*에 대한 저항성유전자(Mi)의 PCR을 기초한 분자표지 관련 2개 프라이머, Leucine zipper nucleotide binding Mi 유전자 관련 3개 프라이머, Mi 유전자를 가진 토마토를 가해하는 선충에 대한 저항성유전자 관련 2개 프라이머 등 총 11개의 프라이머를 확보하였다 (표 25).

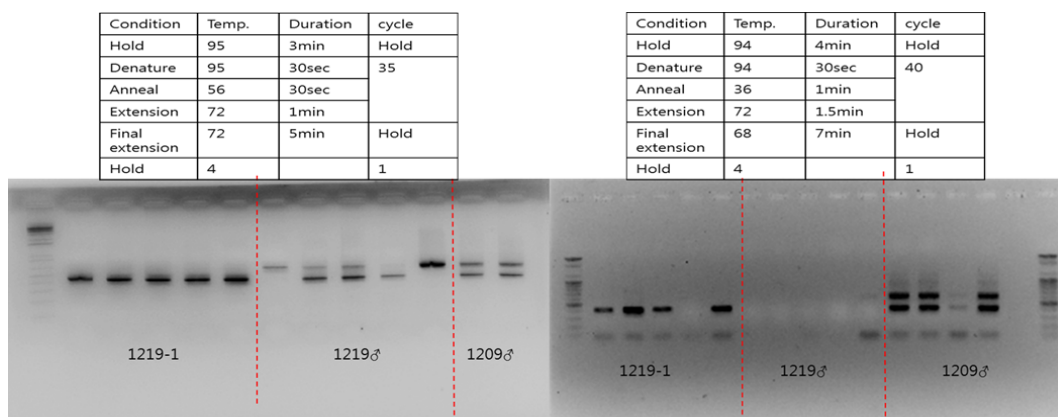
표 24. 계통군의 뿌리혹선충 저항성 screening 및 Genomic DNA 채취 샘플 수 및 농도

Line	<i>M. incognita</i>		<i>M. hapla</i>		채취 샘플 수	DNA conc. (ng/μL)
	GI	PR	GI	PR		
1209 ♂	0.5±0.6	R	0.2±0.4	R	10	162.9~1234.4
1209-1	1.7±0.6	MR	1.0±0.8	R		
1219 ♂	1.0±0.0	R	1.0±0.0	R	5	601.0~1239.3
1219-1	0.6±0.5	R	1.0±0.0	R	5	234.5~1616.4
1226 ♂	1.2±0.8	S	1.0±0.0	R	5	267.5~624.4
1226-1	3.2±0.4	S	1.0±0.0	R	5	155.6~691.9
1226-2	1.8±0.4	S	1.0±0.0	R	5	207.6~593.8
1231 ♂	1.6±0.6	S	1.0±0.0	S		
1231-1	2.4±0.5	S	1.4±0.5	S		
1231-2	2.4±0.5	S	2.6±0.9	S		
1235 ♂	1.0±0.0	R	1.0±0.0	R	5	293.6~1286.8
1235-1	0.8±0.4	R	0.8±0.4	R	10	135.0~691.0
1239 ♂	1.6±0.5	MR	1.4±0.5	MR		
1239-2	1.4±0.5	MR	1.2±0.4	MR		
1274 ♂	1.2±0.4	MR	1.0±0.7	R	5	93.0~259.5
1274-1	1.4±0.5	MR	2.0±0.0	S		
1288 ♂	3.0±1.0	S	2.0±0.0	S		
1288-1	4.0±0.7	S	2.0±0.0	S		
1278 ♂	3.6±0.5	S	3.6±0.5	S	10	887.8~1792.3
1278-2	2.2±0.8	S	1.0±0.0	R	5	307.0~780.4
1278-3	3.0±0.0	S	1.0±0.0	R		
1277-3	2.4±0.5	S	1.0±0.0	R		
1277-4	2.4±0.5	S	1.6±0.5	MR		
1277-5	2.4±0.5	S	0.8±0.4	R		
1287-1	3.2±0.4	S	1.6±0.5	MR		
1287-2	3.6±0.5	S	1.4±0.5	MR		
1281-4	1.8±0.8	MR	1.2±0.4	MR		
1281-5	3.4±0.5	S	1.6±0.5	MR		
14KH-191	4.0±0.0	S	3.8±0.4	S	10	210.0~1061.7
14KH-24	3.0±0.0	S	3.0±0.7	S		
14KH-188	3.0±0.0	S	2.8±0.4	S		
14KH-51	2.4±0.5	S	3.0±0.7	S		
In13-1054 ♀	3.6±0.5	S	2.8±0.8	S		
13-93 ♀	3.0±0.0	S	3.6±0.5	S		
13-77 ♀	4.0±0.7	S	3.0±1.0	S		
Ha13-1123 ♀	3.0±0.7	S	4.2±0.4	S		
신희전5촌	2.4±1.1	S	1.2±0.4	MR	10	288.2~1292.3
계					90	

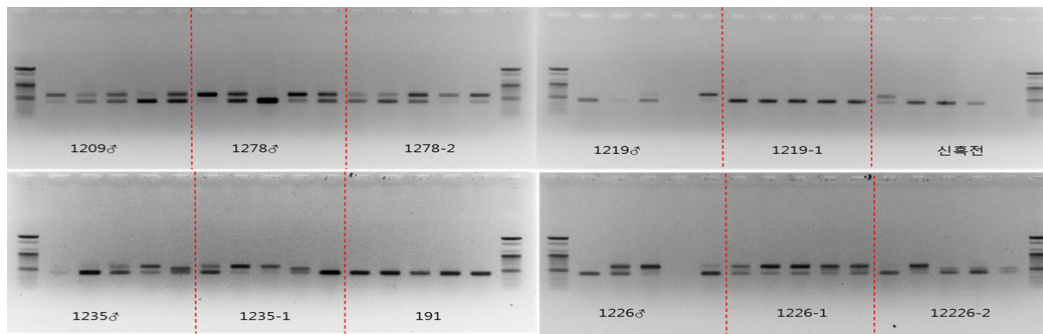
표 25. 당근의 뿌리혹선충 저항성 분자표지 개발을 위해 제작된 primer 종류 및 출처

Primer	참고 논문	저자
OP-C21700 (5' -GTGAGGCGTC3' ) OP-Q6500 (5' -GACCGCCTTG-3' ) OP-U12700 (5' -TCACCAGCCA-3' ) OP-AL15500 (5' -AGGGGACACC-3' )	RAPD linkage map of the genomic region encompassing the root-knot nematode ( <i>Meloidogyne javanica</i> ) resistance locus in carrot	L. S. Boiteux J. G. Belter P. A. Roberts P. W. Simon
REX-F1 (5'-TCGGAGCCTTGGTCTGAATT-3') REX-R2 (5'-GCCAGAGATGATTCGTGAGA-3')	A PCR-based marker tightly linked to the nematode resistance gene, Mi, in tomato	V. M. Williamson J.-Y. Ho F. F. Wu N. Miller I. Kaloshian
C1/2 (5'-CAGTGAAGTGGAAAGTGATGA-3') C1S1 (5'-CCCAGCAAAGTACAATCTAC-3') C2S4 (5'CTAAGAGGAATCTCATCACAGG-3')	The Root Knot Nematode Resistance Gene Mi from Tomato Is a Member of the Leucine Zipper, Nucleotide Binding, Leucine-Rich Repeat Family of Plant Genes	S. B. Milligan
NR14A/R (5'-GTGGCAGGTATCTCATGGAA-3') NR14A/U (5'-GGGAACCTCCATATACAAG-3')	Mapping a new nematode resistance locus in <i>Lycopersicon esculentum</i>	J. Yaghoobi I. Kaloshian Y. Wen V. M. Williamson

- 당근 앞에서 추출한 Genomic DNA를 열거한 프라이머들을 이용하여 PCR을 수행하여 증폭된 PCR 산물을 1% agarose gel에서 전기영동 한 후 다형성 밴드 형성 여부를 확인함에 있어서 우선적으로 적절한 해당 DNA의 증폭에 적절한 PCR 조건을 확인한 결과 annealing 온도 조건을 달리하였을 때 전기영동상 밴드의 차이를 보였는데 즉 56°C에서 annealing을 하였을 때 공시한 3계통의 DNA의 밴드 형성이 모두 제대로 이루어졌으며 밴드의 수도 1~2개로 균일성을 나타낸 반면 annealing 온도를 36°C로 하였을 때는 전기영동에서 상호 유사한 계통임에도 불구하고 계통 간 밴드수의 변이가 컸으며 특히 1219♂은 밴드가 제대로 형성되지 않는 등 반응의 불안정하고 불균일한 DNA 밴드형성이 이루어져 이에 따라 안정적으로 DNA 밴드를 형성하는 annealing 온도조건 등 분자표지 연구를 위한 PCR 조건을 구명하였음(그림 3). 또한 이러한 PCR 조건에서 SCAR21A의 primer를 사용하여 DNA를 증폭하고 전기영동을 수행한 결과 (그림 4), 계통에 따른 밴드의 수 및 위치에 차이를 보여 다형성을 보이므로 계통간 유전적 차이를 보여 저항성과 연계 가능성은 있으나 분석 결과 본 시험에서 사용된 뿌리혹선충에 대한 저항성과의 연계가 제대로 이루어지지 않았음. 이러한 많은 뿌리혹선충 저항성 관련 primer들을 이용한 분자표지 구명에서 그 분자표지가 당근에서 잘 나타나지 않은 이유는 분명히 알 수 없으나 접종 실험과 조직병리학적 연구에서 나타난 결과를 토대로 1) 접종 실험결과 흑지수와 그에 따른 조직병리학적 변화(거대세포 주변의 괴사층 형성 등)는 저항성 계통이 병회피가 아닌 진정저항성을 가졌음을 의미하며, 2) 접종 실험에서 접종밀도와 토성에 따른 저항성 반응이 다르게 나타났는데 이는 다인자저항성 유전의 특성을 나타내는 것으로, 아직까지 다인자저항성에 대한 연구가 미흡하고 또 이 경우 유전자의 연구에 있어서 기술적으로 다른 각도로 접근하여야 하기에 애초부터 접근 방법을 달리하여야 했었다. 그러나 다인자저항성은 일명 포장저항성이라 하여 포장상태에서 안정적으로 저항성을 유지할 수 있는 특성을 가지는데 이는 단인자저항성의 경우 연작을 할 경우 병원성이 강화된 새로운 변종이 출현하여 저항성을 무너뜨리기 때문이다.



<그림 3> PCR 조건에 따른 전기영동에서의 DNA 밴드 형성



<그림 4> SCAR21A를 이용한 PCR 산물의 전기영동 결과

## 제2절. 내선충 고품질 당근 계통 육성

### 1. 주요 연구내용 및 방법

#### 가. 선충저항성 계통 및 조합 육성

##### (1) 선충 저항성 검정

- 1~5차년도까지 시험에서 1년차에는 본 연구소에서 육성한 계통 중에서 A-line 53 계통과 C-line 147 계통 등 200계통들의 *Meloidogyne incognita*에 대한 저항성을 조사하였고, 2년차는 1차년도에 육성한 선충저항성 계통들의 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성을 조사하였고, 3~5년차에는 전년도 시험에서 선충저항성 계통으로 선발된 계통들 간의 교배조합 및 각 화분친 계통들의 개체별 부계 유지(Selfing)하여 *M. incognita* 및 *M. hapla*의 각각의 저항성 조합과, 저항성 부계 Selfing 계통들을 육성하여 소형 pot에 파종하여 뿌리혹선충의 두 종 *M. incognita*와 *M. hapla* 선충을 각각 접종하여 6~7주 후 뿌리혹선충에 의한 뿌리혹선충의 형성율을 조사하여 선충저항성 계통들을 선발하였음. 연도별 사용한 당근 계통의 수는 연도별 시험결과에 표기하였음.

##### (2) 여교배(back crossing), 교배조합(cross combination) 및 자식(selfing)에 의한 후세대 선충저항성 계통 육성

- 전년도에 뿌리혹선충 저항성 검정이 끝난 직후 각각의 당근 유묘를 금호 육성 망실에 정식하여 교배모본으로 이용하였음. 이들의 교배(crossing)를 위한 매개충으로는 파리(meat fly)를 사용하였으며 부계의 절화를 모계의 꽃에 옮겨놓고 망을 씌운 후 그 안에 개체 당 15마리의 매개충을 넣어두어 자연적으로 교배가 이루어지도록 조치하였고 자식(selfing)은 자체의 꽃에 망을 씌운 후 매개충을 넣어두어 수정이 이루어지도록 하였음(그림 1). 이들 교배한 종자를 채취하여 7월말 제주도에 파종하여 계통 및 조합별 생육 조사와 선충저항성 검정용으로 사용하였고, 또 pot에 파종하여 선충저항성 검정용으로 사용하였음.



<그림 1. 인공교배(좌)와 Selfing(우) 실시 모습>



### (3) 선충저항성 계통의 포장성능검정

- 2012년 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통(40 교배조합, 57자식조합; 총97조합)을 포장성능검정을 위하여 2012.8.29. 경남 고성 마암면 당근 육성 망실에 파종하여 재배한 후 2013년 1월 중순에 수확하여 특성조사를 실시하였음. 2013년 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통(총 92 교배조합, 총 85 자식계통)을 포장성능검정을 위하여 2013.7.29. 제주시 구좌읍 상도리 당근 재배포장에 파종하여 재배한 후 2013년 12월~2014년 1월 중순에 수확하여 특성조사를 실시하였음. - 2014년 7월 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통(총 81 교배조합, 38 자식계통)을 포장성능검정을 위하여 2014년 8월 6일 제주시 구좌읍 세화리(2823-2) 당근 재배포장에 파종하여 재배한 후 2014년 12월~2015년 1월 중순에 수확하여 특성조사를 실시하였음.

### (4) 선충저항성 계통의 포장성능시험 및 품질 조사

- 전년도에 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통을 포장성능검정을 위하여 2년차에는 2012.8.29. 경남 고성 마암면 당근 육성 망실에 파종하여 재배한 후 2013년 1월 중순에 수확한 당근 뿌리, 그 후에는 전년도에 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통을 포장성능검정을 위하여 7월 말~8월 초에 제주시 구좌읍 당근 시험포장에 파종하여 재배한 후 이듬해 1월 중순에 수확하여 당근 뿌리의 당도와 캐로틴(carotene) 함량을 표준 방법에 의해 분석하였음.

## 나. 중국수출용 및 국내용 당근 내선충고품질 1대 잡종 품종 개발

### (1) 당근 계통의 우수조합 선발

-당해연도에 교배하여 생산한 조합을 (주)한중당근육종연구소 농장에서 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대해 저항성 스크리닝을 실시하였고, 이들 중 일부 및 우수 F1 조합은 중국 북경 동성종묘연구소 포장과 제주도 구좌읍에 식재하여 당근을 수확하여 중국에서는 11월 말에 국내에서는 11월 말~이듬해 2월 말까지 조사하였고, 또 각 지역별 선발된 우수 F1 조합들과 대비 품종들을 경남 양산시 하북면에 위치한 당근포장에 1월 말에 파종하여 봄 당근 터널시험을 실시하였음.

### (2) 당근 계통 품질 분석

- 포장에서 수확한 후 각각의 당근 계통 및 조합들은 당근 뿌리의 당도와 캐로틴(carotene) 함량을 표준 방법에 의해 분석하였음.

## 2. 연구결과 및 고찰

### <1차년도>

#### 가. 내선층 고품질 당근 계통 육성

##### (1) 기존 고품질 계통의 선충 저항성 육성

- 지금까지 육성해 온 계통 중에서 A-line, 53 계통과 C-line, 147 계통을 2011년 9월 28일 직경 11cm pot 에 파종. 계통당 5 pot 씩 파종하여 (주)한중당근육종연구소의 온실에서 육묘. 2011년 11월 5일 주관연구과제책임연구실 연구실에서 뿌리혹선충 접종에 이어 2012년 2월 14일 선충저항성 조사를 하여(표 1) A-line 4계통, C-line 23계통 40개체를 선발, (주)한중당근육종연구소 망실에 정식하였다.

- 모본의 크기는 직경 1cm 정도로 작은 것 들이 많았다. 월동 중 일부 계통은 부패, 고사하였고, 정식한 44개체 중 26개체가 정상적으로 생육하여 개화하였다.(표 2)

- C-line은 모두 자식을 시켰고, 저항성 A-line에는 모든 C-line을 교배시켜 33조합을 생산하였고(표 3), 이렇게 생산된 C-line과 A×C 조합은 2012년 8월 말에 경남 고성군 마암면 당근육성망실에 파종하여 선충 저항성 검증 및 수확물의 품질 분석을 실시하여 고품질 저항성 계통 육성에 이용되었다.

표 1. 선충저항성 스크리닝 대상 국내 고품질 계통 List

파종 No	계통	비고	파종 No	계통	비고
P11-201(1)	31-146-1-1	C-line	P11-209(5)	75003-1-5	“
P11-201(2)	31-146-1-2	“	P11-209(6)	75003-1-6	“
P11-201(6)	31-146-1-6	“	P11-209(7)	75003-1-7	“
P11-201(8)	31-146-1-8	“	P11-209(8)	75003-1-8	“
P11-201(9)	31-146-1-9	“	P11-210(1)	SKT114-1-1	“
P11-201(10)	31-146-1-10	“	P11-210(3)	SKT114-1-3	“
P11-202(1)	32-147-1-1	“	P11-210(4)	SKT114-1-4	“
P11-202(2)	32-147-1-2	“	P11-211(1)	08대-31-1-1	“
P11-202(3)	32-147-1-3	“	P11-211(2)	08대-31-1-2	“
P11-202(6)	32-147-1-6	“	P11-212(1)	08대-34-1-1	“
P11-202(8)	32-147-1-8	“	P11-212(2)	08대-34-1-2	“
P11-202(10)	32-147-1-10	“	P11-212(4)	08대-34-1-4	“
P11-203(2)	33-150-1-2	“	P11-221(1)	DKT-0-1	“
P11-203(3)	33-150-1-3	“	P11-221(3)	DKT-0-3	“
P11-203(5)	33-150-1-5	“	P11-222(5)	홍전-0-5	“
P11-203(8)	33-150-1-8	“	P11-223(1)	진홍-0-1	“
P11-204(7)	34-151-1-7	“	P11-223(4)	진홍-0-4	“
P11-204(9)	34-151-1-9	“	P11-224(1)	부순홍-0-1	“
P11-204(10)	34-151-1-10	“	P11-224(2)	부순홍-0-2	“
P11-205(1)	35-152-1-1	“	P11-224(3)	부순홍-0-3	“
P11-205(2)	35-152-1-2	“	P11-224(4)	부순홍-0-4	“
P11-206(2)	HF3-1-2	“	P11-225(3)	초급신희전-0-3	“
P11-206(7)	HF3-1-7	“	P11-226(4)	구룡-0-4	“
P11-206(9)	HF3-1-9	“	P11-227(2)	홍복-0-2	“
P11-207(6)	75002-5-1-6	“	P11-228(1)	HF4-0-1	“
P11-208(9)	75002-5-1-9	“	P11-228(2)	HF4-0-2	“
P11-208(10)	75002-5-1-10	“	P11-228(4)	HF4-0-4	“
P11-208(12)	75002-5-1-12	“	P11-230(1)	추동200C-1-1	“
P11-208(13)	75002-5-1-13	“	P11-241(0)	MH10-1-0	“
P11-209(3)	75003-1-3	“	P11-242(4)	MH10-3-4	“
P11-209(4)	75003-1-4	“	P11-243(2)	MH10-6-2	“

표 1. 선충저항성 스크리닝 대상 국내 고품질 계통 List(계속)

과종 No	계통	비고	과종 No	계통	비고
P11-243(2)	MH10-6-2	C-line	P11-1203(4)	DHL-4	C-line
P11-244(3)	MH10-7-3	“	P11-1204(1)	RCC-1	“
P11-244(4)	MH10-7-4	“	P11-1204(2)	RCC-2	“
P11-245(0)	MH10-8-0	“	P11-1204(3)	RCC-3	“
P11-246(1)	MH10-9-1	“	P11-1205(1)	Thum-1	“
P11-246(2)	MH10-9-2	“	P11-1205(2)	Thum-2	“
P11-246(3)	MH10-9-3	“	P11-1205(4)	Thum-4	“
P11-246(5)	MH10-9-5	“	P11-1206(1)	D126-1	“
P11-247(5)	MH10-13-5	“	P11-1206(2)	D126-2	“
P11-248(1)	MH10-15-1	“	P11-1207(1)	AB-1	“
P11-248(5)	MH10-15-5	“	P11-1207(2)	AB-2	“
P11-249(1)	MH10-16-1	“	P11-1207(3)	AB-3	“
P11-249(3)	MH10-16-3	“	P11-1208(1)	Mig-1	“
P11-250(2)	MH10-18-2	“	P11-1209(5)	Par-5	“
P11-250(4)	MH10-18-4	“	P11-1210(2)	BG-2	“
P11-250(5)	MH10-18-5	“	P11-1210(4)	BG-4	“
P11-251(1)	MH10-19-1	“	P11-1210(5)	BG-5	“
P11-251(3)	MH10-19-3	“	P11-1211(1)	BC-1	“
P11-251(5)	MH10-19-5	“	P11-1211(2)	BC-2	“
P11-252(0)	MH10-29-0	“	P11-1211(3)	BC-3	“
P11-253(3)	MH10-32-3	“	P11-1211(4)	BC-4	“
P11-254(1)	MH10-34-1	“	P11-1211(5)	BC-5	“
P11-254(2)	MH10-34-2	“	P11-1212(1)	LM-1	“
P11-254(4)	MH10-34-4	“	P11-1213(1)	09-451-op1	“
P11-255(1)	MH10-51-1	“	P11-1213(3)	09-451-op3	“
P11-255(3)	MH10-51-3	“	P11-1213(4)	09-451-op4	“
P11-256(1)	MH10-52-1	“	P11-1214(1)	09-456-3-1	“
P11-256(5)	MH10-52-5	“	P11-1214(2)	09-456-3-2	“
P11-262(2)	MH10-14-2	“	P11-1214(3)	09-456-3-3	“
P11-264(1)	MH10-20-1	“	P11-1214(4)	09-456-3-4	“
P11-265(2)	MH10-21-2	“	P11-1214(5)	09-456-3-5	“
P11-266(1)	MH10-22-1	“	P11-1215(1)	09-456-1	“
P11-267(1)	MH10-24-1	“	P11-1215(3)	09-456-3	“
P11-267(2)	MH10-24-2	“	P11-1215(4)	09-456-4	“
P11-268(1)	MH10-25-1	“	P11-1215(5)	09-456-5	“
P11-268(2)	MH10-25-2	“	P11-1216(0)	09-456-0	“
P11-269(2)	MH10-30-2	“	P11-401	SB×31-146	A-line
P11-267(1)	MH10-24-1	“	P11-402(1)	SB×32-147	“
P11-275(1)	MH10-46-1	“	P11-402(2)	SB×32-147	“
P11-276(1)	MH10-48-1	C-line	P11-403	SN308×32-147	“
P11-276(2)	MH10-48-2	“	P11-404	SB×33-150	“
P11-277(1)	MH10-49-1	“	P11-405	SK134×33-150	“
P11-277(2)	MH10-49-2	“	P11-406	SB×34-151	“
P11-1201(1)	SS-1	“	P11-407	SN415×34-151	“
P11-1201(3)	SS-3	“	P11-408	HS×34-151	“
P11-1201(4)	SS-4	“	P11-409	SB×35-152	“
P11-1201(5)	SS-5	“	P11-410(1)	SB×KT113	“
P11-1202(0)	LF-0	“	P11-410(2)	SB×KT113	“
P11-1203(1)	DHL-1	“	P11-411	BR×KT113	“
P11-1203(3)	DHL-3	“	P11-412	GR×KT113	“

표 1. 선충저항성 스크리닝 대상 국내 고품질 계통 List(계속)

파종 No	계통	비고	파종 No	계통	비고
P11-413	BG×KT113	A-line	P11-430	SB×부순홍	A-line
P11-414	AH×KT113	“	P11-431	SB×초급신희전	“
P11-415	SB×08대-31	“	P11-432	SB×홍복	“
P11-416	BR×08대-31	“	P11-441	SB×MH10-1	“
P11-417	GR×08대-31	“	P11-442	SB×MH10-3	“
P11-418	SB×08대-34	“	P11-443	SB×MH10-6	“
P11-419	BR×08대-34	“	P11-444	SB×MH10-7	“
P11-420	GR×08대-34	“	P11-445	SB×MH10-8	“
P11-421	SB×HF3	“	P11-446	SB×MH10-9	“
P11-422(1)	SB×75002	“	P11-447	SB×MH10-13	“
P11-422(2)	SB×75002	“	P11-448	SB×MH10-15	“
P11-423(1)	SB×75003	“	P11-449	SB×MH10-16	“
P11-423(2)	SB×75003	“	P11-450	SB×MH10-18	“
P11-424(1)	SB×SKT114	“	P11-451	SB×MH10-19	“
P11-424(2)	SB×SKT114	“	P11-452	SB×MH10-29	“
P11-425	SB×HF4	“	P11-453	SB×MH10-32	“
P11-426	SB×추동200C	“	P11-454	SB×MH10-34	“
P11-427	SB×DKT	“	P11-455	SB×MH10-51	“
P11-428	SB×홍전	“	P11-456	SB×MH10-52	“
P11-429	SB×진홍	“			

표 2. 선충저항성 당근 계통 List

파종 No	계통	비고	파종 No	계통	비고
P11-204(9)	34-151-1-9	C-line	P11-242(4)	MH10-3-4	C-line
P11-204(0)	34-151-1-0	“	P11-244(4)	MH10-7-4	“
P11-205(1)	35-152-1-1	“	P11-245(0)	MH10-8-0	“
P11-205(2)	35-152-1-2	“	P11-246(2)	MH10-9-2	“
P11-206(2)	HF3-1-2	“	P11-247(5)	MH10-13-5	“
P11-206(9)	HF3-1-9	“	P11-250(2)	MH10-18-2	“
P11-208(12)	KT113-1-12	“	P11-254(1)	MH10-34-1	“
P11-209(3)	75003-3-1-3	“	P11-277(1)	MH10-49-1	“
P11-209(5)	75003-3-1-5	“	P11-1214(5)	09-456-3-5	“
P11-209(7)	75003-3-1-7	“	P11-404	SB×33-150	A-line
P11-209(8)	75003-3-1-8	“	P11-407	SN415×34-151	“
P11-210(4)	SKT114-1-4	“	P11-427	SB×DKT	“
P11-212(2)	08대-34-1-2	“	P11-432	SB×홍복	“

표 3. 선충저항성 계통의 자식 및 교배내역

자식(selfing)	교배(crossing)
P11-204(10)-3	P11-407-1×204(10)-3
P11-205(1)-1	P11-407-1×206(1)-1
P11-205(2)-2	P11-407-1×206(9)-1
P11-205(2)-4	P11-407-1×208(12)-5
P11-205(2)-5	P11-407-1×210(4)-5
P11-206(2)-1	P11-407-1×242(4)-4
P11-206(9)-1	P11-407-5×205(2)-5
P11-206(9)-2	P11-407-5×208(12)-5
P11-206(9)-3	P11-432(4)×204(10)-3
P11-206(9)-4	P11-432(4)×205(1)-1
P11-208(12)-4	P11-432(4)×205(2)-4
P11-208(12)-5	P11-432(4)×205(2)-5
P11-209(3)-1	P11-432(4)×206(2)-1
P11-209(3)-5	P11-432(4)×206(9)-2
P11-209(7)-2	P11-432(4)×206(9)-3
P11-209(8)-2	P11-432(4)×206(9)-4
P11-242(4)-4	P11-432(4)×208(12)-4
P11-242(4)-5	P11-432(4)×208(12)-5
P11-245(0)-1	P11-432(4)×209(3)-5
P11-246(2)-5	P11-432(4)×209(7)-2
P11-247(5)-1	P11-432(4)×209(8)-2
P11-1214(5)-1	P11-432(4)×209(7)-2
P11-1214(5)-3	P11-432(4)×244(4)-5
P11-1214(5)-4	P11-432(4)×245(0)-1
	P11-432(4)×246(2)-5
	P11-432(4)×1214(5)-1
	P11-432(4)×1214(5)-4
	861-1×206(9)-1
	861-1×208(12)-4
	862-1×208(12)-4
	861-2×206(9)-4
	861-3×206(9)-2
	861-4×208(12)-2

(2) Simon 계통 유지증식 및 교배

- Wisconsin 대학의 Dr. Simon에게서 분양받은 선충저항성 계통(표 4)을 (주)한중당근육종연구소의 망실에 2011년 9월 파종하였고, 같은 A-line과 B-line을 같은 이랑에 정식하여 한랭사로 격리시켜 A-line과 B-line을 증식시켰음. 유망한 A-line을 육성하기 위하여 사까다종묘의 Super Beta, Beta Rich, Gold Rich의 응성불임개체에 Simon 계통의 B-line과 C-line을 교배시켰음 (표 5). 이 계통들은 2012년 8월 말에 경남 고성군 마암면 당근 망실에 파종할 계획임.

표 4. Dr. Simon 종자 파종 내역

파종 No	Lot. No	Pedigree	Remarks
pot-1	148.2	2566A	BC5
pot-2	153.2	5280A	BC3
pot-3	255.2	9304A	
pot-4	342.2	5238A	
pot-5	344.2	6253A	BC3
pot-6	346.2	6333A	BC3
pot-7	347.2	6366A	BC3
pot-8	348.2	7254A	BC2
pot-9	349.2	7262A	BC5
pot-10	833.2	6274A	watch for restorer
pot-11	148.1	2566B	
pot-12	153.1	5280B	
pot-13	168.1	7322C	
pot-14	336.1	4002MjRB	
pot-15	342.1	5238B	
pot-16	346.1	6333B	
pot-17	347.1	6366B	
pot-18	719.1	7254B	
pot-19	725.1	3180C	'97
pot-20	833.1	6274B	watch for offtypes
pot-21	926.1	6253B	
pot-22	931.1	7262B	
pot-23	933.1	9304B	

표 5. Dr. Simon 계통을 이용한 교배조합

조합	조합내역	조합	조합내역
KH11-502×pot 11	SB×2566B	KH11-503×pot 18	BR×7254B
KH11-502×pot 12	SB×5280B	KH11-503×pot 19	BR×3180C
KH11-502×pot 13	SB×7322C	KH11-503×pot 20	BR×6274B
KH11-502×pot 14	SB×4002MjRB	KH11-503×pot 21	BR×6253B
KH11-502×pot 15	SB×5238B	KH11-503×pot 22	BR×7262B
KH11-502×pot 16	SB×6333B	KH11-503×pot 23	BR×9304B
KH11-502×pot 17	SB×6366B	KH11-504×pot 11	GR×2566B
KH11-502×pot 18	SB×7254B	KH11-504×pot 12	GR×5280B
KH11-502×pot 19	SB×3180C	KH11-504×pot 13	GR×7322C
KH11-502×pot 20	SB×6274B	KH11-504×pot 14	GR×4002MjRB
KH11-502×pot 21	SB×6253B	KH11-504×pot 15	GR×5238B
KH11-502×pot 22	SB×7262B	KH11-504×pot 16	GR×6333B
KH11-502×pot 23	SB×9304B	KH11-504×pot 17	GR×6366B
KH11-503×pot 11	BR×2566B	KH11-504×pot 18	GR×7254B
KH11-503×pot 12	BR×5280B	KH11-504×pot 19	GR×3180C
KH11-503×pot 13	BR×7322C	KH11-504×pot 20	GR×6274B
KH11-503×pot 14	BR×4002MjRB	KH11-504×pot 21	GR×6253B
KH11-503×pot 15	BR×5238B	KH11-504×pot 22	GR×7262B
KH11-503×pot 16	BR×6333B	KH11-504×pot 23	GR×9304B
KH11-503×pot 17	BR×6366B		



**나. 중국 수출용 및 국내용 당근 내선충 고품질 1대 잡종 품종 개발**

(1) F<sub>1</sub> 조합작성 및 F<sub>1</sub> 조합선발시험

○ 중국시험 및 국내시험

금년 생산한 **33조합** 중 일부 조합을 북경 동성종묘연구소 포장에 2012년 11월 말에 조사하고, 제주도 구좌읍에서 2012년 11월 말~2013년 2월 말까지 조사함.

(2) 선충저항성 검증

금년 생산한 **33조합**을 (주)한중당근육종연구소 농장에서 12월 말 저항성 조사를 실시함.

**다. 당근 계통 품질 분석**

(1) 기존계통의 품질분석

2012년 1월 제주도에서 전시한 기존 계통 79 계통을 carotene 및 당 분석(표 6.)

카로틴과 당함량이 높은 고품질계통들을 선충저항성 시험으로 선충저항성 고품질 계통 육성

2) 선충저항성 계통의 품질분석

금년에 육성된 선충저항성 계통들을 2012년 8월 말에 경남 고성군 마암리에 공시하여 2012년 12월 말~2013년 2월 품질분석 실시, 우수계통 선발.

**표 6. 기존 계통 carotene 및 당분석**

조합/계통	당도(Brix)	Carotene Conc.(µg/g)	조합/계통	당도(Brix)	Carotene Conc.(µg/g)
1	9.1	122.76	248(5)	9.3	166.67
8	8.2	106.88	249(9)	10.1	201.18
9	8.1	167.83	250(2)	9.3	104.12
12	6.7	107.76	251(1)	7.6	129.05
14	7.6	140.84	252(3)	10.3	143.31
19	7.7	118.13	253(3)	6.4	100.44
49	7.6	169.40	254(4)	8.8	145.34
62	7.2	119.85	255(4)	7.8	132.99
65	8.2	125.04	256(0)	8.4	219.02
69	9.4	264.43	401	8.4	246.34
71	8.4	126.55	402(1)	8.4	140.38
81	9.7	138.74	404	8.4	152.58
100	7.1	89.81	406	9.1	166.80
201(2)	11.4	81.70	409	9.3	129.64
202(8)	8.3	144.10	410(2)	8.9	185.06
203(5)	11.9	89.19	411	10.2	205.81
204(7)	8.2	67.78	412	8.8	187.47
205(3)	13.2	111.13	413	8.6	227.80
206(7)	8.6	138.71	423(1)	9.1	172.11
207(7)	14.4	220.61	424	10.9	261.62
208(12)	9.1	143.52	425	9.5	211.51
209(4)	11.6	114.28	427	10.8	275.35
210(7)	10.3	127.02	431	8.5	251.47
211(1)	7.6	93.47	441	8.9	308.87
212(2)	8.3	126.80	442	9.4	273.66
221(2)	8.1	73.95	443	9.6	253.38
222(1)	7.6	105.88	444	11.5	252.29
223(2)	6.6	98.94	445	10.6	175.22
224(1)	9.1	93.86	446	9.6	319.43
225(1)	7.3	90.82	447	9.4	69.01
226(3)	10.0	116.54	448	10.4	156.75
227(3)	10.3	129.20	449	9.3	297.47
228(2)	9.3	72.80	450	8.1	166.29
230(2)	11.1	133.91	451	9.3	202.27
241(2)	8.2	125.58	452	9.1	274.09
242(4)	9.0	151.21	453	9.5	243.56
243(2)	8.2	83.31	454	9.8	252.34
245(2)	10.1	159.54	455	8.9	224.85
246(3)	9.3	139.25	456	8.8	322.44
247(1)	9.7	107.27			

<2차년도>

가. 선충저항성 계통 육성

(1) 선충 저항성 검정

- 2012년 시험에서 육성한 선충저항성 계통들을 2012년 9월1일 소형 pot에 파종하여 뿌리혹선충의 두 종 *Meloidogyne incognita*와 *M. hapla* 선충을 각각 2012년 10월 4일과 10월 18일에 접종하여 선충저항성 계통들을 선발하였음(표 7, 8). *M. incognita*에 대한 저항성 계통 62계통과 감수성 3 계통으로 감수성 계통은 모두 응성불임계에 포함되어 있고 화분친은 모두 저항성으로 나타났음(표 1). *M. hapla*에 대한 저항성 25계통을 선정하여 교배모본으로 결정하였는데 이의 내용은 응성불임계가 13계통, 화분친이 12계통이었고 이들 *M. hapla* 저항성 계통 중 *M. incognita*에 대한 저항성을 동시에 갖는 계통이 응성불임계에서는 6계통(730, 739, 744, 756, 761, 762), 화분친에는 11계통(저항성 4 계통<816, 818, 831, 832>, 고도저항성 7계통<817, 824, 841, 845, 846, 847, 848>)으로 나타나 이 두 선충저항성 계통 육성 전망이 높다고 판단됨.

표 7. *M. incognita*에 대한 당근 계통(응성불임계<좌>와 화분친<우>)의 저항성 정도(RR)

파종 No	계통내역	RR	파종 No	계통내역	RR
KH12-In 711	SB×6253B	MR	KH12-In 801	35-152-1-1-1	R
716	BR×7322C	R	808	KT113-1-12-4	R
722	BR×3180C	R	810	75003-3-1-3-5	R
723	BR×6274B	R	811	75003-3-1-8-2	R
724	BR×6253B	R	816	09-456-5-1	R
725	BR×7262B	R	817	09-456-5-3	HR
726	BR×9304B	R	818	09-456-5-4	R
728	GR×5280B	R	823	유자-18-3	HR
730	GR×4002MjRB	R	824	유자-18-4	HR
736	GR×6274B	R	831	고성 상-1	R
739	GR×9304B	R	832	고성 상-2	R
743	SN415-1×35-152-1-2-5	MR	833	(01037×03116)-1	HR
744	SN415-1×KT113-1-12-5	HR	834	(01037×03116)-2	HR
746	(SB×홍복)-4×35-152-1-1-1	S	841	LF-1-1	HR
751	(SB×홍복)-4×HF3-1-9-3	S	842	Thum-3-1	HR
752	(SB×홍복)-4×HF3-1-9-4	S	843	Par-5-1	HR
753	(SB×홍복)-4×KT113-1-12-4	MR	844	BG-1-1	HR
756	(SB×홍복)-4×75003-3-1-7-2	R	845	BC-1-1	HR
760	(SB×홍복)-4×MH10-9-2-5	R	846	09-456-3-1-1	HR
761	(SB×홍복)-4×09-456-3-5-1	R	847	09-456-3-3-1	HR
762	(SB×홍복)-4×09-456-3-5-4	R	848	09-456-5-1	HR
851	2566A	HR	861	2566B	R
852	5280A	HR	862	5280B	HR
853	9304A	HR	863	7322C	MR
854	5238A	HR	864	4002MjRB	HR
855	6253A	HR	865	5238B	HR
856	6333A	HR	866	6333B	R
857	6366A	R	867	6366B	R
858	7254A	HR	868	7254B	HR
859	7262A	MR	869	3180C	HR
860	6274A	HR	870	6274B	HR
			871	6253B	HR
			872	7262B	HR
			873	9304B	HR

\* HR: highly resistant, R: resistant, MR: moderately resistant, S: susceptible

표 8. *M. hapla*에 저항성 계통으로 선발된 교배모본(좌: 응성불임계, 우: 화분친)의 저항성 정도(RR)

파종 No	계통내역	RR	파종 No	계통내역	RR
KH12-Ha 729	GR×7322C	R	806	HF3-9-3	R
730	GR×4002MjRB	R	816	09-456-5-1	R
731	GR×5238B	R	817	09-456-5-3	R
732	GR×6333B	R	818	09-456-5-4	R
739	GR×9304B	R	824	유자-18-4	R
743	SN415-1×35-152-1-2-5	R			
744	SN415-1×KT113-1-12-5	R	831	고성♂-1	R
751	(SB×홍복)×HF3-1-9-3	R	832	고성♂-2	R
755	(SB×홍복)×75003-3-1-3-5	R			
756	(SB×홍복)×75003-3-1-7-2	R	841	LF-1-1	R
759	(SB×홍복)×MH10-8-0-1	R	845	BC-1-1	R
761	(SB×홍복)×09-456-3-5-1	R	846	09-456-3-1-1	R
762	(SB×홍복)×09-456-3-5-4	R	847	09-456-3-3-1	R
			848	09-456-5-1	R

\* 회색바탕 계통들은 *M. incognita*에 대해서도 저항성 또는 고도저항성을 나타냄.

\* R: resistant, S: susceptible

## (2) 교배(crossing) 및 자식(selfing)에 의한 후세대 선충저항성 계통 육성

- 표 1, 2에서 정리된 계통의 당근 유묘를 뿌리혹선충 저항성 검정이 끝난 직후 각각 금호 육성 망실에 정식하여 교배모본으로 이용하였음.
- 이들의 교배(crossing)를 위한 매개충으로는 파리(meat fly)를 사용하였으며 부계의 절화를 모계의 꽃에 옮겨놓고 망을 씌운 후 그 안에 개체 당 15마리의 매개충을 넣어두어 자연적으로 교배가 이루어지도록 조치하였고 자식(selfing)은 자체의 꽃에 망을 씌운 후 매개충을 넣어두어 수정이 이루어지도록 하였음(그림 1).
- 그 결과 *M. incognita*에 대한 저항성으로는 F<sub>1</sub> 교배계 58계통(표 9), 자식계 57계통(표 10) 등 115계통이 성공적으로 육성되었으며. *M. hapla*에 대한 저항성으로는 F<sub>1</sub> 교배계 30계통, 자식계 28계통 등 58계통이 성공적으로 육성되었음(표 11).
- 이들 당근계통으로부터 종자를 채취하여 현재 보관 중에 있으며 8월말 파종하여 계통별 생육 조사와 선충저항성 검정용으로 사용함.

표 9. *M. incognita*에 대한 저항성 계통 육성 내역(교배조합)

조제번호	조합	조합내역	계통구분
13-1001	(In KH12) 716-1×823-2	(BR×7322C)-1×유자-18-3-2	A×C
2	716-2 × 831-3	(BR×7322C)-2×고성σ-1-3	"
3	716-3 × 808-1	(BR×7322C)-3×KT113-1-12-4-1	"
4	716-3 × 810-5	(BR×7322C)-3×75003-3-1-3-5-5	"
5	722-1 × 801-5	(BR×3180C)-1×35-152-1-1-1-5	"
6	722-1 × 869-5	(BR×3180C)-1×3180C-5	A×B
7	722-3 × 801-1	(BR×3180C)-3×35-152-1-1-1-1	A×C
8	722-3 × 810-5	(BR×3180C)-3×75003-3-1-3-5-5	"
9	723-1 × 801-5	(BR×6274B)-1×35-152-1-1-1-5	"
10	723-1 × 808-1	(BR×6274B)-1×KT113-1-12-4-1	"
11	723-5 × 870-2	(BR×6274B)-5×6274B-2	A×B
12	724-1 × 801-5	(BR×6253B)-1×35-152-1-1-1-5	A×C
13	724-1 × 871-2	(BR×6253B)-1×6253B-2	A×B
14	725-4 × 801-5	(BR×7262B)-4×35-152-1-1-1-5	A×C
15	725-4 × 810-5	(BR×7262B)-4×75003-3-1-3-5-5	"
16	726-3 × 801-5	(BR×9304B)-3×35-152-1-1-1-5	"
17	726-3 × 810-5	(BR×9304B)-3×75003-3-1-3-5-5	"
18	726-3 × 811-1	(BR×9304B)-3×75003-3-1-8-2-1	"
19	726-3 × 873-3	(BR×9304B)-3×9304B-3	A×B
20	726-5 × 873-1	(BR×9304B)-5×9304B-1	A×B
21	728-1 × 831-4	(GR×5280B)-1×고성σ-1-4	A×C
22	728-2 × 862-1	(GR×5280B)-2×5280B-1	A×B
23	728-3 × 810-5	(GR×5280B)-3×75003-3-1-3-5-5	A×C
24	728-3 × 817-1	(GR×5280B)-3×09-456-5-3-1	"
25	730-2 × 801-2	(GR×4002MjRB)-2×35-152-1-1-1-2	"
26	730-5 × 864-1	(GR×4002MjRB)-5×4002MjRB-1	A×B
27	736-5 × 801-4	(GR×6274B)-5×35-152-1-1-1-4	A×C
28	743-3 × 810-5	(SN415×35-152)-3×75003-3-1-3-5-5	"
29	743-4 × 801-2	(SN415×35-152)-4×35-152-1-1-1-2	A×B
30	743-4 × 801-4	(SN415×35-152)-4×35-152-1-1-1-4	A×B
31	743-4 × 811-1	(SN415×35-152)-4×75003-3-1-8-2-1	A×C
32	746-2 × 801-5	{{SB×홍복}×34-152}-2×35-152-1-1-1-5	A×B
33	746-4 × 841-2	{{SB×홍복}×34-152}-4×LF-1-1-2	A×C
34	751-1 × 801-5	{{SB×홍복}×HF3}-1×35-152-1-1-1-5	"
35	752-4 × 801-4	{{SB×홍복}×HF3}-4×35-152-1-1-1-4	"
36	756-1 × 801-5	{{SB×홍복}×75003}-1×15-152-1-1-1-5	"
37	756-2 × 810-5	{{SB×홍복}×75003}-2×75003-3-1-3-5-5	A×B
38	756-5 × 816-2	{{SB×홍복}×75003}-5×09-456-1-2	A×C
39	760-1 × 801-4	{{SB×홍복}×MH10-9}-1×35-152-1-1-1-4	"
40	760-1 × 811-1	{{SB×홍복}×MH10-9}-1×75003-3-1-8-2-1	"
41	760-1 × 816-2	{{SB×홍복}×MH10-9}-1×09-456-1-2	"
42	760-1 × 863-2	{{SB×홍복}×MH10-9}-1×7322C-2	"
43	760-5 × 864-4	{{SB×홍복}×MH10-9}-5×7322C-4	"
13-1051	(In KH12) 851-4 × 865-2	2566A-4×5238B-2	A×C
2	852-1 × 867-5	5280A-1×6366B-5	A×C
3	852-5 × 862-3	5280A-5×5280B-3	A×B
4	853-4 × 863-2	9304A-4×7322C-2	A×C
5	854-4 × 865-2	5238A-4×5238B-2	A×B
6	854-5 × 865-2	5238A-5×5238B-2	A×B
7	856-4 × 866-5	6333A-4×6333B-5	A×B
8	856-5 × 873-2	6333A-5×9304B-2	A×C
9	858-1 × 873-1	7254A-1×9304B-1	A×C
60	858-2 × 868-4	7254A-2×7254B-2	A×B
1	858-3 × 872-5	7254A-3×7262B-5	A×C
2	859-1 × 872-2	7262A-1×7262B-2	A×B
3	859-3 × 872-3	7262A-3×7262B-3	A×B
4	859-3 × 873-5	7262A-3×9304B-5	A×C
5	859-4 × 872-1	7262A-4×7262B-1	A×B

표 10. *M. incognita*에 대한 저항성 계통 육성 내역(자식계통)

조제번호	계통내역	조합내역	계통구분
13-1201	In KH12-801-1S	35-152-1-1-1-1	C-line
2	801-2S	35-152-1-1-1-2	"
3	801-4S	35-152-1-1-1-4	"
4	801-5S	35-152-1-1-1-5	"
5	808-1S	KT113-1-12-4-1	"
6	810-5S	75003-3-1-3-5-5	"
7	811-1S	75003-3-1-8-2-1	"
8	816-2S	09-456-5-1-2	"
9	817-5S	09-456-5-3-5	"
10	823-4S	유자-18-3-4	"
1	823-5S	유자-18-3-5	"
2	824-4S	유자-18-4-4	"
3	824-5S	유자-18-4-5	"
4	831-3S	고성♂-1-3	"
5	832-1S	고성♂-2-1	"
6	832-4S	고성♂-2-4	"
7	832-5S	고성♂-2-5	"
8	833-3S	(01037×03116)-1-3	"
9	834-1S	(01037×03116)-2-1	"
20	834-2S	(01037×03116)-2-2	"
1	834-3S	(01037×03116)-2-3	"
2	834-4S	(01037×03116)-2-4	"
3	834-5S	(01037×03116)-2-5	"
4	841-2S	LF-1-1-2	"
5	841-4S	LF-1-1-4	"
6	841-5S	LF-1-1-5	"
7	845-2S	BC-1-1-2	"
8	845-3S	BC-1-1-3	"
13-1231	In KH12-863-2S	7322C-2	A×C
2	864-1S	4002MjRB-1	A×C
3	864-2S	4002MjRB-2	A×B
4	864-3S	4002MjRB-3	A×C
5	864-4S	4002MjRB-4	A×B
6	864-5S	4002MjRB-5	A×B
7	865-2S	5238B-2	B
8	865-3S	5238B-3	"
9	865-5S	5238B-5	"
40	866-2S	6333B-2	"
1	866-3S	6333B-3	"
2	866-4S	6333B-4	"
3	866-5S	6333B-5	"
4	867-5S	6366B-5	"
5	868-2S	7254B-2	"
6	868-4S	7254B-4	"
7	868-5S	7254B-5	"
8	869-2S	3180C-2	C
9	869-4S	3180C-4	"
50	869-5S	3180C-5	"
1	872-1S	7262B-1	B
2	872-2S	7262B-2	"
3	872-3S	7262B-3	"
4	872-4S	7262B-4	"
5	872-5S	7262B-5	"
6	873-1S	9304B-1	"
7	873-2S	9304B-2	"
8	873-3S	9304B-3	"
9	873-5S	9304B-5	"

표 11. *M. hapla* 저항성 계통 육성 내역(상부: F1 조합; 하부(회색바탕: 자식계통)

조제번호	조합	조합내역	계통 구분
13-1101	(Ha KH12) 730-2× 817-4	(GR×4002MjRB)-2×09-456-5-2-4	A×C
2	730-2 × 818-5	(GR×4002MjRB)-2×09-456-5-4-5	"
3	730-2 × 824-2	(GR×4002MjRB)-2×유자-18-4-2	"
4	730-4 × 816-3	(GR×4002MjRB)-4×09-456-5-1-3	"
5	730-4 × 817-2	(GR×4002MjRB)-4×09-456-5-2-2	"
6	731-3 × 817-2	(GR×5238B)-3×09-456-5-2-2	"
7	732-2 × 817-2	(GR×6333B)-2×09-456-5-2-2	"
8	732-2 × 866-2	(GR×6333B)-2×6333B-2	A×B
9	732-5 × 818-4	(GR×6333B)-5×09-456-5-4-4	A×C
10	732-5 × 824-2	(GR×6333B)-5×유자-18-4-2	"
11	739-4 × 818-5	(GR×9304B)-4×09-456-5-4-5	"
12	739-5 × 817-2	(GR×9304B)-5×09-456-5-2-2	"
13	744-5 × 817-2	(SN415×KT113)-5×09-456-5-2-2	"
14	744-5 × 818-3	(SN415×KT113)-5×09-456-5-4-3	"
15	744-5 × 845-1	(SN415×KT113)-5×BC-1-1-1	"
16	(In KH12) 751-2 × 808-1	{{SB×홍복}×HF3}-2×KT113-1-12-4-1	A×B
17	(Ha KH12) 751-2 × 817-2	{{SB×홍복}×HF3}-2×09-456-5-2-2	A×C
18	751-3 × 816-3	{{SB×홍복}×HF3}-3×09-456-5-1-3	"
19	751-5 × 816-3	{{SB×홍복}×HF3}-5×09-456-5-1-3	"
20	751-5 × 817-2	{{SB×홍복}×HF3}-5×09-456-5-2-2	"
21	751-5 × 818-4	{{SB×홍복}×HF3}-5×09-456-5-4-4	"
22	759-3 × 818-3	{{SB×홍복}×MH10-8}-3×09-456-5-4-3	"
23	(In KH12) 759-5 × 808-1	{{SB×홍복}×MH10-8}-5×KT113-1-12-4-1	"
24	(Ha KH12) 761-4 × 816-3	{{SB×홍복}×09-456}-4×09-456-5-1-3	A×B
25	761-4 × 818-3	{{SB×홍복}×09-456}-4×09-456-5-4-3	A×C
26	762-3 × 816-3	{{SB×홍복}×09-456}-3×09-456-5-1-3	"
27	762-4 × 817-2	{{SB×홍복}×09-456}-4×09-456-5-2-2	"
28	762-4 × 818-2	{{SB×홍복}×09-456}-4×09-456-5-4-2	A×B
29	(In KH12) 762-5 × 808-1	{{SB×홍복}×09-456}-5×KT113-1-12-4-1	A×C
30	(Ha KH12) 762-5 × 818-4	{{SB×홍복}×09-456}-5×09-456-5-4-4	A×B
13-1261	Ha KH12-808-2S	KT113-1-12-4-2	C-line
2	816-3S	09-456-5-1-3	"
3	817-2S	09-456-5-3-2	"
4	817-4S	09-456-5-3-4	"
5	818-2S	09-456-5-4-2	"
6	818-3S	09-456-5-4-3	"
7	818-4S	09-456-5-4-4	"
8	818-5S	09-456-5-4-5	"
9	824-2S	유자-18-4-2	"
70	824-4S	유자-18-4-4	"
71	824-5S	유자-18-4-5	"
72	831-2S	고성♂-1-2	"
73	831-3S	고성♂-1-3	"
74	831-4S	고성♂-1-4	"
75	832-5S	고성♂-2-5	"
76	841-2S	LF-1-1-2	"
77	841-3S	LF-1-1-3	"
78	845-1S	BC-1-1-1	"
79	845-3S	BC-1-1-3	"
80	846-1S	09-456-3-1-1-1	"
13-1281	846-2S	09-456-3-1-1-2	"
2	846-4S	09-456-3-1-1-4	"
3	846-5S	09-456-3-1-1-5	"
4	847-2S	09-456-3-3-1-2	"
5	847-3S	09-456-3-3-1-3	"
6	847-5S	09-456-3-3-1-5	"
7	848-3S	09-456-5-1-3	"
8	848-4S	09-456-5-1-4	"



**(3) 선충저항성 계통의 포장성능검정**

- 2012년 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통(40 교배조합, 57자식조합; 총97조합)을 포장성능검정을 위하여 2012.8.29. 경남 고성 마암면 당근 육성 망실에 파종하여 재배한 후 2013년 1월 중순에 수확하여 특성조사를 실시하였음(표 12 참조).
- 그 결과 각 선충별 저항성 계통에서 뿌리혹형성이 관찰되지 않았으나 이는 포장의 뿌리혹 선충 오염도가 낮기 때문인 것으로 생각됨.
- 계통별 뿌리 생육은 근형 특성에 따라 그 특성에 유의적으로 벗어나는 계통이 발견되지 않아 정상적인 생육이 이루어졌다고 판단되며, 이 중 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대해 동시에 저항성을 갖는 계통들로 6계통(KS12-730, KS12-817, KS12-824, KS12-831, KS12-846, KS12-848)은 근형이 원통형으로 유럽에서 많이 재배되고 있는 Nantes type이며, 5계통(KS12-756, KS12-761, KS12-816, KS12-841, KS12-845)은 굵은 원추형으로 한국, 일본, 중국 등 아시아 지역에서 주로 재배되고 있는 Kuroda type이며, 3계통(KS12-762, KS12-808, KS12-818)은 근형이 가늘고 긴 세장형으로 미국에서 많이 재배되고 있는 Emperor type으로 나타남(그림 2). 이들 14계통들은 *M. incognita*와 *M. hapla*에 모두 저항성이고 근형이 다양하여 앞으로 여러 형태의 선충저항성 품종개발에 유용한 육성재료로 활용될 수 있을 것으로 전망된다.
- 2013년 육성한 선충저항성 계통들(표 3, 4, 5)은 2013년 7월 30일 제주시 구좌읍 농가포장에 파종할 계획이고, 북경 동성종묘 연구소 포장에는 2013년 8월 2일 파종할 계획이다.

표 12. 경남 고성에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 계통 List

파종no	조제no	생산No	조합내역
KS12-701	12-701	502 × pot 11	SB×2566B
2	2	502 × pot 12	SB×5280B
3	3	502 × pot 13	SB×7322C
4	4	502 × pot 14	SB×4002MjRB
5	5	502 × pot 15	SB×5238B
6	6	502 × pot 16	SB×6333B
7	7	502 × pot 17	SB×6366B
8	8	502 × pot 18	SB×7254B
9	9	502 × pot 19	SB×3180C
10	10	502 × pot 20	SB×6274B
11	11	502 × pot 21	SB×6253B
12	12	502 × pot 22	SB×7262B
13	13	502 × pot 23	SB×9304B
14	14	503 × pot 11	BR×2566B
15	15	503 × pot 12	BR×5280B
16	16	503 × pot 13	BR×7322C
17	17	503 × pot 14	BR×4002MjRB
18	18	503 × pot 15	BR×5238B
19	19	503 × pot 16	BR×6333B
20	20	503 × pot 17	BR×6366B
21	21	503 × pot 18	BR×7254B
22	22	503 × pot 19	BR×3180C
23	23	503 × pot 20	BR×6274B
24	24	503 × pot 21	BR×6253B
25	25	503 × pot 22	BR×7262B
26	26	503 × pot 23	BR×9304B

표 12. 경남 고성에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 계통 List (계속)

과중no	조제no	생산 No	조합내역
KS12-727	12-27	504 × pot 11	GR×2566B
28	28	504 × pot 12	GR×5280B
29	29	504 × pot 13	GR×7322C
30	30	504 × pot 14	GR×4002MjRB
31	31	504 × pot 15	GR×5238B
32	32	504 × pot 16	GR×6333B
33	33	504 × pot 17	GR×6366B
34	34	504 × pot 18	GR×7254B
35	35	504 × pot 19	GR×3180C
36	36	504 × pot 20	GR×6274B
37	37	504 × pot 21	GR×6253B
38	38	504 × pot 22	GR×7262B
39	39	504 × pot 23	GR×9304B
741	741	P11-407-1 × P11-204(10) - ③	SN415×34-151-1-10-3
42	42	P11-407-1 × P11-208(12) - ⑤	SN415×KT113-1-12-5
43	43	P11-407-5 × P11-205(2) - ⑤	SN415×35-152-1-2-5
44	44	P11-407-5 × P11-208(12) - ⑤	SN415×KT113-1-1-2-12-5
45	45	P11-432-4 × P11-204(10) - ③	(SB×홍복)-4×34-151-1-10-3
46	46	P11-432-4 × P11-205(1) - ①	(SB×홍복)-4×35-152-1-1-1
47	47	P11-432-4 × P11-205(2) - ④	(SB×홍복)-4×35-152-1-2-4
48	48	P11-432-4 × P11-205(2) - ⑤	(SB×홍복)-4×35-152-1-2-5
49	49	P11-432-4 × P11-206(2) - ①	(SB×홍복)-4×HF3-1-2-1
50	50	P11-432-4 × P11-206(9) - ②	(SB×홍복)-4×HF3-1-9-2
51	51	P11-432-4 × P11-206(9) - ③	(SB×홍복)-4×HF3-1-9-3
52	52	P11-432-4 × P11-206(9) - ④	(SB×홍복)-4×HF3-1-9-4
53	53	P11-432-4 × P11-208(12) - ④	(SB×홍복)-4×KT113-1-12-4
54	54	P11-432-4 × P11-208(12) - ⑤	(SB×홍복)-4×KT113-1-12-5
55	55	P11-432-4 × P11-209(3) - ⑤	(SB×홍복)-4×75003-3-1-3-5
56	56	P11-432-4 × P11-209(7) - ②	(SB×홍복)-4×75003-3-1-7-2
57	57	P11-432-4 × P11-209(8) - ②	(SB×홍복)-4×75003-3-1-8-2
58	58	P11-432-4 × P11-244(4) - ⑤	(SB×홍복)-4×MH10-7-4-5
59	59	P11-432-4 × P11-245(0) - ①	(SB×홍복)-4×MH10-8-0-1
60	60	P11-432-4 × P11-246(2)- ⑤	(SB×홍복)-4×MH10-9-2-5
61	61	P11-432-4 × P11-1214(5) - ①	(SB×홍복)-4×09-456-3-5-1
62	62	P11-432-4 × P11-1214(5) - ④	(SB×홍복)-4×09-456-3-5-4
KS12-801	12-801	205(1)-1S	35-152-1-1-1
2	2	205(2)-2S	35-152-1-2-2
3	3	206(2)-1S	HF3-1-2-1
4	4	206(9)-1S	HF3-1-9-1
5	5	206(9)-2S	HF3-1-9-2
6	6	206(9)-3S	HF3-1-9-3
7	7	206(9)-4S	HF3-1-9-4
8	8	208(12)-4S	KT113-1-12-4
9	9	209(3)-1S	75003-3-3-1-3
10	10	209(3)-5S	75003-3-1-3-5
11	11	209(8)-2S	75003-3-1-8-2
12	12	242(4)-4S	MH10-3-4-4
13	13	244(4)-5S	MH10-7-4-5
14	14	245(0)-1S	MH10-8-0-1

표 12. 경남 고성에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 계통 List (계속)

과종no	조제no	생산 No	조합내역
KS12-815	12-815	246(2)-5S	
16	16	1214(5)-1S	09-456-5-1
17	17	1214(5)-3S	09-456-5-3
18	18	1214(5)-4S	09-456-5-4
821	821	KH11-298-1 S	유자18-1
22	22	KH11-298-2 S	유자18-2
23	23	KH11-298-3 S	유자18-3
24	24	KH11-298-4 S	유자18-4
831	831	J11-818-1 S	고성♂-1
32	32	J11-818-2 S	고성♂-2
33	33	J11-821-1 S	(01037×03116)-1
34	34	J11-821-1 S	(01037×03116)-2
841	841	KH11-1202(1) -1 S	LF-1-1
42	42	KH11-1205(3) -1 S	Thum-3-1
43	43	KH11-1209(5) -1 S	Par-5-1
44	44	KH11-1210(1) -1 S	BG-1-1
45	45	KH11-1211(1) -1 S	BC-1-1
46	46	KH11-1214(1) -1 S	09-456-3-1-1
47	47	KH11-1214(3) -1 S	09-456-3-3-1
48	48	KH11-1215(5) -1 S	09-456-5-1
KS12-851	851	pot 1	2566A(Simon 계통)
52	52	pot 2	5280A "
53	53	pot 3	9304A "
54	54	pot 4	5238A "
55	55	pot 5	6253A "
56	56	pot 6	6333A "
57	57	pot 7	6366A "
58	58	pot 8	7254A "
59	59	pot 9	7262A "
60	60	pot 10	6274A "
61	61	pot 11	2566B "
62	62	pot 12	5280B "
63	63	pot 13	7322C "
64	64	pot 14	4002MjRB "
65	65	pot 15	5238B "
66	66	pot 16	6333B "
67	67	pot 17	6366B "
68	68	pot 18	7254B "
69	69	pot 19	3180C "
70	70	pot 20	6274B "
71	71	pot 21	6253B "
72	72	pot 22	7262B "
73	73	pot 23	9304B "



<그림 2. *M. incognita*와 *M. hapla*에 대해 동시에 저항성을 갖는 계통들의 근형과 생육정도. 사진 1~6(KS12-730, KS12-817, KS12-824, KS12-831, KS12-846, KS12-848): 원통형 Nantes type. 사진 7~11(KS12-756, KS12-761, KS12-816, KS12-841, KS12-845): 굵은 원추형 Kuroda type. 사진 12~14(KS12-762, KS12-808, KS12-818): 가늘고 긴 세장형의 Emperor type.>

### (3) 선충저항성 계통의 품질 조사

- 2012년 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통을 포장성능검정을 위하여 2012.8.29. 경남 고성 마암면 당근 육성 망실에 파종하여 재배한 후 2013년 1월 중순에 수확하여 당근 뿌리의 당도와 캐로틴(carotene) 함량을 표준 방법에 의해 분석하였음.(표 13)
- 그 결과 조사한 선충저항성 86 계통 중 carotene 함량이 200 ppm 이상이 61계통으로 이 중 *M. incognita*에 저항성을 띄는 계통은 40계통, *M. hapla*에 저항성을 띄는 계통은 17계통이고 이 두 선충에 대해 동시에 저항성을 띄는 계통은 15 계통으로 이들 중 KS12-730, KS12-808, KS12-816, KS12-817, KS12-818, KS12-824, KS12-841, KS12-845, KS12-846 등 9계통은 포장성능검정에서 언급한 바와 당근 품종육성을 위한 우수 유전자원으로서 가치가 있는 계통들임.
- 61 계통의 당도의 평균과 표준편차는  $9.50 \pm 1.26$  brix였으며, carotene 함량의 평균과 표준편차는  $333.0 \pm 213.8$  ppm으로 나타났음. 그 중 *M. incognita*와 *M. hapla*에 동시 저항성인 계통의 당도와 carotene 함량의 평균과 표준편차는 각각  $9.22 \pm 0.86$  brix 및  $330.0 \pm 199.6$  ppm으로 나타나 당도와 carotene 함량에 있어서 다른 계통들과 유의적인 차이가 나타나지 않아 이 두 선충에 대한 저항성 계통을 육성할 경우 당근의 품질에 있어서 별다른 영향이 없을 것이고 또 선충이 오염된 포장에서도 선충의 피해에 의한 질적인 저하가 나타나지 않아 일반 계통보다 우수한 품질을 유지할 수 있을 것임.

표 13. 경남 고성 월동시험 선충저항성 계통의 당도와 carotene 함량 분석 결과

품종	계통	당 도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )	RR	
				Mi	Mh
KS12-701	SB×2566B	7.0	1152.97	MR	S
KS12-704	SB×4002MjRB	10.1	260.46	S	S
KS12-705	SB×5238B	9.7	287.68	poor growth	S
KS12-714	BR×2566B	8.5	362.50	poor growth	S
KS12-715	BR×5280B	9.8	273.36	S	S
KS12-718	BR×5238B	9.3	262.14	S	S
KS12-720	BR×6366B	8.6	491.21	S	S
KS12-727	GR × 2566B	10.7	214.01	S	S
KS12-729	" × 7322C	8.7	278.93	R	R
* KS12-730	" × 4002MjRB	8.5	257.74	R	R
KS12-732	" × 6333B	8.1	666.11	S	R
KS12-733	" × 6366B	9.4	237.32	S	S
KS12-735	" × 3180C	8.3	222.61	S	S
KS12-736	" × 6274B	8.9	234.65	R	S
KS12-753	(SB × 홍복)-4 × KT113-1-12-4	8.3	318.88	S	S
KS12-755	" × 75003-3-1-3-5	7.6	256.12	MR	R
KS12-756	" × 75003-3-1-7-2	7.7	208.63	R	R
KS12-759	" × MH10-8-0-1	8.9	200.00	S	R
KS12-806	HF3-1-9-3	9.0	240.73	MR	S
KS12-807	HF3-1-9-4	8.7	205.60	S	S
* KS12-808	KT113-1-12-4	9.3	798.04	R	R
KS12-810	75003-3-1-3-5	8.5	847.20	R	S
KS12-811	75003-3-1-8-2	8.6	305.90	S	S
KS12-814	MH10-8-0-1	9.1	215.09	MR	S
* KS12-816	09-456-5-1	8.7	208.07	R	R
* KS12-817	09-456-5-3	8.9	207.22	HR	HR
* KS12-818	09-456-5-4	11.0	508.01	R	HR
KS12-823	유자-18-3	9.1	208.52	HR	S
* KS12-824	유자-18-4	8.7	201.99	HR	R
KS12-831	고성♂-1	8.8	237.19	R	R
KS12-832	고성♂-2	9.4	219.94	R	R
KS12-833	(01037 × 03116)-1	9.1	205.72	HR	S
KS12-834	(01037 × 03116)-1	9.9	220.64	HR	S
* KS12-841	LF-1-1	10.3	272.83	HR	R
KS12-843	Par-5-1	10.6	363.14	HR	S
KS12-844	BG-1-1	9.7	422.53	HR	S
* KS12-845	BC-1-1	9.0	295.35	HR	HR
* KS12-846	09-456-3-1-1	8.6	220.70	R	HR
KS12-847	09-456-3-3-1	8.5	245.43	HR	HR
KS12-851	2566A	9.8	226.26	R	No Data
KS12-852	5280A	8.7	224.39	HR	"
KS12-853	9304A	8.9	202.57	HR	"
KS12-854	5238A	10.7	222.28	HR	"
KS12-855	6253A	10.4	963.76	R	"
KS12-856	6333A	9.3	251.09	HR	"
KS12-857	6366A	8.4	1088.02	poor growth	"
KS12-858	7254A	9.5	342.50	HR	"
KS12-859	7262A	8.8	376.65	S	"
KS12-860	6274A	11.8	326.12	R	"
KS12-861	2566B	12.4	202.46	S	"
KS12-862	5280B	12.4	377.91	S	"
KS12-863	7322C	10.6	374.39	S	"
KS12-864	4002MjRB	10.2	225.18	HR	"
KS12-865	5238B	13.3	212.00	S	"
KS12-866	6333B	10.8	243.06	MR	"
KS12-867	6366B	12.8	240.98	S	"
KS12-868	7254B	11.3	244.48	HR	"
KS12-869	3180C	10.0	244.95	R	"
KS12-871	6253B	8.8	385.28	R	"
KS12-872	7262B	9.3	284.93	R	"
KS12-873	9304B	9.9	220.63	HR	"
평균		9.50	333.0		
표준편차		1.26	213.8		

\* 회색바탕은 *M. incognita*와 *M. hapla*에 동시에 저항성을 나타내는 계통임.

\* RR: resistance rating to Mi(*M. incognita*) and Mh(*M. hapla*)



## 나. 중국 수출용 및 국내용 당근 내선충 고품질 1대 잡종 품종 개발

### (1) 당근 계통의 우수조합 선발

#### (가) 국내시험

##### ① 가을 및 월동당근시험

- 시험장소: 제주시 구좌읍 농가포장

- 파종 : 2012.8.1.

- 공시계통: F<sub>1</sub> 조합; 40조합, A-line; 249 계통, 대비종; 15품종

- 결과: 제주도 월동시험은 작년에 유래 없는 3차례에 걸친 태풍피해로 정상적인 생육이 이루어지지 않아 우수조합을 선발할 수 없었음.

##### ② 봄 당근 터널시험

- 시험장소 : 경남 양산시 하북면

- 파종 : 2013.1.29.

= 공시계통: F<sub>1</sub> 조합; 40조합, 대비종; 25품종

- 결과: 2013년 경남 양산 봄당근 터널시험에서 15 조합이 우수조합으로 선발되었으며 이들의 특성은 표 14에서 나타난 바와 같다. 이들의 생육 특성으로 일부 조합에서 추대가 5~7로 높아 장일 조건에서 꽃대가 빨리 나와 뿌리 생육에 지장이 초래되는 경우를 제외하면 뿌리등급에서 대부분 3.5 이상으로 우량등급을 지니고 있으며 그 중에는 최상의 등급인 4.5를 받은 조합도 있다.

- 우수 조합 중 YS13-3은 극조생으로 하우스 재배에 적합할 것으로 판단되며, YS13-1, YS13-5 및 YS13-14는 조생으로 봄 하우스 및 터널재배에 적합할 것으로 판단된다(그림 3). YS13-1은 금년에 경남 고성에서 하우스 채종을 하였고(예상 채종량 100~120kg), YS13-3과 YS13-5는 금호 망실에서 시교생산을 하였다. YS13-14는 내년에 시교생산 계획이다.



<그림 3. 봄당근 터널 재배에서 선정된 우수조합 중 봄 하우스 및 터널재배에 적합한 조합>

(1): YS13-3(극조생), (2, 3, 4): YS13-1, YS13-5, YS13-14(조생)



표 14. 봄 당근 터널시험에서 생산된 우수조합(2013.6.18. 양산)

과종 no	조제 no	조합내역	생육 특성			
			반복	일반생육	뿌리길이	뿌리등급
YS13-1	12-1	(GRxKT113) x HF4	1RP	지상부 강	中長	4.0
			2RP		中長	4.0
2	2	(SBxKT113) x 75003-3	1RP	근피, 육색 우	中長	4.0
			2RP		中長	3.5
3	3	(GRxKT113) x “	1RP	극조생	短太	4.0
			2RP		中短	4.0
4	4	(GRx31-146) x SKT114	1RP	추대 5	中長	4.0
			2RP	추대 7	中長	3.5
5	5	(SBX32-147)x “	1RP	추대 5	中長太	3.5
			2RP		中長	4.0
6	6	(SBxKT113)x “	1RP	추대 7	中원추	3.5~4.0
			2RP	추대 1	中長	4.5
7	7	(BRxKT113)x “	1RP		中長	4.0
			2RP		中	
10	10	(GRx33-150)x 33-150	1RP		中원추	4.0
			2RP		中短	3.5
13	13	(SBx35-152)x 34-151	1RP		長	4.0
			2RP		中短	3.5
14	14	(GRxKT113)x “	1RP		中長	3.5
			2RP	추대 1, 비대 극우	中	4.5
19	19	(BRx32-147)x 32-147	1RP		中원추	4.0
			2RP		中	3.5
23	23	(GRxHF3)x08대-34	1RP		中원추	4.0
			2RP		中太	3.0
25	25	(SBx31-146)x08대-31	1RP		中長	4.0
			2RP		中長	3.5
32	32	(SBxDKT)xDKT	1RP		中	3.5
			2RP	순도 우		3.5~4.0
39	39	(SBx32-147)xHF3	1RP		中	4.0
			2RP			
YS13-502		슈퍼베타	1RP		中長	4.0
503		베타리치	1RP		中	3.5
504		골드리치	1RP	추대 2	中短	4.0
510		세농415	1RP	추대 1	中長	4.0
515		애홍	1RP	추대 2	中長	4.0
529		후레쉬B	1RP	추대 7	中長	4.0
530		드림7	1RP	추대 1	中	4.0
532		홍일품(마압)	1RP		中長	4.0
534		PK-1(10-9)	1RP		中長	4.0
535		PK-2(10-46)	1RP		中	3.5
536		PK-3(10-50)	1RP		中短	3.0

\* 회색바탕은 조생 또는 극조생으로 봄 하우스 및 터널 재배에 적합한 조합

(나) 중국 시험

① 가을당근 시험

- 시험장소: 북경 동성종묘 연구소 포장
- 파종: 2012.8.3.
- 공시조합: 40조합, 15품종
- 결과: 2012년 북경 동성종묘 연구소 포장에서 수행한 가을당근시험에서는 파종시기가 늦어 당근 뿌리가 충분하게 비대되지 않았다. 따라서 2013년 봄당근 시험성적을 근거로 우수조합을 선발하여 시교생산을 할 계획임.

② 봄당근 터널시험

- 시험장소: 북경 동성종묘 연구소 포장
- 파종: 1차; 2013.3.1., 2차 2013.3.26.
- 공시조합 : 37조합 24품종
- 결과: 표 15는 동성종묘 연구소에서 수행한 봄당근 터널시험에서 선발된 우수조합의 특성이다. 이들 중에서 CA-1, CA-3, CA-18, CA-20(PK-2), CA-21, CA-29 등 6조합은 2013년 양산 봄당근 터널시험에서 우수했던 조합이다(그림 4). 2013년 양산 봄당근 터널시험 (표 14)과 2013년 북경 동성종묘 봄당근 터널시험(표 15)에서 선발된 우수조합들은 금년 가을에 선충 접종 실험을 통해 선충저항성 정도를 참고하여 5~10조합을 시교생산을 할 계획이다.



<그림 4. 중국 봄당근 터널 재배에서 선정된 우수조합(CA-1, CA-3, CA-18, CA-20, CA-21, CA-29)으로 2013년 양산 봄당근 터널시험에서 선발된 우수조합의 특성을 보임>

표 15. 봄당근 터널시험 우수조합(2013.7. 북경 동성)

과종No	품종명	엽경	근장	근형	三紅	균일도	근미맺힘	비고
CA-1	YS13-2	中	중	중원추	우	우	우	1차:4.0, 2차:4.0
CA-2	YS13-4	中	중장	중장원추통	우	우	우	1차:4.0, 2차:4.0
CA-3	YS13-7							1차:4.0, 2차:4.0
CA-4	YS13-11	中	장	장원추통	양	우	양	1차:4.0, 2차:3.5 바람들이 1/3
CA-6	YS13-13	中太	장	장원추통	양	우	양	1차:4.0, 2차:4.0 바람들이 1/3
CA-7	YS13-28	中	중장	중장원추통	양	우	양	1차:4.0, 2차:4.5 삼색불량 1/3,비대 : 우
CA-18	PK-1	中	중장	중장원추통	양	우	양	1차:4.0, 2차:4.0 바람들이 1/3
CA-19	10-46	中	중장	중장원추통	중	우	우	1차:4.0, 2차:4.0 삼:太
CA-20	PK-2	中	중단	중단원추통	양	양	우	1차:4.0, 2차:4.0 바람들이 1/3
CA-21	10-50	中太	장	장원추통	우	양	양	1차:4.0, 2차:4~4.5 육심색 : 우
CA-26	MJ11-2	中	중장	중장원추통	우	우	양	1차:4.0
CA-29	MJ11-8	中太	중장	중장원추통	우	양	양	1차:4.0
CA-43	J11-108	中	장	장원추통	우	양	양	1차:4.0 바람들이 1/3
CA-24	골드리치	中細	중	중원추통	양	극우	극우	1차:4.5~4.0 육심색 : 淡
CA-37	Giant	中	장세	Nantes	우	우	下	1차:4.0 바람들이 1/3
CA-10	홍일품(고성)	中太	중장	중장원추통	양	양	양	1차:4.0, 2차:4.0 바람들이2/3
CA-49	홍일품	中太	중장	중장원추통	극우	우	양	1차:4.0, 2차:4.0 육심색 : 극우
CA-53	세농95	中太	중장	중장원추통	우	우	우	1차:4.0, 2차:3.5~4.0 삼 : 大 2/3

\* 회색바탕은 2013년 양산 봄당근 터널시험에서 선발된 우수조합의 특성을 보임

## (2) 당근 계통의 우수조합의 품질 분석

### (가) 기존 계통의 품질분석

- 선충저항성 계통과의 교배를 위한 최우수 품질의 당근을 선발하기 위한 것으로 경남 고성 월동재배포장에서 월동한 기존의 199계통의 당도와 carotene 함량을 분석한 결과 carotenoid 함량이 200ppm 이상이 146계통으로 나타났음(표 16). 이 중 carotenoid 함량이 500ppm 이상이 13계통, 당도가 10 brix 이상이 78계통, 그리고 carotene 함량이 500ppm 이상인 동시에 당도도 10 brix 이상이 5계통으로 나타났음. 이러한 계통들은 선충저항성 품종 육성의 교배모본으로 이용될 수 있을 것임.

- 경남 고성 월동재배 포장에서 월동한 기존계통 2차 분석 시험에서는 공시한 80계통 중 carotenoid 함량이 150ppm 이상이 38계통으로 나타났음(표 17). 공시한 계통 중 carotenoid 함량이 500ppm 이상을 가진 계통이 없었으며, 당도도 10 brix 이상이 6계통 뿐이었음.

표 16. 경남 고성 월동시험 당근 계통의 품질 분석

품종	당 도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )	계통
KS12-305	10.6	329.14	SN415 × HF4
KS12-306	8.6	559.41	MJZH × "
KS12-307	8.1	343.86	AH × "
KS12-308	7.5	304.97	DR7 × "
KS12-309	8.5	428.02	CE28 × "
KS12-310	8.5	534.29	CE30 × "
KS12-316	9.1	1530.17	BG × 75003-3-3-1
KS12-317	6.2	397.39	SN415 × "
KS12-318	8.5	551.26	AH × "
KS12-319	7.8	384.98	DR7 × "
KS12-328	8.6	308.88	AH × SKT114-1-1
KS12-329	9.0	358.34	DR7 × "
KS12-335	9.2	411.93	(SB × MH10-1) × MH10-1-2
KS12-336	8.4	515.86	BR × "
KS12-337	8.2	467.51	GR × "
KS12-338	6.7	382.46	BG × "
KS12-339	10.7	379.45	SN415 × "
KS12-340	11.0	261.26	MJZH × "
KS12-341	8.1	305.91	(SB × MH10-3) × MH10-3-4
KS12-342	11.4	459.20	BR × "
KS12-347	11.5	333.74	(SB × MH10-6) × MH10-6-2
KS12-349	9.1	296.68	GR × "
KS12-350	9.6	217.12	BG × "
KS12-351	10.1	221.85	SN415 × "
KS12-352	9.8	494.76	MJZH × "
KS12-353	11.9	421.30	(SB × MH10-7) × MH10-7-5
KS12-355	9.8	351.24	GR × "
KS12-356	10.7	312.37	BG × "
KS12-357	11.5	457.50	AH × "
KS12-358	9.3	283.81	DR7 × "
KS12-359	8.9	550.42	(SB × MH10-8) × MH10-8-2
KS12-360	10.0	602.06	BR × "
KS12-361	9.6	336.41	GR × "
KS12-362	10.1	230.90	BG × "
KS12-372	10.5	274.50	BR × MH10-13-1
KS12-373	8.3	225.33	GR × "
KS12-377	11.0	281.08	(SB × KT113) × KT113-1-1
KS12-378	10.3	235.09	BR × "
KS12-382	7.3	248.37	BR × 10CA-1
KS12-384	10.9	436.60	SB × 10CA-2
KS12-388	9.1	239.81	BR × 10CA-3
KS12-389	10.0	228.15	GR × 10CA-3
KS12-392	10.1	402.70	GR × HR901
KS12-393	9.1	212.63	SB × HR808
KS12-395	9.6	205.55	GR × "
KS12-396	13.2	529.00	SB × 만록홍삼
KS12-398	10.7	270.13	GR × "
KS12-400	8.8	210.00	BR × 초급천기
KS12-401	10.4	297.36	GR × "
KS12-402	11.7	200.39	BG × "
KS12-403	8.9	211.68	SB × 홍천기
KS12-404	9.0	370.64	BR × "
KS12-406	11.9	298.95	(SB × MH10-16) × MH10-16-1

표 16. 경남 고성 월동시험 당근 계통의 품질 분석(계속)

품종	당 도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )	계통
KS12-413	10.6	231.04	(SB × MH10-18) × MH10-18-1
KS12-414	10.7	239.09	BR × "
KS12-415	12.1	278.29	GR × "
KS12-416	10.4	211.92	BG × "
KS12-418	9.4	309.68	SN95 × "
KS12-419	10.2	266.31	(SB × MH10-19) × MH10-19-1
KS12-420	9.8	271.99	BR × "
KS12-421	10.4	252.13	GR × "
KS12-425	10.6	285.00	(SB × MH10-29) × MH10-29-1
KS12-426	10.4	282.16	BR × "
KS12-427	10.1	563.30	GR × "
KS12-428	9.5	234.62	BG × "
KS12-431	9.8	222.91	(SB × MH10-32) × MH10-32-1
KS12-434	10.5	216.24	BG × "
KS12-435	10.7	285.34	CYZS × "
KS12-436	9.5	555.79	HYZC × "
KS12-437	9.9	284.45	(SB × MH10-34) × MH10-34-1
KS12-438	9.8	424.84	BR × "
KS12-439	10.4	310.81	GR × "
KS12-442	10.4	252.62	HYZC × "
KS12-443	10.5	220.63	(SB × MH10-51) × MH10-51-1
KS12-444	10.1	231.53	BR × "
KS12-445	9.5	319.82	GR × "
KS12-446	10.8	399.96	BG × "
KS12-447	11.0	250.22	BMHG × "
KS12-448	10.4	213.61	BMZ480 × "
KS12-449	9.5	252.02	(SB × MH10-52) × MH10-52-1
KS12-450	9.7	327.80	BR × "
KS12-451	10.6	242.66	GR × "
KS12-452	10.4	344.36	BG × "
KS12-454	9.9	265.15	BMZ480 × "
KS12-455	9.8	509.42	(SB × 33-150) × 33-150-1-5
KS12-456	9.4	415.24	BR × "
KS12-458	9.9	417.69	SN415 × "
KS12-459	10.4	257.67	AH × "
KS12-460	11.2	216.37	DR7 × "
KS12-462	10.8	597.34	SB × 34-151-1-2
KS12-463	10.1	352.94	BR × "
KS12-464	10.0	270.21	GR × "
KS12-465	10.9	315.09	CE30 × "
KS12-466	9.7	292.36	SN90 × "
KS12-470	9.5	228.18	SN415 × 31-146-1-2
KS12-471	10.3	220.91	MJZH × "
KS12-472	9.8	246.52	AH × "
KS12-473	10.4	494.01	DR7 × "
KS12-474	10.9	333.31	CE28 × "
KS12-475	10.8	402.26	SB × 32-147-1-5
KS12-476	9.4	226.85	AH × "
KS12-478	9.1	243.06	CYZS × "
KS12-482	8.6	749.15	BMHG × "
KS12-485	9.9	582.99	MJZH × 35-152-1-3
KS12-486	10.5	289.91	AH × "
KS12-487	10.6	258.04	DR7 × "

표 16. 경남 고성 월동시험 당근 계통의 품질 분석(계속)

품종	당 도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )	계통
KS12-488	10.1	229.84	HYZC × "
KS12-489	9.8	336.62	BMZ480 × "
KS12-492	9.6	223.07	BR × 08대-34-1-2
KS12-493	10.5	385.96	GR × "
KS12-494	10.7	339.08	SN415 × "
KS12-495	10.2	367.69	AH × "
KS12-496	11.0	272.91	DR7 × "
KS12-497	10.7	250.56	CE28 × "
KS12-499	9.7	221.15	BR × 08대-31-1-1
KS12-500	10.5	318.80	GR × "
KS12-501	11.2	240.81	SN415 × "
KS12-502	10.1	704.26	MJZH × "
KS12-503	10.4	376.31	AH × "
KS12-504	9.7	416.60	DR7 × "
KS12-505	9.8	411.08	BR × DKT-0-2
KS12-506	9.5	855.58	GR × "
KS12-507	9.3	282.31	SN415 × "
KS12-508	10.1	245.45	MJZH × "
KS12-509	10.4	268.74	AH × "
KS12-513	9.2	268.37	BR × 홍전-0-1-1
KS12-514	9.3	343.64	BG × "
KS12-515	9.4	300.13	SN415 × "
KS12-516	10.5	240.70	AH × "
KS12-520	11.0	351.44	BR × 부순홍-0-1
KS12-521	10.3	894.81	GR × "
KS12-522	10.6	535.75	SN415 × "
KS12-523	11.1	449.86	AH × "
KS12-529	10.1	368.57	BR × 초급신-0-1
KS12-530	10.5	488.66	GR × "
KS12-531	9.7	351.23	SN415 × "
KS12-532	9.4	264.18	AH × "
KS12-533	10.1	249.41	DR7 × "
KS12-534	9.2	360.65	CE30 × "
KS12-535	9.3	273.19	BR × 구룡-0-1
KS12-536	9.8	346.96	GR × "
KS12-537	9.5	355.79	SN415 × "
KS12-538	10.1	478.67	AH × "
KS12-539	10.7	327.54	DR7 × "
KS12-540	10.5	544.12	BMZ480 × "
KS12-541	10.6	282.76	BR × HF3-1-7



표 17. 경남 고성 월동시험 2차분석, 기존계통(2013.2.21.~2.25.)

품종	계통	당도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )
KS12-203(1)	SKT114	8.6	235.84
KS12-203(2)	"	11.0	177.14
KS12-203(3)	"	7.6	303.23
KS12-203(11)	"	8.8	221.04
KS12-203(12)	"	9.3	304.38
KS12-203(15)	"	7.3	192.95
KS12-204(2)	MH10-1	6.4	199.38
KS12-205(1)	MH10-3	8.8	181.10
KS12-205(3)	"	6.9	163.76
KS12-205(5)	"	8.0	222.21
KS12-206(2)	MH10-6	6.0	174.33
KS12-206(5)	"	5.8	226.59
KS12-207(1)	MH10-7	7.1	170.26
KS12-208(3)	MH10-8	10.1	271.30
KS12-209(0)	MH10-9	7.9	210.46
KS12-209(2)	"	8.6	220.01
KS12-214(7)	10CA-3	9.5	156.41
KS12-215(1)	HR-901	8.2	157.66
KS12-215(3)	"	10.0	212.05
KS12-216(5)	HR808	8.7	151.58
KS12-218(1)	초급천기	8.6	283.74
KS12-223(0)	MH10-29-1	8.1	164.39
KS12-225(3)	MH10-34-1	9.1	172.56
KS12-227(2)	MH10-52-1	10.8	182.23
KS12-227(3)	"	10.3	210.84
KS12-228(9)	33-150	7.4	153.86
KS12-232(6)	35-152	10.6	177.13
KS12-233(7)	08대-34	6.8	290.86
KS12-234(0)	08대-31	9.4	159.07
KS12-234(2)	"	8.4	232.88
KS12-235(4)	DKT-0	8.0	158.61
KS12-235(6)	"	9.4	160.66
KS12-236(4)	홍전	9.8	161.62
KS12-238(0)	초급신희전	7.6	311.27
KS12-238(5)	"	8.2	302.34
KS12-238(6)	"	6.8	150.56
KS12-239(4)	구룡	7.1	153.80
KS12-239(5)	"	6.3	188.06

(나) 우수조합의 품질분석

- 우수조합 선발을 위한 양산 봄당근 터널시험에 공시한 40조합과 20품종의 품질분석 결과 31조합과 13품종이 200 ppm 이상의 carotenoid를 함유하는 것으로 나타났음(표 18). 31조합과 13품종 모두의 당도의 평균과 표준편차는  $8.29 \pm 0.89$  brix였고 carotenoid 함량의 평균과 표준편차는  $278.8 \pm 64.3$  ppm으로 나타났음. 31조합은 각각  $8.29 \pm 0.98$  brix,  $279.0 \pm 60.1$  ppm이었고, 13품종은 각각  $8.29 \pm 0.68$  brix,  $278.4 \pm 75.9$  ppm이어서 조합과 품종 간에 당도와 carotenoid 함량에 별다른 차이가 없었음. 이는 현재 선충저항성으로 선발 중인 조합의 품질이 이미 개발된 품종과 큰 차이가 없음을 나타내는 것으로 선충저항성 특성이 부여되면 상품의 부가가치가 더욱 상승할 것으로 생각됨.

표 18. 봄당근 터널시험 성분분석(2013.6.24. 경남 양산)

품종	품종 및 조합	당도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )
YS13-2	(SB × KT113) × 75003-3	9.0	208.04
7	(BR × KT113) × SKT114	9.4	344.41
8	(SB × KT113) × KT113	9.6	265.43
9	(SB × 33-150) × 33-150	7.6	210.57
12	(GR × 34-151) × 34-151	7.4	280.73
14	(GR × KT113) × "	8.1	240.09
16	(BG × KT113) × 31-146	6.3	204.80
17	(SB × 31-146)BC <sub>2</sub>	8.7	245.85
18	(SB × 32-147) × 32-147	6.8	294.70
19	(BR × 32-147) × "	9.0	244.79
20	(GR × " ) × "	8.8	295.47
21	(GR × KT113) × 35-152	8.5	228.71
22	(BG × " ) × "	9.3	300.90
23	(GR × HF3) × 08대-34	8.7	319.96
24	(SB × HF4) × "	10.8	294.98
25	(SB × 31-146) × 08대-31	8.0	255.37
26	(SB × 32-147) × "	8.6	313.54
27	(SB × 33-150) × "	7.6	265.66
28	(SB × 34-151) × "	8.8	284.90
29	(SB × 08대-31)BC <sub>2</sub>	7.7	323.16
30	(SB × DKT) × DKT-0	7.2	525.93
31	(SB × 초급신) × "	8.0	274.33
32	(SB × DKT)BC <sub>2</sub>	7.8	324.28
33	(SB × KT113) × 흥전	9.8	282.37
34	(SB × 부순홍) × 부순홍	8.1	266.50
35	(SB × 33-150) × 초급신	8.0	277.35
36	(SB × 초급신)BC <sub>2</sub>	7.3	212.03
37	(SB × 34-151) × 구룡 × 구룡	9.1	284.41
38	(SB × 구룡)BC <sub>2</sub>	8.2	316.96
39	(SB × 32-147) × HF3	8.0	263.02
40	(SB × KT113) × "	6.8	200.00
502	Super Beta	8.7	274.10
503	Beta Rich	9.7	243.96
508	시그마	8.5	267.96
510	세농 415	7.8	279.87
511	세농관군	7.5	285.29
515	애홍	7.6	222.44
528	동성 505	7.7	227.34
529	Fresh B	9.2	268.39
530	Dream 7	8.0	254.43
534	10-9	8.4	211.72
537	415 A	8.7	267.77
538	415 B	8.4	515.80
539	415 C	7.6	300.43
평균		8.29	278.83

\* 회색바탕은 조합을 나타냄.

<3차년도>

가. 선충저항성 계통 및 조합 육성

(1) 선충 저항성 검정

- 2012년 시험에서 선충저항성 계통으로 선발된 계통들 간의 교배조합 및 각 화분친 계통들의 개체별 부계 유지(Selfing) 하여 *Meloidogyne incognita* 저항성 조합 61조합과, 저항성 부계 Selfing 47계통, *M. hapla* 저항성 조합 31조합과 저항성 부계 Selfing 38계통들을 육성하여 2013년 8월 23일 소형 pot에 파종하여 뿌리혹선충의 두 종 *Meloidogyne incognita*와 *M. hapla* 선충을 각각 2013년 9월 25일과 10월 10일에 접종하여 선충저항성 계통들을 선발하였음(표 19, 20). *M. incognita*에 대한 저항성 계통간의 조합 중 6조합과 저항성 부계 유지(Selfing)에서는 15계통이 저항성으로 나타남.(표 19).

*M. hapla*에 대한 저항성 계통간의 조합 중 22조합과 저항성 부계 유지(Selfing)에서는 17계통에서 저항성으로 나타남.(표 20).

표 19. *M. incognita*에 대한 당근 계통(조합<좌>과 화분친<우>)의 저항성 정도(RR)

파종 No	계통내역	RR	파종 No	계통내역	RR
13-1001	In KH12-716-1 × In KH12-823-2		13-1201	In KH12-801-1S	S
2	716-2 × 831-3	S	2	801-2S	
3	716-3 × 808-1	S	3	801-4S	S
4	716-3 × 810-5	S	4	801-5S	S
5	722-1 × 801-5	S	5	808-1S	MR
6	722-1 × 869-5	S	6	810-5S	R
7	722-3 × 801-1	S	7	811-1S	
8	722-3 × 810-5	S	8	816-2S	R
9	723-1 × 801-5	S	9	817-5S	R
10	723-1 × 808-1	S	10	823-4S	S
10-2		S	1	823-5S	S
11	723-5 × 870-2	S	2	824-4S	S
12	724-1 × 801-5		3	824-5S	S
13	724-1 × 871-2	S*	4	831-3S	
14	725-4 × 801-5	S	5	832-1S	S
15	725-4 × 810-5	MR	6	832-4S	
16	726-3 × 801-5	S	7	832-5S	
17	726-3 × 810-5	S	8	833-3S	S
18	726-3 × 811-1	S	9	834-1S	R
19	726-3 × 873-3	S	20	834-2S	S
20	726-5 × 873-1	S	1	834-3S	MR
21	728-1 × 831-4	S	1222	834-4S	R
22		S	3	834-5S	S
22-2	728-2 × 862-1	S	4	841-2S	S
23	728-3 × 810-5	S	5	841-4S	S
24	728-3 × 817-1	R	6	841-5S	MR
25	730-2 × 801-2		7	845-2S	S
26	730-5 × 864-1	R	8	845-3S	S

\* HR: highly resistant, R: resistant, MR: moderately resistant, S: susceptible

표 19. *M. incognita*에 대한 당근 계통(조합<좌>과 화분친<우>)의 저항성 정도(RR) (계속)

파종 No	계통내역	RR	파종 No	계통내역	RR
1027	736-5 × 801-4	S	13-1231	In KH12-863-2S	S
28	743-3 × 810-5		2	864-1S	R
29	743-4 × 801-2	S	3	864-2S	S
30		S	4	864-3S	R
30-2	743-4 × 801-4	S	5	864-4S	R
31-2	743-4 × 811-1	S	6	864-5S	MR
31	746-2 × 801-5	S	7	865-2S	S
33	746-4 × 841-2		8	865-3S	MR
34	751-1 × 801-5	R	9	865-5S	MR
35	752-4 × 801-4		40	866-2S	
36	756-1 × 801-5		1	866-3S	
37	756-2 × 810-5	S	2	866-4S	
38	756-5 × 816-2	S	3	866-5S	S
39	760-1 × 801-4	R	4	867-5S	S
40	760-1 × 811-1	S	5	868-2S	
41	760-1 × 816-2	S	6	868-4S	S
42	760-1 × 863-2	S	7	868-5S	
43	760-5 × 864-4	S	8	869-2S	R
13-1051	851-4 × 865-2		9	869-4S	S
2	852-1 × 867-5	S			
3	852-5 × 862-3				
4	853-4 × 863-2	MR			
5	854-4 × 865-2				
6	854-5 × 865-2				
7	856-4 × 866-5	S			
8	856-5 × 873-2				
9	858-1 × 873-1	S			
60	858-2 × 868-4	S			
1061	858-3 × 872-5	S			
2	859-1 × 872-2	S			
3	859-3 × 872-3	S			
4	859-3 × 873-5				
5	859-4 × 872-1				

\* HR: highly resistant, R: resistant, MR: moderately resistant, S: susceptible

표 20. *M. hapla*에 저항성 계통으로 선발된 교배모본(좌: 조합, 우: 화분친)의 저항성 정도(RR)

파종 No	계통내역	RR	파종 No	계통내역	RR
13-1101	Ha KH12- Ha KH12-730-2 × 817-4	S	13-1261	Ha KH12-808-2S	
3-1	730-2 × 824-2	S	2	816-3S	
3-2	730-2 × 824-2	S	3	817-2S	R
4	730-4 × 816-3	S	4	817-4S	R
5	730-4 × 817-2	S	5	818-2S	
6	731-3 × 817-2	MR	6	818-3S	
6-2	731-3 × 817-2	S	7	818-4S	
7	732-2 × 817-2	R	8	818-5S	
8	732-2 × 866-2	R	9	824-2S	
9	732-5 × 818-4	R	70	824-4S	
10	732-5 × 824-2	R	1	824-5S	
1	739-4 × 818-5		1272	831-2S	
2	739-5 × 817-2	R	3	831-3S	R
3	744-5 × 817-2	R	4	831-4S	R
4	744-5 × 818-3	R	5	832-5S	
5	744-5 × 845-1	R	6	841-2S	R
6	In KH12-751-2 × 808-1	R	7	841-3S	R
1117	Ha KH12-751-2 × 817-2	R	8	845-1S	MR
8	751-3 × 816-3	R	9	845-3S	R
9	751-5 × 816-3	MR	80	846-1S	R
20	751-5 × 817-2	R	1	846-2S	R
1	751-5 × 818-4		2	846-4S	R
2	759-3 × 818-3	R	3-1	846-5S	R
3	In KH12-759-5 × 808-1	MR	4	847-2S	R
4	Ha KH12-761-4 × 816-3	MR	5	847-3S	R
5	761-4 × 818-3	R	6	847-5S	R
6	762-3 × 816-3	MR	7	848-3S	R
7	762-4 × 817-2	R	8	848-4S	R
8	762-4 × 818-2	R	1250	869-5S	S
9	In KH12-762-5 × 808-1	R	1	872-1S	S
30	Ha KH12-762-5 × 818-4		2	872-2S	S
			3	872-3S	S
			4	872-4S	S
			5	872-5S	S
			6	873-1S	S
			7	873-2S	
			8	873-3S	S
			9	873-5S	S

\* 회색바탕 계통들은 *M. incognita*에 대해서도 저항성 또는 고도저항성을 나타냄.

\* R: resistant, S: susceptible

(2) 여교배(back crossing), 교배조합(cross combination) 및 자식(selfing)에 의한 후세대 선충 저항성 계통 육성

- 표 19, 20에서 정리된 계통의 당근 유묘를 뿌리혹선충 저항성 검정이 끝난 직후 각각 금호 육성 망실에 정식(*M. incognita* : 2013년11월2일, *M. hapla* : 2013년11월23일)하여 교배모본으로 이용하였음.

- 이들 교배한 종자를 채취(2014년7월28일 예정)하여 7월말 제주도에 파종하여 계통 및 조합별 생육 조사와 선충저항성 검정용으로 사용할 예정임.
- 이들 종자를 작년(2013년도 8월 육성한 방법)과 같은 방법으로 8월 중순(2014년8월20일 예정) pot에 파종하여 선충저항성 검정용으로 사용할 예정임.

### (3) 선충저항성 계통의 포장성능검정

- 2013년 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통(총 92 교배조합, 총 85 자식계통)을 포장성능검정을 위하여 2013.7.29. 제주시 구좌읍 상도리 당근 재배포장에 파종하여 재배한 후 2013년 12월~2014년 1월 중순에 수확하여 특성조사를 실시하였음(표 21, 22 참조).
  - 그 결과 전반적인 포장에서의 뿌리혹 형성은 국지적으로 관찰되었으며, 각 선충별 저항성 계통에서는 뿌리혹형성이 관찰되지 않았고, 이는 포장의 뿌리혹선충 오염도가 낮기 때문인 것으로 생각됨.
  - 계통별 뿌리 생육은 근형 특성에 따라 그 특성에 정상적인 생육이 이루어졌다고 판단되며, 이 중 13-1205, 1207, 1208, 1210, 1223, 1224, 1226, 1270, 1272, 1277, 1279, 1286 등 12 계통들은 쿠로다 type으로, 숙기가 빠르고 뿌리 끝이 잘 맺히는 특성을 지니고 있어 바로 품종 육성에 이용 가능할 것으로 사료됨.(그림 5)
    - 13-1228, 1232, 1233, 1239, 1244, 1246, 1248, 1250 등 8계통들은 난테스 type 으로 뿌리 끝이 잘 맺히고, 근장의 길이가 20Cm 내외로 일반적인 난테스 type보다는 근장이 길어 숙기를 앞당길 수 있는 재료로 이용 가능성이 큼.(그림 6)
  - 2014년 육성한 선충저항성 계통 및 여교배, 교배조합들은 종자가 등숙 되는대로 데이터화 하여, 2014년 7월 30일 제주시 구좌읍 재배시험포장에 파종할 계획이고, 북경 동성종묘 연구소 포장에는 2014년 8월 5일 파종할 계획이다.



표 21. 제주시 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 계통 List(*M. incognita*)

과종no	조합	조합내역
13-1001	In KH12- In KH12- 716-1 × 823-2	(BR×7322C)-1×유자-18-3-2
2	716-2 × 831-3	(BR×7322C)-2×고성상-1-3
3	716-3 × 808-1	(BR×7322C)-3×KT113-1-12-4-1
4	716-3 × 810-5	(BR×7322C)-3×75003-3-1-3-5-5
5	722-1 × 801-5	(BR×3180C)-1×35-152-1-1-1-5
6	722-1 × 869-5	(BR×3180C)-1×3180C-5
7	722-3 × 801-1	(BR×3180C)-3×35-152-1-1-1-1
8	722-3 × 810-5	(BR×3180C)-3×75003-3-1-3-5-5
9	723-1 × 801-5	(BR×6274B)-1×35-152-1-1-1-5
10	723-1 × 808-1	(BR×6274B)-1×KT113-1-12-4-1
10-2	723-2 × 808-1	(BR×6274B)-2×KT113-1-12-4-1
11	723-5 × 870-2	(BR×6274B)-5×6274B-2
12	724-1 × 801-5	(BR×6253B)-1×35-152-1-1-1-5
13	724-1 × 871-2	(BR×6253B)-1×6253B-2
14	725-4 × 801-5	(BR×7262B)-4×35-152-1-1-1-5
15	725-4 × 810-5	(BR×7262B)-4×75003-3-1-3-5-5
16	726-3 × 801-5	(BR×9304B)-3×35-152-1-1-1-5
17	726-3 × 810-5	(BR×9304B)-3×75003-3-1-3-5-5
18	726-3 × 811-1	(BR×9304B)-3×75003-3-1-8-2-1
19	726-3 × 873-3	(BR×9304B)-3×9304B-3
20	726-5 × 873-1	(BR×9304B)-5×9304B-1
21	728-1 × 831-4	(GR×5280B)-1×고성상-1-4
22	728-2 × 862-1	(GR×5280B)-2×5280B-1
22-2	728-3 × 801-2	(GR×5280B)-3×35-152-1-1-1-2
23	728-3 × 810-5	(GR×5280B)-3×75003-3-1-3-5-5
24	728-3 × 817-1	(GR×5280B)-3×09-456-5-3-1
25	730-2 × 801-2	(GR×4002MjRB)-2×35-152-1-1-1-2
26	730-5 × 864-1	(GR×4002MjRB)-5×4002MjRB-1
27	736-5 × 801-4	(GR×6274B)-5×35-152-1-1-1-4

표 21. 제주시 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 계통 List(*M. incognita*) (계속)

과중no	조합	조합내역
13-1028	In KH12- In KH12- 743-3 × 810-5	(SN415×35-152)-3×75003-3-1-3-5-5
29	743-4 × 801-2	(SN415×35-152)-4×35-152-1-1-1-2
30	743-4 × 801-4	(SN415×35-152)-4×35-152-1-1-1-4
30-2	743-4 × 810-5	(SN415×35-152)-4×75003-3-1-3-5-5
31	743-4 × 811-1	(SN415×35-152)-4×75003-3-1-8-2-1
31-2	744-3 × 808-3	(SN415×KT113)-3×KT113-1-12-4-3
32	746-2 × 801-5	{(SB×홍복)×35-152}-2×35-152-1-1-1-5
33	746-4 × 841-2	{(SB×홍복)×35-152}-4×LF-1-1-2
34	751-1 × 801-5	{(SB×홍복)×HF3}-1×35-152-1-1-1-5
34-2	752-2 × 808-1	{(SB×홍복)×HF3}-2×KT113-1-12-4-1
35	752-4 × 801-4	{(SB×홍복)×HF3}-4×35-152-1-1-1-4
36	756-1 × 801-5	{(SB×홍복)×75003}-1×15-152-1-1-1-5
37	756-2 × 810-5	{(SB×홍복)×75003}-2×75003-3-1-3-5-5
38	756-5 × 816-2	{(SB×홍복)×75003}-5×09-456-1-2
39	760-1 × 801-4	{(SB×홍복)×MH10-9}-1×35-152-1-1-1-4
40	760-1 × 811-1	{(SB×홍복)×MH10-9}-1×75003-3-1-8-2-1
41	760-1 × 816-2	{(SB×홍복)×MH10-9}-1×09-456-1-2
42	760-1 × 863-2	{(SB×홍복)×MH10-9}-1×7322C-2
43	760-5 × 864-4	{(SB×홍복)×MH10-9}-5×7322C-4
13-1051	In KH12- In KH12- 851-4 × 865-2	2566A-4×5238B-2
2	852-1 × 867-5	5280A-1×6366B-5
3	852-5 × 862-3	5280A-5×5280B-3
4	853-4 × 863-2	9304A-4×7322C-2
5	854-4 × 865-2	5238A-4×5238B-2
6	854-5 × 865-2	5238A-5×5238B-2
7	856-4 × 866-5	6333A-4×6333B-5
8	856-5 × 873-2	6333A-5×9304B-2
9	858-1 × 873-1	7254A-1×9304B-1
60	858-2 × 868-4	7254A-2×7254B-2
1	858-3 × 872-5	7254A-3×7262B-5
2	859-1 × 872-2	7262A-1×7262B-2
3	859-3 × 872-3	7262A-3×7262B-3
4	859-3 × 873-5	7262A-3×9304B-5
5	859-4 × 872-1	7262A-4×7262B-1

표 21. 제주시 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 계통 List(*M. incognita*) (계속)

파종no	조합	조합내역
13-1201	In KH12-801-1S	35-152-1-1-1-1
2	801-2S	35-152-1-1-1-2
3	801-4S	35-152-1-1-1-4
4	801-5S	35-152-1-1-1-5
5	808-1S	KT113-1-12-4-1
6	810-5S	75003-3-3-5-5
7	811-1S	75003-3-8-2-1
8	816-2S	09-456-5-1-2
9	817-5S	09-456-5-3-5
10	823-4S	유자-18-3-4
1	823-5S	유자-18-3-5
2	824-4S	유자-18-4-4
3	824-5S	유자-18-4-5
4	831-3S	고성 ♂ -1-3
5	832-1S	고성 ♂ -2-1
6	832-4S	고성 ♂ -2-4
7	832-5S	고성 ♂ -2-5
8	833-3S	(01037×03116)-1-3
9	834-1S	(01037×03116)-2-1
20	834-2S	(01037×03116)-2-2
1	834-3S	(01037×03116)-2-3
2	834-4S	(01037×03116)-2-4
3	834-5S	(01037×03116)-2-5
4	841-2S	LF-1-1-2
5	841-4S	LF-1-1-4
6	841-5S	LF-1-1-5
7	845-2S	BC-1-1-2
8	845-3S	BC-1-1-3
13-1231	In KH12-863-2S	7322C-2
2	864-1S	4002MjRB-1
3	864-2S	4002MjRB-2
4	864-3S	4002MjRB-3
5	864-4S	4002MjRB-4
6	864-5S	4002MjRB-5
7	865-2S	5238B-2
8	865-3S	5238B-3
9	865-5S	5238B-5
40	866-2S	6333B-2
1	866-3S	6333B-3
2	866-4S	6333B-4
3	866-5S	6333B-5
4	867-5S	6366B-5
5	868-2S	7254B-2

표 21. 제주시 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 계통 List(*M. incognita*) (계속)

파종no	조합	조합내역
13-1246	In KH12-868-4S	7254B-4
7	868-5S	7254B-5
8	869-2S	3180C-2
9	869-4S	3180C-4
13-1250	869-5S	3180C-5
1	872-1S	7262B-1
2	872-2S	7262B-2
3	872-3S	7262B-3
4	872-4S	7262B-4
5	872-5S	7262B-5
6	873-1S	9304B-1
7	873-2S	9304B-2
8	873-3S	9304B-3
9	873-5S	9304B-5

표 22. 제주시 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 계통 List(*M. hapla*)

파종no	조합	조합내역
13-1101	Ha KH12-730-2 × Ha KH12-817-4	(GR × 4002MjRB)-2 × 09-456-5-2-4
2	730-2 × 818-5	(GR × 4002MjRB)-2 × 09-456-5-4-5
3	730-2 × 824-2	(GR × 4002MjRB)-2 × 유자-18-4-2
3-2	730-2 × In 864-1	(GR × 4002MjRB)-2 × 4002MjRB-1
4	730-4 × Ha 816-3	(GR × 4002MjRB)-4 × 09-456-5-1-3
5	730-4 × 817-2	(GR × 4002MjRB)-4 × 09-456-5-2-2
6	731-3 × 817-2	(GR × 5238B)-3 × 09-456-5-2-2
6-2	731-3 × In 865-2	(GR × 5238B)-3 × 5238B-2
7	732-2 × Ha 817-2	(GR × 6333B)-2 × 09-456-5-2-2
8	732-2 × 866-2	(GR × 6333B)-2 × 6333B-2
9	732-5 × 818-4	(GR × 6333B)-5 × 09-456-5-4-4
10	732-5 × 824-2	(GR × 6333B)-5 × 유자-18-4-2
1	739-4 × 818-5	(GR × 9304B)-4 × 09-456-5-4-5
2	739-5 × 817-2	(GR × 9304B)-5 × 09-456-5-2-2
3	744-5 × 817-2	(SN415 × KT113)-5 × 09-456-5-2-2
4	744-5 × 818-3	(SN415 × KT113)-5 × 09-456-5-4-3
5	744-5 × 845-1	(SN415 × KT113)-5 × BC-1-1-1
6	In KH12-751-2 × 808-1	{(SB × 흥복) × HF3}-2 × KT113-1-12-4-1
7	Ha KH12-751-2 × 817-2	{(SB × 흥복) × HF3}-2 × 09-456-5-2-2
8	751-3 × 816-3	{(SB × 흥복) × HF3}-3 × 09-456-5-1-3
9	751-5 × 816-3	{(SB × 흥복) × HF3}-5 × 09-456-5-1-3

표 22. 제주시 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 계통 List(*M. hapla*) (계속)

과중no	조합	조합내역
13-1120	Ha KH12-751-5 × Ha KH12-817-2	{(SB×홍복)×HF3}-5×09-456-5-2-2
1	751-5 × 818-4	{(SB×홍복)×HF3}-5×09-456-5-4-4
2	759-3 × 818-3	{(SB×홍복)×MH10-8}-3×09-456-5-4-3
3	759-5 × In KH12-808-1	{(SB×홍복)×MH10-8}-5×KT113-1-12-4-1
4	761-4 × Ha KH12-816-3	{(SB×홍복)×09-456}-4×09-456-5-1-3
5	761-4 × 818-3	{(SB×홍복)×09-456}-4×09-456-5-4-3
6	762-3 × 816-3	{(SB×홍복)×09-456}-3×09-456-5-1-3
7	762-4 × 817-2	{(SB×홍복)×09-456}-4×09-456-5-2-2
8	762-4 × 818-2	{(SB×홍복)×09-456}-4×09-456-5-4-2
9	762-5 × In KH12-808-1	{(SB×홍복)×09-456}-5×KT113-1-12-4-1
30	762-5 × Ha KH12-818-4	{(SB×홍복)×09-456}-5×09-456-5-4-4
13-1261	Ha KH12-808-2S	KT113-1-12-4-2
2	816-3S	09-456-5-1-3
3	817-2S	09-456-5-3-2
4	817-4S	09-456-5-3-4
5	818-2S	09-456-5-4-2
6	818-3S	09-456-5-4-3
7	818-4S	09-456-5-4-4
8	818-5S	09-456-5-4-5
9	824-2S	유자-18-4-2
70	824-4S	유자-18-4-4
1	824-5S	유자-18-4-5
2	831-2S	고성 ♂ -1-2
3	831-3S	고성 ♂ -1-3
4	831-4S	고성 ♂ -1-4
5	832-5S	고성 ♂ -2-5
6	841-2S	LF-1-1-2
7	841-3S	LF-1-1-3
8	845-1S	BC-1-1-1
9	845-3S	BC-1-1-3
80	846-1S	09-456-3-1-1-1
1	846-2S	09-456-3-1-1-2
2	846-4S	09-456-3-1-1-4
3	846-5S	09-456-3-1-1-5
4	847-2S	09-456-3-3-1-2
5	847-3S	09-456-3-3-1-3
6	847-5S	09-456-3-3-1-5
7	848-3S	09-456-5-1-3
8	848-4S	09-456-5-1-4



그림 5. *M. incognita*와 *M. hapla*에 대해 저항성을 갖는 계통들의 근형과 생육정도(쿠로다 type)

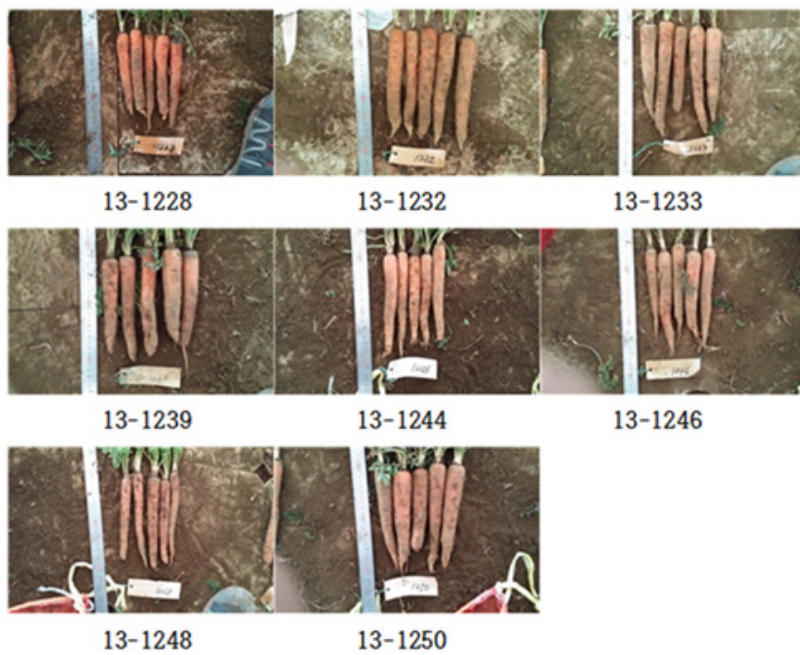


그림 6. *M. incognita*와 *M. hapla*에 대해 저항성을 갖는 계통들의 근형과 생육정도(난테스 type)



### (3) 선충저항성 계통의 품질 조사

- 2013년 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통을 포장성능검정을 위하여 2013년 7월 31일 제주시 구좌읍 당근 시험포장에 파종하여 재배한 후 2013년 1월 중순에 수확하여 당근 뿌리의 당도와 카로틴(carotene) 함량을 표준 방법에 의해 분석하였음.(표 23)

- 그 결과 조사한 선충저항성 121 조합 및 계통 중 carotene 함량이 200 ppm 이상이 120 조합 및 계통으로 이들 조합 및 계통들은 2012년도에 저항성으로 나타난 계통들의 후대임. 이들 중 *M. incognita*에 저항성인 조합 및 계통은 17개이며, *M. hapla*에 저항성인 조합 및 계통은 37개임.

- 121계통의 당도의 평균과 표준편차는  $10.99 \pm 0.49$  brix였으며, carotene 함량의 평균과 표준편차는  $723.16 \pm 267.465$ ppm으로 나타났음. 선충이 오염된 포장에서도 선충의 피해에 의한 질적인 저하가 나타나지 않으며 당도와 carotene 함량이 일반 계통보다 월등히 높아 우수한 품질을 유지할 수 있을 것임.

표 23. 제주시 구좌읍 월동시험 선충저항성 계통의 당도와 carotene 함량 분석 결과

파종No	계통내역	당 도(Brix)	Carotene(μg/g)	RR	
				Mi	Mh
13-1003	(BR×7322C)-3×KT113-1-12-4-1	10.5	455.69	S	
1004	(BR×7322C)-3×75003-3-1-3-5-5	11.0	492.43	S	
1005	(BR×3180C)-1×35-152-1-1-1-5	10.4	404.74	S	
1006	(BR×3180C)-1×3180C-5	10.9	454.68	S	
1007	(BR×3180C)-3×35-152-1-1-1-1	11.6	432.30	S	
1008	(BR×3180C)-3×75003-3-1-3-5-5	9.9	547.71	S	
1009	(BR×6274B)-1×35-152-1-1-1-5	11.5	386.99	S	
1011	(BR×6274B)-5×6274B-2	10.2	687.41	S	
1013	(BR×6253B)-1×6253B-2	11.0	645.32	S	
1014	(BR×7262B)-4×35-152-1-1-1-5	10.7	563.47	S	
1015	(BR×7262B)-4×75003-3-1-3-5-5	10.0	633.02	MR	
1018	(BR×9304B)-3×75003-3-1-8-2-1	11.6	600.32	S	
1019	(BR×9304B)-3×9304B-3	10.4	372.35	S	
1020	(BR×9304B)-5×9304B-1	11.4	389.71	S	
1023	(GR×5280B)-3×75003-3-1-3-5-5	10.3	861.58	S	
1024	(GR×5280B)-3×09-456-5-3-1	11.4	986.00	R	
1027	(GR×6274B)-5×35-152-1-1-1-4	11.6	924.03	S	
1029	(SN415×35-152)-4×35-152-1-1-1-2	12.2	741.76	S	
1030	(SN415×35-152)-4×35-152-1-1-1-4	11.3	861.36	S	
1031	(SN415×35-152)-4×75003-3-1-3-5-5	11.6	466.52	S	
1038	{(SB×홍복)×75003}-5×09-456-1-2	10.5	631.48	S	
1039	{(SB×홍복)×MH10-9}-1×35-152-1-1-1-4	11.4	660.58	R	
1040	{(SB×홍복)×MH10-9}-1×75003-3-1-8-2-1	11.8	659.57	S	
1041	{(SB×홍복)×MH10-9}-1×09-456-1-2	11.1	515.93	S	
1042	{(SB×홍복)×MH10-9}-1×7322C-2	11.7	635.47	S	
1052	5280A-1×6366B-5	11.8	668.42	S	
1057	6333A-4×6333B-5	13.0	695.79	S	
1061	7254A-3×7262B-5	12.4	468.57	S	
1062	7262A-1×7262B-2	12.6	2115.40	S	
1101	(GR×4002MjRB)-2×09-456-5-2-4	9.5	417.54		S
1103	(GR×4002MjRB)-2×유자-18-4-2	11.1	517.32		S
1104	(GR×4002MjRB)-4×09-456-5-1-3	10.9	524.86		S
1105	(GR×4002MjRB)-4×09-456-5-2-2	13.0	577.83		S
1106	(GR×5238B)-3×09-456-5-2-2	10.5	530.77		MR
1107	(GR×6333B)-2×09-456-5-2-2	10.0	649.27		R
1108	(GR×6333B)-2×6333B-2	13.7	588.26		R
1109	(GR×6333B)-5×09-456-5-4-4	10.7	561.32		R

표 23. 제주시 구좌읍 월동시험 선충저항성 계통의 당도와 carotene 함량 분석 결과 (계속)

파종No	계통내역	당 도(Brix)	Carotene(μg/g)	RR	
				Mi	Mh
1110	(GR×6333B)-5×유자-18-4-2	11.8	151.46		R
1112	(GR×9304B)-5×09-456-5-2-2	10.3	568.75		R
1113	(SN415×KT113)-5×09-456-5-2-2	10.4	634.45		R
1114	(SN415×KT113)-5×09-456-5-4-3	9.8	540.13		R
1115	(SN415×KT113)-5×BC-1-1-1	9.9	602.66		R
1116	{{SB×홍복}×HF3}-2×KT113-1-12-4-1	9.9	552.45		R
1117	{{SB×홍복}×HF3}-2×09-456-5-2-2	10.8	661.87		R
1118	{{SB×홍복}×HF3}-3×09-456-5-1-3	10.7	758.80		R
1119	{{SB×홍복}×HF3}-5×09-456-5-1-3	11.2	516.87		MR
1120	{{SB×홍복}×HF3}-5×09-456-5-2-2	9.4	520.01		R
1122	{{SB×홍복}×MH10-8}-3×09-456-5-4-3	10.7	562.29		R
1123	{{SB×홍복}×MH10-8}-5×KT113-1-12-4-1	11.0	743.84		MR
1124	{{SB×홍복}×09-456}-4×09-456-5-1-3	11.9	826.70		MR
1125	{{SB×홍복}×09-456}-4×09-456-5-4-3	11.7	794.29		R
1126	{{SB×홍복}×09-456}-3×09-456-5-1-3	11.5	545.60		MR
1127	{{SB×홍복}×09-456}-4×09-456-5-2-2	10.3	697.87		R
1128	{{SB×홍복}×09-456}-4×09-456-5-4-2	11.7	575.12		R
1129	{{SB×홍복}×09-456}-5×KT113-1-12-4-1	10.9	544.09		R
1201	35-152-1-1-1-1	11.3	615.31	S	
1203	35-152-1-1-1-4	11.9	798.45	S	
1204	35-152-1-1-1-5	12.8	784.30	S	
1205	KT113-1-12-4-1	10.6	659.43	MR	
1208	09-456-5-1-2	10.0	677.84	R	
1209	09-456-5-3-5	10.8	677.48	R	
1210	유자-18-3-4	14.1	584.17	S	
1211	유자-18-3-5	9.9	546.51	S	
1212	유자-18-4-4	9.9	632.12	S	
1215	고성♂-2-1	11.4	1631.65	S	
1218	(01037×03116)-1-3	10.1	556.84	S	
1219	(01037×03116)-2-1	10.8	692.09	R	
1220	(01037×03116)-2-2	12.1	1288.25	S	
1221	(01037×03116)-2-3	9.3	1088.61	MR	
1222	(01037×03116)-2-4	10.8	631.72	R	
1223	(01037×03116)-2-5	9.7	588.11	S	
1224	LF-1-1-2	8.8	585.90	S	
1225	LF-1-1-4	9.1	536.83	S	
1226	LF-1-1-5	9.9	491.14	MR	
1227	BC-1-1-2	10.8	425.02	S	
1228	BC-1-1-3	11.2	516.17	S	
1231	7322C-2	11.7	636.34	S	
1232	4002MjRB-1	9.5	736.46	R	
1233	4002MjRB-2	10.4	559.62	S	
1234	4002MjRB-3	11.2	1411.18	R	
1235	4002MjRB-4	10.8	786.38	R	
1236	4002MjRB-5	11.6	449.36	MR	
1237	5238B-2	6.5	753.24	S	
1238	5238B-3	10.8	409.80	MR	
1239	5238B-5	15.0	480.25	MR	
1243	6333B-5	11.1	652.44	S	
1244	6366B-5	14.1	1228.20	S	
1246	7254B-4	12.6	585.55	S	
1248	3180C-2	10.1	555.02	R	
1249	3180C-4	10.9	1290.84	S	
1250	3180C-5	12.4	686.32		S
1251	7262B-1	12.4	1479.59		S
1252	7262B-2	11.9	1318.59		S
1253	7262B-3	12.4	832.74		S
1254	7262B-4	12.7	861.81		S
1255	7262B-5	10.9	2190.01		S
1256	9304B-1	10.8	857.09		S
1258	9304B-3	10.4	1091.47		S
1259	9304B-5	11.2	492.81		S
1263	09-456-5-3-2	10.4	504.75		R
1264	09-456-5-3-4	11.4	538.89		R
1265	09-456-5-4-2	10.6	464.36		X

\* RR: resistance rating to Mi(*M. incognita*) and Mh(*M. hapla*)

## 나. 중국 수출용 및 국내용 당근 내선충 고품질 1대 잡종 품종 개발

### (1) 당근 계통의 우수조합 선발

#### (가) 국내시험

##### ① 가을 및 월동당근시험

- 시험장소: 제주시 구좌읍 시험포장

- 파종 : 2013년 7월 29일

- 공시계통: 일반 우수 F<sub>1</sub> 조합; 112조합, A-line; 158 계통.

일반 우수 A-line × 내선충 B-line 인 조합; 72조합,

내선충 A-line; 11계통

내선충 A-line × 내선충 B-line 인 조합 및 계통; 121 개

대비종 44품종

총 518 조합 및 계통

- 결과: 일반 우수 F<sub>1</sub> 조합; **39조합 선발(2014년 봄당근 시험재배)**

일반 우수 A-line; **120계통** 모본 선발

내선충 A-line; **8계통** 모본 선발

내선충 A-line × 내선충 B-line 인 조합 및 계통; **41계통** 모본 선발

##### ② 봄 당근 터널시험

- 시험장소 : 경남 양산시 하북면

- 파종 : 2014년 1월 26일

= 공시계통: 제주도 우수 F<sub>1</sub> 조합; 39조합

중국 북경 우수 F<sub>1</sub> 조합; 37조합

대비종; 12품종

- 결과: 2014년 경남 양산 노지 봄당근 시험에서 29조합이 우수조합으로 선발되었으며 이들의 특성은 그림 4 나타난 바와 같다. 이들의 생육 특성으로 일부 조합에서 추대가 5~7로 높아 장일 조건에서 꽃대가 빨리 나와 뿌리 생육에 지장이 초래되는 경우를 제외하면 뿌리등급에서 대부분 4.0 이상으로 우량등급을 지니고 있으며 그 중에는 최상의 등급인 4.5를 받은 조합도 있다.

- 우수 조합 중 YS14-81, 99, 101, 157, 212, 222, 1106, 1123은 극조생으로 하우스 재배에 적합할 것으로 판단되며 그 중 YS14-1106, 1123은 내선충 저항성 계통(A-line)으로 활용가치가 매우 뛰어나다.(그림 7) YS14-125, 185, 186, 187, 189, 205, 245, 246, 247, 248, 346, 350은 조중생으로 봄 하우스 및 터널재배에 적합할 것으로 판단된다(그림 8). YS14-101, 185, 186, 187은 금년에 금호 하우스 시교 채종을 하였고, 내년 중국 북경에서 확대 시교생산에 들어갈 계획임. YS14-246~249는 내년에 중국 북경에서 시교생산 계획임.



YS14-81

YS14-99

YS14-101



YS14-157

YS14-212

YS14-222

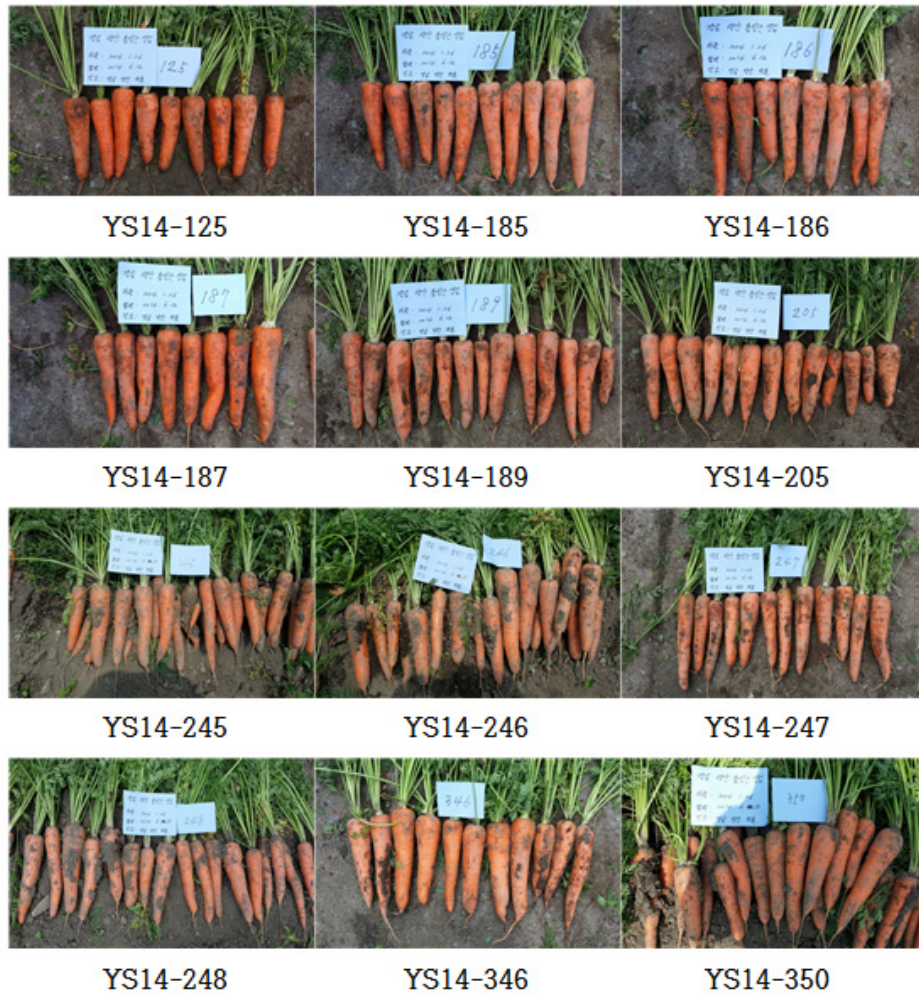


YS14-1106

YS14-1123

<그림 7. 봄당근 터널 재배에서 선정된 우수조합 중 봄 하우스 및 터널재배에 적합한 극조생 조합>





<그림 8. 봄당근 터널 재배에서 선정된 우수조합 중 봄 하우스 및 터널재배에 적합한 조중생 조합>

(나) 중국 시험

① 가을당근 시험

- 시험장소: 북경 동성종묘 연구소 포장

- 파종: 2013년 8월 초

- 공시계통: 일반 우수 F<sub>1</sub> 조합; 112조합, A-line; 158 계통.

일반 우수 A-line × 내선충 B-line 인 조합; 72조합,

내선충 A-line; 11계통

내선충 A-line × 내선충 B-line 인 조합 및 계통; 121 개

대비종 44품종 총 518 조합 및 계통

- 결과: 중국 북경 우수 F<sub>1</sub> 조합; 37조합 선발



<그림 9. 중국 봄당근 터널 재배에서 선정된 우수조합 : 극조생>

선발된 37조합 중 위의 9개 조합은 중국 봄당근 재배 작형 중 극조생으로서 충분한 조합들임 (그림 9). 그림 10은 중국 내에서 가능성이 있는 만생종 type. 이들은 중국 복건성을 공략하기 적합.





K13-348

K13-350

K13-353



K13-1007

K13-1106

K13-1123



K13-1127

K13-1129

<그림 10. 중국 봄당근 터널 재배에서 선정된 우수조합 : 만생종>

특히 K13-1007, 1106, 1123, 1127, 1129는 선충저항성 A-line으로써 차후 유용하게 이용될 것이라 사료됨.

## (2) 당근 계통의 우수조합의 품질 분석

### (가) 기존 계통의 품질분석

- 선충저항성 계통과의 교배를 위한 최우수 품질의 당근을 선발하기 위한 것으로 제주시 구좌읍 상도리 당근시험포장에서 일동한 기존의 397계통의 당도와 carotene 함량을 분석한 결과 carotenoid 함량이 200ppm 이상이 332계통으로 나타났음(표 10). 당도가 10 brix 이상이 221계통으로 나타났음. 이러한 계통들은 선충저항성 품종 육성의 교배모본으로 이용될 수 있을 것임.



표 24. 제주시 구좌읍 율동시험 기존 계통 당도와 carotene 함량 분석 결과

계통(품종)	당도(brix)	Carotene (µg/g)	계통(품종)	당 도(brix)	Carotene (µg/g)	계통(품종)	당 도(brix)	Carotene (µg/g)
100	10.4	138.57	159	10.8	185.97	218	11.0	301.98
101	8.8	94.15	160	10.5	170.87	220	9.4	265.56
102	10.3	134.86	161	10.1	243.88	221	11.7	235.75
103	10.7	142.97	162	11.5	179.62	222	10.3	248.03
104	10.3	109.23	163	11.1	199.81	224	10.1	265.00
105	11.2	170.29	164	12.5	159.12	225	11.0	251.18
106	8.9	89.94	165	9.8	170.82	226	10.0	207.86
107	10.8	175.34	166	9.5	235.19	227	8.0	192.83
108	10.0	101.07	167	10.2	196.35	228	9.5	256.86
109	10.2	112.38	168	7.9	311.21	229	10.3	239.28
110	13.3	138.66	169	9.8	197.05	230	10.1	217.25
111	10.0	119.13	170	9.0	185.19	231	10.4	228.75
112	11.8	105.72	171	9.0	206.87	232	9.4	288.51
113	10.5	127.78	172	8.6	243.69	233	9.7	292.21
114	10.5	129.67	173	9.3	149.57	234	9.7	262.93
115	10.7	103.12	174	9.9	192.93	235	9.6	221.73
116	10.4	235.72	175	10.6	222.94	236	11.3	232.36
117	9.7	109.61	176	8.4	198.01	237	10.6	262.49
118	9.8	123.12	177	9.1	246.21	238	12.6	221.09
119	9.7	133.89	178	10.4	198.82	239	10.2	262.78
120	10.2	199.11	179	11.0	231.95	240	8.8	249.00
121	10.1	174.70	180	10.6	258.21	241	10.1	395.14
122	10.1	197.09	181	8.3	297.26	242	8.1	270.78
123	13.5	221.87	182	11.4	366.91	243	9.3	467.69
124	9.5	250.97	183	9.3	256.64	244	9.7	277.06
125	11.7	228.48	184	10.9	323.07	245	10.2	258.00
126	11.5	218.98	185	9.8	262.11	246	10.7	274.52
127	12.2	180.14	186	10.3	311.92	247	9.0	272.79
128	11.8	213.42	187	9.5	272.31	248	10.6	323.92
129	13.5	131.44	188	9.7	210.83	249	9.1	289.27
130	10.3	171.47	189	10.8	327.28	250	8.9	353.32
131	10.4	198.16	190	10.0	332.11	251	9.8	351.20
132	9.6	253.10	191	10.2	562.86	252	9.0	223.90
133	10.2	158.90	192	9.8	272.02	253	9.6	305.66
134	10.4	230.80	193	9.7	414.95	254	11.2	363.52
135	10.5	275.78	194	11.4	291.68	255	11.7	356.45
136	11.7	278.01	195	7.7	600.98	256	9.0	268.78
137	10.2	189.93	196	10.7	401.16	257	9.7	252.07
138	10.5	185.06	197	10.3	274.03	258	10.0	374.81
139	10.1	257.37	198	10.0	283.09	259	10.7	291.84
140	9.4	140.14	199	10.4	343.05	260	8.8	222.51
141	11.7	209.49	200	14.3	319.01	261	11.1	360.92
142	10.3	199.22	201	8.6	263.92	262	10.2	356.28
143	11.3	231.88	202	9.6	208.69	263	10.6	357.43
144	10.9	179.67	203	10.3	217.19	264	10.2	388.46
145	8.6	206.98	204	10.5	312.20	265	12.0	370.94
146	9.2	201.14	205	9.2	210.03	266	10.2	349.05
147	10.4	187.01	206	9.7	212.83	267	10.7	313.24
148	9.8	212.31	207	9.8	226.36	268	10.8	351.69
149	9.4	211.47	208	10.2	245.86	269	8.9	361.07
150	9.7	140.38	209	9.3	238.95	270	11.1	279.37
151	10.1	170.55	210	9.3	344.13	301	10.8	270.99
152	8.8	192.13	211	9.6	255.13	302	11.2	289.35
153	10.0	180.18	212	10.5	300.36	303	10.4	308.01
154	7.9	182.41	213	10.0	256.72	304	10.1	343.06
155	10.1	187.51	214	10.9	281.26	305	9.7	329.48
156	9.9	196.23	215	10.4	231.90	306	10.8	288.98
157	11.2	190.76	216	9.8	303.81	307	11.0	500.59
158	11.6	174.02	217	11.7	404.33	308	10.5	533.98

표 24. 제주시 구좌읍 월동시험 기존 계통 당도와 carotene 함량 분석 결과 (계속)

계통(품종)	당도(brix)	Carotene (µg/g)	계통(품종)	당도(brix)	Carotene (µg/g)	계통(품종)	당도(brix)	Carotene (µg/g)
309	9.8	516.28	369	10.3	860.26	458	11.9	631.62
310	11.0	468.51	370	10.9	591.97	459	10.3	625.14
311	10.1	518.91	371	9.9	560.40	460	9.3	683.95
312	11.2	448.87	372	10.1	476.39	461	10.0	626.87
313	10.6	433.26	373	11.1	492.40	462	10.5	310.04
314	9.5	465.83	374	12.6	669.28	463	9.9	451.18
315	11.6	461.74	375	11.3	487.33	1003	10.5	455.69
316	10.9	664.05	376	10.1	505.98	1004	11.0	492.43
317	11.0	492.16	377	11.8	801.11	1005	10.4	404.74
318	10.0	483.05	378	11.4	506.87	1006	10.9	454.68
319	10.8	450.27	379	10.5	791.24	1007	11.6	432.30
320	14.7	382.14	380	11.6	608.71	1008	9.9	547.71
321	9.6	265.31	381	11.4	567.49	1009	11.5	386.99
322	11.6	402.04	382	9.7	708.00	1011	10.2	687.41
323	10.2	534.25	383	8.6	524.40	1013	11.0	645.32
324	10.8	293.16	401	8.3	354.10	1014	10.7	563.47
325	10.8	356.01	402	9.5	418.79	1015	10.0	633.02
326	9.6	358.59	403	10.3	323.87	1018	11.6	600.32
327	10.0	332.71	404	10.2	427.03	1019	10.4	372.35
328	10.3	377.09	405	9.9	459.68	1020	11.4	389.71
329	9.1	307.38	406	7.3	375.65	1023	10.3	861.58
330	12.1	309.23	407	8.1	417.37	1024	11.4	986.00
331	12.2	345.05	408	9.0	387.58	1027	11.6	924.03
332	12.0	313.85	409	10.1	348.34	1029	12.2	741.76
333	12.2	287.26	410	10.7	359.10	1030	11.3	861.36
334	10.9	360.45	411	11.5	319.34	1031	11.6	466.52
335	12.3	277.87	412	8.6	410.48	1038	10.5	631.48
336	10.5	313.04	413	8.6	740.63	1039	11.4	660.58
337	11.3	345.51	414	10.5	389.74	1040	11.8	659.57
338	10.7	361.63	415	10.3	326.30	1041	11.1	515.93
339	10.9	416.65	416	10.7	396.26	1042	11.7	635.47
340	9.6	420.39	417	8.5	421.29	1052	11.8	668.42
341	10.9	288.54	418	8.4	490.93	1057	13.0	695.79
342	12.1	336.34	419	9.7	395.10	1061	12.4	468.57
343	10.8	340.25	420	8.2	319.00	1062	12.6	2115.40
344	9.8	315.55	421	7.1	565.11	1101	9.5	417.54
345	12.5	483.83	422	8.3	434.10	1103	11.1	517.32
346	11.9	328.78	423	8.1	491.83	1104	10.9	524.86
347	12.2	454.94	424	8.6	496.15	1105	13.0	577.83
348	12.7	683.02	425	5.6	295.57	1106	10.5	530.77
349	13.0	567.94	426	9.9	432.58	1107	10.0	649.27
350	10.7	296.66	427	7.7	527.31	1108	13.7	588.26
351	9.8	323.43	428	9.8	572.03	1109	10.7	561.32
352	10.5	352.50	429	9.5	524.04	1110	11.8	151.46
353	10.6	456.75	430	8.9	801.35	1112	10.3	568.75
354	11.3	571.21	431	8.9	374.29	1113	10.4	634.45
355	11.4	295.83	432	12.5	607.25	1114	9.8	540.13
356	8.9	289.63	433	8.2	314.47	1115	9.9	602.66
357	10.4	345.36	434	9.7	384.35	1116	9.9	552.45
358	10.8	354.82	435	9.4	356.62	1117	10.8	661.87
359	9.9	334.19	436	10.1	379.22	1118	10.7	758.80
360	13.0	452.33	437	8.4	408.09	1119	11.2	516.87
361	11.8	322.48	451	10.0	739.74	1120	9.4	520.01
362	11.4	307.39	452	11.4	868.74	1122	10.7	562.29
363	9.5	325.18	453	9.8	645.55	1123	11.0	743.84
364	11.2	483.53	454	10.1	693.73	1124	11.9	826.70
365	10.4	382.98	455	10.9	960.88	1125	11.7	794.29
366	9.9	547.93	456	9.8	920.56	1126	11.5	545.60
367	10.9	479.85	457	10.5	717.92	1127	10.3	697.87

표 24. 제주시 구좌읍 율동시험 기존 계통 당도와 carotene 함량 분석 결과 (계속)

계통(품종)	당도(brix)	Carotene (µg/g)	계통(품종)	당도(brix)	Carotene (µg/g)	계통(품종)	당도(brix)	Carotene (µg/g)	계통(품종)	당도(brix)	Carotene (µg/g)
1128	11.7	575.12	1280	10.9	438.28	52	10.1	476.49	409-(2)	10.0	119.86
1129	10.9	544.09	1281	11.1	1443.71	53	9.4	420.06	410-(1)	9.9	722.68
1201	11.3	615.31	1282	11.7	1258.64	54	8.5	439.25	411-(1)	10.6	1203.63
1203	11.9	798.45	1283	11.1	619.40	55	9.8	486.29	411-(2)	10.4	773.12
1204	12.8	784.30	1284	10.1	893.62	56	10.1	453.92	412-(1)	10.3	788.93
1205	10.6	659.43	1285	11.2	1029.91	57	8.6	711.07	412-(2)	10.4	767.78
1208	10.0	677.84	1286	12.8	1832.35	58	10.7	542.59	413-(1)	11.6	833.10
1209	10.8	677.48	1287	10.0	645.06	59	8.4	506.57	413-(2)	10.4	467.32
1210	14.1	584.17	1288	11.6	712.38	60	9.6	571.76	414-(1)	9.5	803.93
1211	9.9	546.51	2	10.7	404.19	61	8.4	661.29	414-(2)	10.0	821.09
1212	9.9	632.12	3	8.3	346.06	62	8.5	613.52	415-(1)	10.3	1041.48
1215	11.4	1631.65	4	10.3	446.86	63	10.3	466.53	415-(2)	9.4	505.61
1218	10.1	556.84	5	9.5	542.14	64	8.8	1242.14	416-(1)	9.7	539.65
1219	10.8	692.09	6	9.4	661.29	65	9.9	947.83	416-(2)	11.2	830.50
1220	12.1	1288.25	7	8.2	427.60	66	10.9	810.63	417-(1)	10.9	738.56
1221	9.3	1088.61	8	9.2	408.79	67	11.4	462.82	417-(2)	9.5	812.44
1222	10.8	631.72	9	9.4	466.00	68	10.4	532.79	418-(1)	7.9	597.07
1223	9.7	588.11	10	9.4	500.47	69	11.5	692.68	418-(2)	8.1	449.78
1224	8.8	585.90	11	9.6	589.73	70	10.8	501.06	419-(1)	8.0	1492.34
1225	9.1	536.83	12	10.1	870.41	71	8.3	589.31	419-(2)	11.0	947.93
1226	9.9	491.14	13	9.9	505.51	72	9.6	692.11	420-(1)	7.4	374.67
1227	10.8	425.02	14	8.1	454.84	73	10.0	423.88	420-(2)	7.1	472.02
1228	11.2	516.17	15	8.1	427.71	74	9.7	415.67	421-(1)	7.9	825.49
1231	11.7	636.34	16	9.1	952.30	75	9.8	593.69	421-(2)	8.1	573.25
1232	9.5	736.46	17	8.7	506.44	76	8.6	542.94	422-(1)	6.6	725.98
1233	10.4	559.62	18	9.3	536.69	77	10.7	729.04	422-(2)	8.5	788.34
1234	11.2	1411.18	19	10.1	539.83	78	9.6	441.98	423-(1)	8.3	810.24
1235	10.8	786.38	20	10.9	589.73	79	9.4	461.44	423-(2)	8.4	616.23
1236	11.6	449.36	21	10.0	1218.75	80	9.1	652.02	424-(1)	9.9	628.76
1237	6.5	753.24	22	10.9	517.20	81	9.1	668.29	424-(2)	10.5	859.14
1238	10.8	409.80	23	10.9	550.25	82	8.9	912.77	425-(1)	8.5	828.14
1239	15.0	480.25	24	10.1	615.34	83	8.9	684.79	425-(2)	7.8	1834.46
1243	11.1	652.44	25	10.0	559.22	84	9.6	464.13	426-(1)	8.3	955.64
1244	14.1	1228.20	26	9.9	659.83	85	9.9	545.36	426-(2)	9.6	823.83
1246	12.6	585.55	27	9.4	529.14	86	8.3	553.38	427-(1)	8.5	1234.66
1248	10.1	555.02	28	10.3	789.06	87	9.5	653.61	427-(2)	9.8	1216.37
1249	10.9	1290.84	29	9.5	449.36	88	9.0	500.47	428-(1)	8.7	760.69
1250	12.4	686.32	30	9.5	505.02	89	9.1	499.05	428-(2)	8.8	756.27
1251	12.4	1479.59	31	7.9	485.15	90	10.5	438.23	431-(1)	9.4	514.52
1252	11.9	1318.59	32	10.9	540.58	91	10.2	826.24	431-(2)	8.9	637.63
1253	12.4	832.74	33	9.3	739.74	92	10.0	501.06	432-(1)	10.6	540.04
1254	12.7	861.81	34	7.9	689.37	93	9.4	606.94	432-(2)	8.2	224.96
1255	10.9	2190.01	35	8.1	770.60	94	11.1	643.98	433-(1)	9.2	956.23
1256	10.8	857.09	36	8.8	438.52	95	10.1	521.61	433-(2)	10.0	994.04
1258	10.4	1091.47	37	8.3	1212.68	96	10.3	508.44	434-(1)	8.2	1022.59
1259	11.2	492.81	38	10.7	907.00	97	8.5	694.55	434-(2)	9.4	933.84
1263	10.4	504.75	39	9.6	514.38	98	9.7	476.49	435-(1)	8.0	871.48
1264	11.4	538.89	40	9.7	559.55	99	9.0	702.13	435-(2)	8.1	881.72
1265	10.6	464.36	41	8.9	593.36	16-(2)*	7.8	367.73	1010-(2)	9.5	709.82
1266	10.7	478.78	42	9.1	412.44	27-(2)	9.9	909.31	1030-(2)	10.6	850.08
1267	10.5	504.75	43	9.2	487.77	42-(2)	10.4	598.38	1034-(2)	9.6	1004.91
1268	10.7	563.44	44	9.7	607.68	59-(2)	10.3	1006.88	1103-(2)	10.5	749.29
1269	9.4	818.72	45	8.1	751.02	406-(1)**	11.6	826.93	1106-(2)	11.6	876.20
1270	9.2	640.36	46	9.6	527.27	406-(2)	8.4	500.79	*반복 **400번 단위는 Selfing 개체번호임.		
1272	10.8	733.67	47	9.9	676.98	407-(1)	9.8	472.71			
1274	11.9	958.91	48	11.4	723.77	407-(2)	8.4	466.85			
1276	9.7	926.15	49	9.5	587.35	408-(1)	10.0	120.92			
1277	7.9	1223.41	50	9.5	557.90	408-(2)	10.4	93.60			
1279	10.3	796.15	51	8.6	501.06	409-(1)	10.0	100.23			

<4차년도>

가. 선충저항성 계통 및 조합 육성

(1) 선충 저항성 검정

- 2013년 시험에서 *M. incognita*에 대한 저항성 계통간의 조합 중 6조합과 저항성 부계 유지 (Selfing)에서는 15계통이 저항성으로 나타났고, *M. hapla*에 대한 저항성 계통간의 조합 중 22조합과 저항성 부계 유지(Selfing)에서는 17계통에서 저항성으로 나타났다.

2014년 9월 3일 소형 pot에 파종하여 뿌리혹선충의 두 종 *Meloidogyne incognita*와 *M. hapla* 선충을 각각 2014년 10월 15일에 접종하여 선충저항성 계통들을 선발하였음(표 25, 26).

선충저항성 계통으로 선발된 계통들 간의 교배조합 및 각 화분친 계통들의 개체별 부계 유지 (Selfing) 하여, *Meloidogyne incognita* 저항성 조합 8조합과, 저항성 계통 A-line 6계통, 저항성 부계 Selfing 27계통을 육성하였고(표 25), *M. hapla* 저항성 조합 14조합과, 저항성 계통 A-line 6계통, 저항성 부계 Selfing 35계통을 육성하였다(표 26).

표 25. *M. incognita*에 대한 당근 계통(조합 및 여교잡(A-line)<좌>과 화분친<우>)의 저항성 정도(RR)

과종 No	계통내역		RR	과종 No	계통내역		RR
14KH-1	81-2×ln13-1205-1	A X C	R	14KHln-1205-2	ln13-1205-2S	C-line	R
14KH-2	77-1× “ -2	“	R	14KHln-1205-3	“ 1205-3S	“	S
14KH-3	89-2× “ -2	“	S	14KHln-1205-4	“ 1205-4S	“	RR
14KH-4	165-4× “ -3	“	S	14KHln-1206-1	“ 1206-1S	“	R
14KH-5	255-3× “ -3	“	R	14KHln-1209-1	“ 1209-1S	“	R
14KH-24	77-1×ln13-1226-2	“	RR	14KHln-1219-1	“ 1219-1S	“	RR
14KH-25	81-2× “	“	R	14KHln-1226-1	“ 1226-1S	“	RR
14KH-26	255-1× “	“	S	14KHln-1226-2	“ 1226-2S	“	RR
14KH-27	77-1×ln13-1232-2	“	S	14KHln-1231-1	“ 1231-1S	“	RR
14KH-28	81-3× “ -3	“	S	14KHln-1231-2	“ 1231-2S	“	R
14KH-30	255-3× “	“	R	14KHln-1232-3	“ 1232-3S	“	S
14KH-49	93-1×ln13-1238-4	“	S	14KHln-1234-1	“ 1234-1S	“	RR
14KH-51	93-5×ln13-1239-1	“	R	14KHln-1235-1	“ 1235-1S	“	RR
14KH-52	96-2× “	“	S	14KHln-1238-4	“ 1238-4S	“	S
14KH-53	99-3× “	“	R	14KHln-1239-2	“ 1239-2S	“	R
14KH-54	105-2× “ -5	“	S	14KHln-1248-5	“ 1248-5S	“	S
14KH-184	ln13-1039-3×ln13-1203-3	A X B	S	14KHHa-1263-4	Ha13-1263-4S	C-line	R
14KH-185	ln13-1034-3×ln13-1204-1	“	S	14KHHa-1273-2	“ 1273-2S	“	R
14KH-186	ln13-1015-5×ln13-1206-1	“	MR	14KHHa-1274-1	“ 1274-1S	“	R
14KH-187	ln13-1024-4×ln13-1209-1	“	MR	14KHHa-1274-2	“ 1274-2S	“	S
14KH-188	ln13-1254-2×ln13-1231-2	“	MR	14KHHa-1274-3	“ 1274-3S	“	R
14KH-190	Ha13-1129-3×ln13-1205-2	“	RR	14KHHa-1276-2	“ 1276-2S	“	RR
14KH-191	Ha13-1123-1×ln13-1205-3	“	R	14KHHa-1276-3	“ 1276-3S	“	R
14KH-192	Ha13-1108-3×J13-1243-3	“	R	14KHHa-1277-3	“ 1277-3S	“	R
14KHHa-1277-4	“ 1277-4S	“	RR	14KHHa-1281-4	“ 1281-4S	“	S
14KHHa-1277-5	“ 1277-5S	“	RR	14KHHa-1281-5	“ 1281-5S	“	RR
14KHHa-1278-1	“ 1278-1S	“	S	14KHHa-1285-1	“ 1285-1S	“	S
14KHHa-1278-2	“ 1278-2S	“	R	14KHHa-1287-1	“ 1287-1S	“	R
14KHHa-1278-3	“ 1278-3S	“	RR	14KHHa-1287-2	“ 1287-2S	“	RR
14KHHa-1279-5	“ 1279-5S	“	S	14KHHa-1288-1	“ 1288-1S	“	RR

\* HR: highly resistant, R: resistant, MR: moderately resistant, S: susceptible

표 26. *M. hapla*에 저항성 계통으로 선발된 교배모본(좌: 조합 및 여교잡(A-line), 우: 화분친)의 저항성 정도(RR)

과종 No	계통내역		RR	과종 No	계통내역		RR
14KH-1	81-2×ln13-1205-1	A X C	R	14KHln-1205-2	ln13-1205-2S	C-line	RR
14KH-2	77-1× “ -2	“	R	14KHln-1205-3	“ 1205-3S	“	RR
14KH-3	89-2× “ -2	“	S	14KHln-1205-4	“ 1205-4S	“	R
14KH-4	165-4× “ -3	“	S	14KHln-1206-1	“ 1206-1S	“	RR
14KH-5	255-3× “ -3	“	RR	14KHln-1209-1	“ 1209-1S	“	RR
14KH-24	77-1×ln13-1226-2	“	RR	14KHln-1219-1	“ 1219-1S	“	R
14KH-25	81-2× “	“	MR	14KHln-1226-1	“ 1226-1S	“	RR
14KH-26	255-1× “	“	RR	14KHln-1226-2	“ 1226-2S	“	RR
14KH-27	77-1×ln13-1232-2	“	R	14KHln-1231-1	“ 1231-1S	“	RR
14KH-28	81-3× “ -3	“	R	14KHln-1231-2	“ 1231-2S	“	RR
14KH-30	255-3× “	“	RR	14KHln-1232-3	“ 1232-3S	“	R
14KH-49	93-1×ln13-1238-4	“	R	14KHln-1234-1	“ 1234-1S	“	RR
14KH-51	93-5×ln13-1239-1	“	RR	14KHln-1235-1	“ 1235-1S	“	RR
14KH-52	96-2× “	“	R	14KHln-1238-4	“ 1238-4S	“	R
14KH-53	99-3× “	“	R	14KHln-1239-2	“ 1239-2S	“	R
14KH-54	105-2× “ -5	“	MR	14KHln-1248-5	“ 1248-5S	“	MR
14KH-184	ln13-1039-3×ln13-1203-3	A X B	R	14KHHa-1263-4	Ha13-1263-4S	“	R
14KH-185	ln13-1034-3×ln13-1204-1	“	S	14KHHa-1273-2	“ 1273-2S	“	MR
14KH-186	ln13-1015-5×ln13-1206-1	“	RR	14KHHa-1274-1	“ 1274-1S	“	R
14KH-187	ln13-1024-4×ln13-1209-1	“	R	14KHHa-1274-2	“ 1274-2S	“	R
14KH-188	ln13-1254-2×ln13-1231-2	“	R	14KHHa-1274-3	“ 1274-3S	“	MR
14KH-190	Ha13-1129-3×ln13-1205-2	“	RR	14KHHa-1276-2	“ 1276-2S	“	RR
14KH-191	Ha13-1123-1×ln13-1205-3	“	RR	14KHHa-1276-3	“ 1276-3S	“	R
14KH-192	Ha13-1108-3×J13-1243-3	“	RR	14KHHa-1277-3	“ 1277-3S	“	RR
14KHHa-1278-1	Hall3-1278-1S	“	S	14KHHa-1277-4	“ 1277-4S	“	R
14KHHa-1278-2	“ 1278-2S	“	RR	14KHHa-1277-5	“ 1277-5S	“	RR
14KHHa-1278-3	“ 1278-3S	“	RR	14KHHa-1285-1	“ 1285-1S	“	R
14KHHa-1279-5	“ 1279-5S	“	RR	14KHHa-1287-1	“ 1287-1S	“	RR
14KHHa-1281-4	“ 1281-4S	“	RR	14KHHa-1287-2	“ 1287-2S	“	R
14KHHa-1281-5	“ 1281-5S	“	R	14KHHa-1288-1	“ 1288-1S	“	R

\* R: resistant, S: susceptible

### (2) 여교배(back crossing), 교배조합(cross combination) 및 자식(selfing)에 의한 후세대 선충저항성 계통 육성

- 표 25, 26에서 정리된 계통의 당근 유묘를 뿌리혹선충 저항성 검정(2014년 11월 28일)이 끝난 직후 각각 금호 육성 망실에 정식(2014년 11월 29일 정식)하여 교배모본으로 이용하였음.
- 교배후 생산된 종자들은 작년(2014년도 8월 육성한 방법)과 같은 방법으로 8월 중순(2015년 8월 15일 예정) pot에 과종하여 선충저항성 검정용으로 사용할 예정임.

### (3) 선충저항성 계통의 포장성능검정

- 2014년 7월 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통(총 81 교배조합, 38 자식계통)을 포장성능검정을 위하여 2014년 8월 6일 제주도 구좌읍 세화리(2823-2) 당근 재배포장에 과종하여 재배한 후 2014년 12월~2015년 1월 중순에 수확하여 특성조사를 실시하였음(표 27, 28 참조).
- 2014년 8월말~9월초 제주도 구좌읍 전 지역에 많은 양의 비가 내려 이랑과 고랑의 경계가 없어지며 일부 포장은 유실되었다. 그 결과 제주 월동 작형으로서 충분한 성능검정이 어려웠으며, 포장의 일부는 비로 인해 유실되어 작황을 전혀 볼 수 없었다. 각 선충별 저항성 계통에서는 뿌리혹형성이 관찰되지 않았고, 이는 포장의 뿌리혹선충 오염도가 낮기 때문인 것으로 생각됨.

- 조합별 뿌리 생육은 폭우로 인하여 조합별 특성을 세밀히 관찰하기는 어렵지만 전반적인 뿌리의 생육은 근형 특성에 따라 이루어졌다고 판단되며, 이 중 14J-4, 8, 9, 10, 20, 34, 37, 41, 44, 47, 51, 52, 53, 58, 60, 63, 66, 79 등 18 조합은 순도가 아주 우수하며, 근색, 근형, 뿌리 끝 맺힘 등이 우수하여 바로 품종 육성에 이용 가능할 것으로 사료됨.(그림 11)

- 자식 계통의 경우 폭우로 인하여 더욱 피해가 심하였지만, 14J-1210-1, 1210-3, 1212-4, 1222-5, 1223-3, 1223-5, 1243-2, 1243-3, 14Jn-1231-1, 1231-2, 1238-4, 1239-2, 1263-4, 1278-2, 1279-5, 1287-1 등 16계통들은 순도가 아주 우수하며, 계통들 마다 특성이 뚜렷하여 F1품종 육성 재료로 이용 가능성이 아주 큼(그림 12)

표 27. 제주도 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 조합 List

과종no	조제no	조합	조합내역	비고
14J-1	14-1	81-2xIn13-1205-1	{(SBxHF4)xMH10-3}-2 x KT113-1-12-4-1-1	
2	2	77-1x “ -2	(SBxMH10-3BC3)-1 x “ -2	
3	3	89-2x “ -2	(SBxMH10-7BC3)-2 x “ -2	
4	4	165-4x “ -3	(SBxMH10-19BC3)-4 x “ -3	
5	5	255-3x “ -3	(BRx구룡BC1)-3 x “ -3	
6	6	155-2x1205(2-2)	(GRxMH10-16BC1 )-2 x “	
7	7	156-1x “	(BGx “ )-2 x “	
8	8	182-1x “	(BGxMH10-34BC1)-1 x “	
9	9	203-2x “	(SBx34-151BC1)-2 x “	
10	10	204-4x “	(BRx “ )-4 x “	
1	1	218-3x “	(AHx35-152BC1)-4 x “	
2	2	220-3x “	(홍양조춘x “ )-3 x “	
3	3	230-5x “	(막전주홍x08대-31BC1)-5 x “	
4	4	231-5x “	(AHx “ )-5 x “	
5	5	232-5x “	(D7x “ )-5 x “	
6	6	88-1x1223-4	(막전주홍xMH10-6BC1)-1x (01037x03116)-2-4-4	
7	7	81-1x “ -5	{(SBxHF4)xMH10-3}-1 x “ -5	
8	8	88-1x1224-1	(막전주홍xMH10-6BC1)-1 x LF-1-1-2-1	
9	9	81-5x “ -2	{(SBxHF4)xMH10-3}-5 x “ -2	
20	20	77-5x “ -3	(SBxMH10-3BC3)-5 x “ -3	
1	1	81-1x “	{(SBxHF4)xMH10-3}-1 x “ -3	
2	2	89-1x “	(SBxMH10-7BC3)-1 x “ -3	
3	3	88-5x “ -4	(막전주홍xMH10-6BC1)-5 x “ -4	
4	4	77-1xIn13-1226-2	(SBxMH10-3BC3)-1 x LF-1-1-5-2	
5	5	81-2x “	{(SBxHF4)xMH10-3}-2 x “ -2	
6	6	255-1xIn13-1226-2	(BRx구룡BC1)-1 x LF-1-1-5-2	
7	7	77-1x “ 1232-2	(SBxMH10-3BC3)-1 x 4002MjRB-1-2	
8	8	81-3x “ -3	{(SBxHF4)xMH10-3}-3 x “ -3	
9	9	165-1x “	(SBxMH10-19BC3)-1 x “ -3	
30	30	255-3x “	(BRx구룡BC1)-3 x “ -3	
1	1	96-3x “ 1237-1	(BRxMH10-8BC1)-3 x 5238B-2-1	
2	2	77-1x “ -3	(SBxMH10-3BC3)-1 x “ -3	
3	3	81-1x “	{(SBxHF4)xMH10-3}-1 x “ -3	
4	4	92-4x “	(BGxMH10-7BC1)-4 x “ -3	
5	5	165-5x “	(SBxMH10-19BC3)-5 x “ -3	
6	6	177-3x “	(춘왕조생xMH10-32BC1-3) x “ -3	
7	7	88-3x “ -4	(막전주홍xMH10-6BC1)-3 x “ -4	
8	8	183-2x “	(춘왕조생xMH10-34BC1)-2 x “ -4	
9	9	93-2x “ -5	(AHxMH10-7BC1)-2 x “ -5	
40	40	185-2x “ 1238-2	(SBxMH10-51BC3)-2 x 5238B-3-2	
1	1	187-1x “	(GRxMH10-51BC1)-1 x “ -2	

표 27. 제주시 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 조합 List(계속)

과종no	조제no	조합	조합내역	비고
14J-42	14-42	149-1x 1238-3	(GRx홍전기BC1)-1 x 5238B-3-3	
3	3	157-1x -3	(CE28xMH10-16BC1)-1 x “ -3	
4	4	186-1x -3	(BRxMH10-51BC1)-1 x “ -3	
5	5	189-1x -3	{(D7x32-147)xMH10-51}-1 x “ -3	
6	6	185-1x -4	(SBxMH10-51BC3)-1 x “ -4	
7	7	186-3x -4	(BRxMH10-51BC1)-3 x “ -4	
8	8	99-4x 1238-2	(SBxMH10-9BC3)-4 x “ -2	
9	9	93-1x -4	(AHxMH10-7BC1)-1 x “ -4	
50	50	96-1x -4	(BRxMH10-8BC1)-1 x “ -4	
1	1	93-5xIn13-1239-1	(AHxMH10-7BC1)-5 x 5238B-5-1	
2	2	96-2x “	(BRxMH10-8BC1)-2 x -1	
3	3	99-3x “	(SBxMH10-9BC3)-3 x -1	
4	4	105-2x “ -5	(SBxMH10-13BC3)-2 x -5	
5	5	89-2x 1244-1	x 6366B-5-1	
6	6	81-4x “ -2	x -2	
7	7	88-2x “	x -2	
8	8	92-2x “	(BGxMH10-7BC1) x -2	
9	9	177-5x “	(춘왕조생xMH10-32BC1) x -2	
60	60	77-2x “ -3	x -3	
1	1	96-4x “	x -3	
2	2	165-4x “	x -3	
3	3	88-4x “ -4	x -4	
4	4	93-1x “	x -4	
5	5	177-1x 1250-1	x 3180C-5-1	
6	6	165-1x -2	x -2	
7	7	183-5x “	x -2	
8	8	88-4x “ -3	x -3	
9	9	92-2x “ -4	x -4	
70	70	96-1x “	x -4	
1	1	77-5x “ -5	x -5	
2	2	81-4x “	x -5	
3	3	89-2x “	x -5	
4	4	93-3x “	x -5	
5	5	77-1x 1270-1	x 유자-18-4-4-1	
6	6	81-4x “	x “	
7	7	88-5x “	x “	
8	8	89-1x “	x “	
9	9	92-2x “	x “	
80	80	93-4x “	x “	
1	1	96-2x “	x “	

표 28. 제주시 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 자식계통 List

과종no	조제no	계통	비고
14J-1201-1	14-1201-1	35-152-1-1-1-1-1	
-2	-2	-2	
-3	-3	-3	
-4	-4	-4	
1207-1	1207-1	75003-3-8-2-1-1	
-2	-2	-2	
-4	-4	-4	
1209-1	1209-1	09-456-5-3-5-1	
-3	-3	-3	
1210-1	1210-1	유자-18-3-4-1	
-3	-3	-3	



표 28. 제주시 구좌읍에서 포장성능검정을 위해 공시한 선충저항성 자식계통 List(계속)

과중no	조제no	계통	비고
14J-1210-4	14-1210-4	유자-18-3-4-4	
-5	-5	-5	
1212-1	1212-1	유자-18-4-4-1	
-4	-4	-4	
-5	-5	-5	
1215-4	1215-4	고성송 -2-1-4	
-5	-5	-5	
1222-2	1222-2	(01037x03116)-2-4-2	
-5	-5	-5	
1223-1	1223-1	(01037x03116)-2-5-1	
-3	-3	-3	
-5	-5	-5	
1224-2	1224-2	LF-1-1-2-2	
-3	-3	-3	
1226-2	1226-2	LF-1-1-5-2	
-4	-4	-4	
1227-4	1227-4	BC-1-1-2-4	
-5	-5	-5	
1232-3	1232-3	4002MjRB-1-3	
-4	-4	-4	
-5	-5	-5	
1233-4	1233-4	“ -2-4	
-5	-5	-5	
1235-2	1235-2	“ -4-2	
-3	-3	-3	
-4	-4	-4	
1236-1	1236-1	“ -5-1	
1237-1	1237-1	5238B-2-1	
-3	-3	-3	
-4	-4	-4	
-5	-5	-5	
1238-2	1238-2	“ -3-2	
-3	-3	-3	
-4	-4	-4	
1239-2	1239-2	“ -5-2	
-5	-5	-5	
1243-2	1243-2	6333B-5-2	
-3	-3	-3	
-4	-4	-4	
-5	-5	-5	
14JIn-1204-1	14In-1204-1	35-152-1-1-1-5-1	
1205-2	1205-2	KT113-1-12-4-1-2	
-3	-3	-3	
-4	-4	-4	
1206-1	1206-1	75003-3-3-5-5-1	
1209-1	1209-1	09-456-5-3-5-1	
1219-1	1219-1	(01037x03116)-2-1-1	
1226-1	1226-1	LF-1-1-5-1	
-2	-2	-2	
1231-1	1231-1	7322C-2-1	
-2	-2	-2	
1232-3	1232-3	4002MjRB-1-3	
1234-1	1234-1	“ -3-1	
1235-1	1235-1	“ -4-1	
1238-2	1238-2	5238B-3-2	
-4	-4	-4	
1239-2	1239-2	“ -5-2	
1248-5	1248-5	3180C-2-5	



<그림 11. *M. incognita*와 *M. hapla*에 대해 저항성을 갖는 조합의 근형과 생육정도>





<그림 12. *M. incognita*와 *M. hapla*에 대해 저항성을 갖는 계통들의 근형과 생육정도>

### (3) 선충저항성 계통의 품질 조사

- 2014년 육성한 *M. incognita*와 *M. hapla*에 대한 저항성 당근 계통을 포장성능검정을 위하여 2014년 8월 6일 제주시 구좌읍 세화리 당근 시험포장에 파종하여 재배한 후 2015년 1월 중순에 수확하여 당근 뿌리의 당도와 카로틴(carotene) 함량을 표준 방법에 의해 분석하였음(표 29).

- 그 결과 조사한 선충저항성 81조합 및 계통 중 carotene 함량이 150 ppm 이상이 41 조합 및 계통으로 이 수는 2013년도에 많이 못 미치는데 그는 생육 초기 큰 폭우로 인하여 생육환경이 불량했기 때문으로 사료된다.

표 29. 제주도 구좌읍 월동시험 선충저항성 계통의 당도와 carotene 함량 분석 결과

파종No	당도(Brix)	Carotene (µg/g)	파종No	당도(Brix)	Carotene (µg/g)
14J-1	11.5	145.86	14J-56	12.0	155.00
14J-3	8.7	128.04	14J-57	12.1	172.35
14J-4	10.2	145.20	14J-58	10.3	179.47
14J-5	9.4	152.28	14J-59	11.0	179.01
14J-6	9.9	130.64	14J-60	11.4	126.61
14J-7	10.2	159.02	14J-61	12.4	93.70
14J-8	8.9	146.07	14J-62	9.0	176.01
14J-9	11.0	140.10	14J-63	11.4	159.59
14J-10	8.0	124.19	14J-64	10.0	160.44
14J-11	11.6	172.50	14J-66	10.4	167.01
14J-12	10.5	140.89	14J-67	11.9	139.43
14J-13	8.8	100.10	14J-68	10.1	146.83
14J-14	10.6	174.79	14J-69	11.2	167.70
14J-15	9.0	146.83	14J-70	10.7	151.07
14J-16	8.4	153.08	14J-71	11.8	175.43
14J-17	9.4	128.85	14J-72	10.9	173.13
14J-18	9.8	158.24	14J-74	11.2	142.76
14J-19	9.0	142.47	14J-75	10.3	121.97
14J-20	8.6	98.54	14J-76	10.1	138.66
14J-22	10.1	104.27	14J-77	10.4	157.90
14J-23	9.4	109.18	14J-78	8.6	140.26
14J-24	10.0	133.79	14J-79	9.3	130.28
14J-25	9.9	108.14	14J-80	10.2	155.82
14J-26	8.6	92.46	14J-81	9.6	97.85
14J-27	9.5	65.87	14J-184	9.3	111.07
14J-28	10.8	88.01	14J-185	9.0	114.49
14J-30	10.1	103.83	14J-186	8.6	99.62
14J-31	13.1	115.11	14J-187	10.0	139.55
14J-32	10.0	110.14	14J-188	8.2	121.30
14J-33	9.1	95.75	14J-190	8.8	85.69
14J-34	8.6	103.86	14J-191	8.9	96.53
14J-35	9.6	88.66	14J-192	9.2	102.86
14J-36	10.3	142.91	14J-1206-1	10.0	113.56
14J-37	11.6	105.38	14J-1207-4	8.9	145.62
14J-38	11.8	99.89	14J-1209-1	9.8	113.56
14J-39	10.5	119.75	14J-In1209-1	10.1	103.83
14J-40	10.3	199.23	14J-In1209-1	8.0	117.21
14J-41	12.9	151.14	14J-1210-3	9.5	86.49
14J-44	11.2	192.51	14J-1212-1	9.0	103.88
14J-45	12.7	143.26	14J-1215-4	8.7	149.07
14J-46	10.6	185.04	14J-1222-2	8.3	180.05
14J-47	12.2	157.90	14J-1223-1	9.1	115.66
14J-49	12.0	167.70	14J-1224-2	9.5	107.37
14J-51	13.3	154.58	14J-1226-1	8.8	152.28
14J-52	10.1	146.66	14J-1227-4	8.9	118.20
14J-53	12.4	187.68	14J-In1231-1	11.0	84.12
14J-54	11.7	169.94	14J-1233-4	10.7	88.01
14J-55	12.4	156.66	14J-In1235-1	10.0	98.32

## 나. 중국 수출용 및 국내용 당근 내선충 고품질 1대 잡종 품종 개발

### (1) 당근 계통의 우수조합 선발

#### (가) 국내시험

##### ① 가을 및 월동당근시험

- 시험장소: 제주시 구좌읍 시험포장

- 파종 : 2014년 8월 6일

- 공시계통: A-line; 79 계통.

일반 우수 조합 : 141조합

일반 우수 A-line × 내선충 B-line 인 조합; 81조합.

내선충 A-line; 14계통.

일반 우수 B-line; 94계통.

내선충 B-line; 111계통.

대비종 53종.                      총 573 조합 및 계통.

- 결과: 일반 우수 A-line × 내선충 B-line 인 F<sub>1</sub> 조합; 18조합 선발(2015년 봄당근 시험재배)

내선충 B-line; 36계통 모본 선발

내선충 A-line; 8계통 모본 선발

내선충 A-line × 내선충 B-line 인 조합 및 계통; 8계통 선발

2014년도 재배시험 시 폭우 피해가 심하여 2015년 8월 제주 파종시 재시험 할 계획임

##### ② 봄 당근 터널시험

- 시험장소 : 경남 양산시 하북면

- 파종 : 2015년 2월 3일

= 공시계통: 제주도 조합; 81조합

양산 2014년도 우수조합; 34조합

중국 북경 우수 F<sub>1</sub> 조합; 15조합

대비종; 9품종

총 155조합 및 품종

- 결과: 2015년 경남 양산 노지 봄당근 시험에서 일반 우수 A-line × 내선충 B-line 인 조합에서 8조합이 우수조합으로 선발되었으며 이들의 특성은 그림 13 나타난 바와 같다. 이들의 생육 특성으로 추대에 안정되어 있다.

- 우수 조합 중 15YS-17, 62는 극조생으로 하우스 재배에 적합할 것으로 판단되며 15YS-14, 28, 35는 중생계로 근피색이 뛰어나며 순도가 좋은 품질계 품종으로 가능성이 있으며, 15YS-32, 57, 74는 중 만생계로서 봄 작형에는 다소 무리가 있어 보이나 순도나 품질이 뛰어나 가을 또는 월동작형으로 재 시험을 할 필요가 있을 것으로 판단된다(그림 13).



<조생계>



<중생계>



<만생계>

<그림 13. 봄당근 터널 재배에서 선정된 우수조합>

(나) 중국 시험

① 가을당근 시험

- 시험장소: 북경 동성종묘 연구소 포장

- 파종: 2014년 8월 초

- 공시계통: 제주도 조합; 81조합

양산 2014년도 우수조합; 34조합

중국 북경 우수 F<sub>1</sub> 조합; 15조합

대비종; 9품종

총 155조합 및 품종

- 결과: 중국 북경 우수 F<sub>1</sub> 조합; 9조합 선발

14FDS-1, 2, 3, 4, 5, 6, 51, 52, 133





<그림 14. 중국 가을당근 시험에서 선정된 우수조합>

## (2) 당근 계통의 우수조합의 품질 분석

### (가) 기존 계통의 품질분석

- 선충저항성 계통과의 교배를 위한 최우수 품질의 당근을 선발하기 위한 것으로 경남 양산시 하북면 당근시험포장에서 계통을 채취, 분석하였다.

분석 결과 200ppm이상이 56계통으로 나타났음(표 30). 당도가 10 brix 이상이 58계통으로 나타났음. 이러한 계통들은 선충저항성 품종 육성의 교배모본으로 이용될 수 있을 것임.

표-30 양산 하북면 봄당근시험 선충저항성 계통의 당도와 carotene 함량 분석 결과

품 종	당 도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )	비고
시교-1	11.3	214.46	
시교-2	10.6	260.03	
시교-3	12.1	267.14	
시교-4	11.8	117.75	
시교-5	13.7	257.85	
시교-6	10.4	396.34	
15YS대-1	11.8	336.19	대비종
15YS대-2	10.4	299.52	대비종
15YS대-3	11.8	330.92	대비종
15YS대-4	13	250.62	대비종
15YS대-5	11.4	196.55	대비종
15YS대-6	22.7	225.56	대비종
15YS대-7	10.7	243.65	대비종
15YS대-8	13.8	240.54	대비종
15YS대-9	13.6	243.53	대비종



표-30 양산 하북면 봄당근시험 선충저항성 계통의 당도와 carotene함량 분석 결과(계속)

품 종	당 도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )	비고
15YS-2	11.7	358.54	
15YS-3	13.3	245.75	
15YS-5	12.8	258.25	
15YS-7	13.7	402.29	
15YS-9	12.1	231.60	
15YS-12	12.6	217.54	
15YS-13	11.6	209.85	
15YS-15	14.1	314.18	
15YS-17	11.6	428.82	
15YS-18	13.3	271.76	
15YS-20	13.4	286.18	
15YS-21	11.5	211.79	
15YS-22	11.6	276.13	
15YS-24	13.0	262.13	
15YS-25	16.1	169.96	
15YS-26	10.9	231.30	
15YS-28	11.6	290.05	
15YS-31	12.6	313.55	
15YS-32	12.1	371.30	
15YS-33	13.6	390.28	
15YS-34	14.5	428.82	
15YS-35	11.1	345.88	
15YS-37	14.6	450.89	
15YS-39	14.9	306.36	
15YS-41	8.6	373.24	
15YS-42	13.0	371.29	
15YS-44	12.1	380.32	
15YS-47	13.0	296.49	
15YS-48	11.4	385.03	
15YS-51	11.9	226.07	
15YS-57	12.4	296.15	
15YS-58	11.4	238.51	
15YS-59	10.9	351.54	
15YS-62	11.6	288.58	
15YS-66	11.1	284.73	
15YS-67	15.2	337.43	
15YS-69	11.1	227.65	
15YS-70	12.8	260.90	

표-30 양산 하북면 봄당근시험 선충저항성 계통의 당도와 carotene함량 분석 결과(계속)

품 종	당 도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )	비고
15YS-71	9.2	305.57	
15YS-74	12.5	380.32	
15YS-77	12.1	261.32	
15YS-78	11.7	292.99	
15YS14-45	18.6	218.95	2014년 봄 양산우수조합
15YS14-99	11.4	314.44	"
15YS14-148	10.1	215.78	"
15YS14-162	11.6	184.92	"
15YS14-183	13.1	318.45	"
15YS14-185	9.6	218.44	"
15YS14-186	15.1	338.97	"
15YS14-205	9.8	164.81	"
15YS14-245	10.6	221.22	"
15YS14-247	10.5	139.30	"
15YS14-248	11.5	129.85	"
15YS14-382	12.0	250.09	2014년 봄 양산우수조합
15YS14-383	12.5	280.11	"
14-51	14.5	326.10	"

<5차년도>

가. 선충저항성 계통 및 조합 육성

(1) 선충 저항성 검정

- 4년차 시험까지에서 *M. incognita*와 *M. hapla* 복합 저항성을 갖는 7개의 조합과 그 7개의 부, 모계의 계통들을 다시 테스트를 하였으며(표 31), 그 결과 두 선충의 복합 저항성을 갖는 조합은 15KH-3 조합이었으며, *M. incognita*의 저항성을 갖는 조합은 15KH-4 조합이고, *M. hapla*의 저항성을 갖는 조합은 15KH-7로 나타났다.(표 32, 33)

표 31. 2015년 8월 내선충 조합 및 계통 파종내역(금호 육성하우스)

파종 No	조제 No	계통	계통 내역
15KH-1	15-1		Ha14KH-2-④×In14KHIn-1205-4-⑤
15KH-1 ♀		14KH-2	(77-1×In13-1205-2)
			77-1 ; (SBxMH10-3)BC3
15KH-1 ♂			In14KHIn-1205-4-⑤
			1205-4-5 ; KT113-1-12-4-1-4-5
15KH-2	15-2		Ha14KH-4-①×In14KHIn-1205-3-④
15KH-2 ♀		Ha14KH-4	(165-4×In13-1205-3)
			165-4 ; (SBxMH10-19BC)3
15KH-2 ♂			In14KHIn-1205-4-⑤
			1205-4-5 ; KT113-1-12-4-1-4-5
15KH-3	15-3		Ha14KH-26×1226-2-③
15KH-3 ♀		Ha14KH-26	(255-1×In13-1226-2)
			255-1 ; (BRx구룡5촌)BC1
15KH-3 ♂			In14KH-1226-2-③
			1226-2-3 ; LF-1-1-5-2-3
15KH-4	15-4		Ha14KH-27×In14KH-1234-1
15KH-4 ♀		Ha14KH-27	(77-1×In13-1232-2)
			77-1 ; (SBxMH10-3)BC3
15KH-4 ♂			In14KH-1234-1
			1234-1 ; 4002MjRB-3-1
15KH-5	15-5		Ha14KH-51×In14-1239-2-3
15KH-5 ♀		Ha14KH-51	(93-5×In13-1239-1)
			93-5 ; (AHxMH10-7)BC1
15KH-5 ♂			In14KH-1239-2-3
			1239-2-3 ; 5238B-2-2-3
15KH-6	15-6		Ha14KH-51×In14KH-1239-2-2
15KH-6 ♀		Ha14KH-51	(93-5×In13-1239-1)
			93-5 ; (AHxMH10-7)BC1
15KH-6 ♂			In14KH-1239-2-2
			1239-2-2 ; 5238B-2-2-2
15KH-7	15-7		Ha14KH-53×In14KH-1239-2-5
15KH-7 ♀		Ha14KH-53	(99-3×In13-1239-1)
			99-3 ; (SBxMH10-9)BC3
15KH-7 ♂			In14KH-1239-2-5
			1239-2-5 ; 5238B-2-2-5

표 32. 내선충성 우수조합 및 계통 sreening(*M. incognita*)

Line No.	<i>M. incognita</i>				<i>M. hapla</i>			
	Gall index by gall number		Gall index by gall root ratio(%)		Gall index by gall number		Gall index by gall root ratio(%)	
	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD
1209-1-5	2.2	1.9	2.6	1.1	2.4	0.9	2.2	0.4
1226-1-3	0.8	0.8	1.2	0.8	0.0	0.0	0.6	0.5
1226-2-3	0.2	0.4	0.8	0.4	0.0	0.0	0.4	0.5
1234-1-2	0.2	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9	1.0	0.7
1234-1-4	1.0	1.0	1.4	0.5	2.6	0.5	2.4	0.5
15KH-1♂	1.8	1.0	1.8	1.0	1.4	0.5	1.4	0.5
15KH-1♀	1.8	0.8	1.6	0.9				
15KH-2	2.2	0.4	2.2	0.4	3.2	1.3	2.6	0.5
15KH-2♀	1.6	1.1	1.6	0.9	2.8	1.6	2.6	0.5
15KH-3	0.8	0.8	1.0	0.7	0.8	0.8	0.8	0.4
15KH-3♀	2.8	1.5	2.4	0.9	2.6	1.3	2.2	0.8
15KH-4	0.6	0.9	1.0	0.7	2.0	1.2	1.6	1.1
15KH-4♀	0.6	0.5	1.4	0.5	1.2	0.8	1.4	0.5
15KH-5	0.6	0.9	1.2	0.4	2.0	0.0	1.8	0.4
15KH-5♀	1.0	0.7	1.8	0.8	1.6	0.5	1.4	0.5
15KH-6	1.4	1.1	2.0	0.7	1.2	0.8	1.8	0.8
15KH-7	1.2	1.3	2.0	1.0	1.0	0.8	1.0	0.0
15KH-7♂	1.4	0.5	1.8	0.4	2.0	0.7	2.0	0.7
15KH-7♀	1.8	0.8	2.2	0.8	2.8	1.5	2.4	0.9
신희전5촌	1.6	0.9	2.0	1.0	1.4	0.9	1.6	0.5

15KH-1♂(Mi), 15KH-7(Mh)는 4반복임. 초록색은 1.0 이하 값으로 저항성(R)이고 분홍색은 두 가지 선충 모두에 저항성일 가능성이 높은 계통임.



사진 15. 15KH-3(우수조합)





사진 16. 15KH-3 우(우수조합의 모계)



사진 17. 15KH-4(우수조합)



사진 18. 15KH-7(우수조합)



사진 19. 1234-1-2(우수계통)

표 33. 내선충 우수조합 및 우수계통 성분분석

과종 No	당 도(Brix)	Carotene( $\mu\text{g/g}$ )
15KH-1	10.0	123.25
Ha14KH-2-④×In14KHIn-1205-4-⑤		
15KH-1 ♀	11.5	145.86
77-1 ; (SBxMH10-3)BC3		
15KH-1 ♂	9.2	112.10
In14KHIn-1205-4-5 ; KT113-1-12-4-1-4-5		
15KH-2	9.5	150.20
Ha14KH-4-①×In14KHIn-1205-3-④		
15KH-2 ♀	9.9	130.67
165-4 ; (SBxMH10-19BC)3		
15KH-2 ♂	9.5	150.20
In14KHIn-1205-4-5 ; KT113-1-12-4-1-4-5		
15KH-3	10.9	148.58
Ha14KH-26×1226-2-③		
15KH-3 ♀	8.6	92.46
255-1 ; (BRx구룡5촌)BC1		
15KH-3 ♂	9.3	160.21
In14KH-1226-2-3 ; LF-1-1-5-2-3		
15KH-4	11.0	163.32
Ha14KH-27×In14KH-1234-1		
15KH-4 ♀	9.5	65.87
77-1 ; (SBxMH10-3)BC3		
15KH-4 ♂	8.9	361.00
In14KH-1234-1 ; 4002MjRB-3-1		
15KH-5	13.0	149.79
Ha14KH-51×In14-1239-2-3		
15KH-5 ♀	13.3	154.58
93-5 ; (AHxMH10-7)BC1		
15KH-5 ♂	9.5	121.97
In14KH-1239-2-3 ; 5238B-2-2-3		

표 33. 내선충 우수조합 및 우수계통 성분분석

과종 No	당도(Brix)	Carotene(μg/g)
<b>15KH-6</b>	12.7	139.46
Ha14KH-51×In14KH-1239-2-2		
<b>15KH-6 ♀</b>	13.3	154.58
93-5 ; (AHxMH10-7)BC1		
<b>15KH-6 ♂</b>	11.0	121.50
In14KH-1239-2-2 ; 5238B-2-2-2		
<b>15KH-7</b>	12.1	140.04
Ha14KH-53×In14KH-1239-2-5		
<b>15KH-7 ♀</b>	12.4	187.68
99-3 ; (SBxMH10-9)BC3		
<b>15KH-7 ♂</b>	10.8	127.00
In14KH-1239-2-5 ; 5238B-2-2-5		
<b>14KHIn-1209-1-5</b>	12.2	160.39
09-456-5-3-5-1-5		
<b>14KHIn1226-1-3</b>	11.0	178.63
LF-1-1-5-1-3		
<b>14KHIn1226-2-3</b>	9.3	160.21
LF-1-1-5-2-3		
<b>14KHIn1234-1</b>	8.9	361.00
4002MjRB-3-1		
<b>14KHIn1234-1-2</b>	10.3	270.94
4002MjRB-3-1-2		
<b>14KHIn1234-1-4</b>	11.7	312.19
4002MjRB-3-1-4		

2016년 12월 중으로 우수조합 2조합(15KH-3, 15KH-7)은 품종보호출원 신청.(당근의 품종보호출원 재배심사는 매년 7월 실시 되므로 5월(2개월 전)까지 시료제출을 하여야 함.)



## 제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

코드번호 D-06

### 4-1. 목표 달성도

년도	구분	특허		신품종				유전 자원 등록	논문		기타 (학술 발표)
		출원	등록	품종명 칭등록	품종생산 수입판매 신고	품종보호			SCI	비SCI	
						출원	등록				
1차 년도	목표								1		
	달성									1	
2차 년도	목표							1			
	달성							0		2	
3차 년도	목표	1						1			
	달성							1	1	1	
4차 년도	목표	1						1			
	달성							1		1	
5차 년도	목표	1		2		2		1			
	달성			2		2		1		1	
계	목표	3		2		2		4	1	0	
	달성	0		2		2		3	1	6	

### 4-2. 관련분야 기여도

#### ○ 신품종의 명칭 등록 및 품종보호 출원

- 현재 국내외 내선충 당근 품종이 개발된 사례가 없는 실정으로, 본 연구팀은 선충저항성이며 생산성과 난테스 타입의 근형으로 중만생종인 2품종(홍익 1호, 홍익 2호, 아래 사진) 개발하여 신품종 명칭 등록 및 품종보호 등록을 위해 출원하였으며 아울러 선충저항성 계통 A-line, B-line을 각각 2, 3계통을 개발하였음.



근형: 장원통형(nantes type)  
근장: 20~22cm  
숙기: 중 ~ 중만생종  
재배작형: 가을 및 월동작형  
- 어깨가 크게 비대되지 않으며,  
뿌리끝 맺힘이 생육후기가 되면 잘  
맺힘; 다수성품종, 선충 내성 강화

근형: 장원통형(nantes type)  
근장: 21~23cm  
숙기: 중만생종  
재배작형: 가을 및 월동작형  
- 어깨가 크게 비대되지 않으며,  
뿌리끝 맺힘이 높음.  
다수성품종, 선충 내성 강한 편.

○ 논문게재(4편)+학술발표(6편)

- 우리나라 당근 계통의 뿌리혹선충에 대한 저항성 정도 및 저항성 특성이 밝혀졌고, 두 종의 뿌리혹선충(*Meloidogyne incognita*와 *M. hapla*)의 피해도 및 구별된 당근의 저항성 정도가 밝혀져 당근 재배 시 선충방제관리에 활용하여 당근의 생산성과 품질 제고 기대 및 강한 선충 저항성 당근 계통(품종)의 검정을 위한 스크리닝 시스템의 확보로 차후 지속적 저항성 유지와 보다 강한 저항성 당근의 육성을 위한 Quality control(QC) 및 선충접종 기술 확보.

## 제5장. 연구개발성과의 활용계획

코드번호	D-07
<p>○ 개발된 선충저항성 두 가지 당근 품종에 대해서는 2013년 12월 22일에 품종보호(품종명칭등록) 출원 신청을 완료하여 내년도 2월 중으로 등록이 예상되는 바 이 품종들은 상용화하는 우수 당근 품종보다 선충저항성이 더 강하고 당도와 카로틴 함량이 높고, 생산성이 높으며, 뿌리끝 맺힘이 양호한 점 차후 인기 상승의 요소가 다분함으로 이 품종들을 상용화하면 본 품종들의 국내 시장 점유도를 제고할 것으로 생각됨.</p> <p>○ 우리나라 당근 200 계통으로 시작된 교잡계 및 자식계의 선충저항성 정도와 저항성 특성, 포장성능 및 품질 지수(당도 및 카로틴 함량)가 구명되어 선충저항성 또는 고품질 당근 육성을 위한 기본 재료와 정보를 제공할 수 있을 것임.</p> <p>○ 우리나라 야외포장과 시설재배지에 주로 분포하는 선충 종의 피해도를 극대화하는 토성 조건이 구명되었으므로 차후 보다 강한 선충저항성 당근의 개발을 위한 스크리닝 시스템을 확보하였고 또 본 과제를 통해 개발되거나 육성된 품종과 계통들의 저항성 지속을 위한 주기적인 QC를 위한 방법으로 활용가능할 것임.</p> <p>○ 접종실험을 통해 우리나라 당근 계통의 뿌리혹선충 저항성이 다인자(미동유전자)에 의한 유전특성일 가능성이 농후하므로 차후 이에 대한 확실한 구명이 필요하며 이 경우 선충저항성 계통 육성 및 품종 개발에 방향성 결정과 이에 따른 적용기술의 결정에 주요한 정보를 제공할 것으로 판단됨.</p>	

## 제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

코드번호	D-08
------	------

- 당근에서 발견된 두 가지 뿌리혹선충 *Meloidogyne incognita*와 *M. hapla*의 병원성과 피해도의 차이는 본 과제에서 나타난 바와 같이 전세계적으로 알려진 현상으로 우리나라 당근의 재배지인 야외 포장과 시설하우스 재배지에서의 예상되는 선충의 피해로 특히 차후 시설재배지의 면적이 증가할 때 요주의 사항으로 판단됨.
- 본 과제에서 밝혀진 토성에 따른 피해도 차이 역시 뿌리혹선충에서 잘 알려진 사실로 모래땅에서 피해가 큰데 이것과 관련해서 토양의 수분포텐셜과 연관시키고 있었으나 본 연구에서는 그 mechanism을 구명하여 새로운 사실을 추가한 성과를 이룸
- 미동유전자로 이루어진 다인자저항성의 경우 환경요인에 따라 병원체에 의한 피해도, 즉 작물의 저항성 정도에 차이를 보인다는 여러 연구 결과는 본 연구에서 토성과 선충의 접종 농도에 따른 피해도의 차이에서도 확인이 된 바 차후 우리나라 당근의 이러한 저항성 유전 특성을 바탕으로 안정적인 저항성 육성프로그램의 활용에 참고사항이 될 것으로 사료됨.

## 제7장. 연구개발성과의 보안등급

## 제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

## 제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

# 제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

## (1) 품종보호(명칭등록)출원

번호	품종명(영문)	출원일	비고
1	홍익 1호(Hongik 1Ho)	2016. 12. 22	근거자료 아래 첨부
2	홍익 2호(Hongik 2Ho)	2016. 12. 22	근거자료 아래 첨부

■ 식물신종보호법 시행규칙 [별지 제19호서식]

### 품종보호 출원서

출원번호	출원일	처리기간 10일
출원인	성명 (한글) (주)한중당근육종연구소 (영문) 주소 (한글) 706794 대구광역시 수성구 범어로 13길남타운 8-105 (영문) 지분 100	생년월일 (외국인은 국적) 1941년 01월 03일 전화번호 010-9361-6712
대리인	성명 주소	생년월일 (외국인은 국적) 전화번호
육성자	성명 (한글) 박용 (영문) 주소 (한글) 대구광역시 수성구 범어로 13길남타운 8-105 (영문)	생년월일 (외국인은 국적) 1941년 01월 03일 전화번호 053-756-4561
종종이 속하는 작물의 학명 및 일반명 Daucus carota L. (당근)		
종종이 명칭 (한글) 홍익 1호 (영문) Hongik 1Ho		
식물신종보호법, 제31조제3항에 따른 우선권 주장	출원국명 대한민국	출원일 20161222
출원서류	출원번호	
종종의 특성 설명 (별지 사용)	출원번호	
종종 육성 과정의 설명 (별지 사용)	출원번호	

「식물신종보호법, 제30조제1항 및 같은 법 시행규칙 제40조에 따라 위와 같이 품종보호 출원을 합니다.

2016년 12월 22일  
출원인(대리인) (주)한중당근육종연구소 ( )

국립종자원장 귀하

1. 종종의 사진  
2. 종차시료(종차시료가 없록, 영양제 또는 수산사출인 경우에는 재배시행 적기 등을 고려하여 신종명칭, 국립종자원장 또는 국립수선과학원장이 따로 제출을 요청한 시기에 제출을 요청한 것으로 제출하여야 합니다.)  
3. 품종보호 출원 수수료 납부증명서 1부  
4. 우선권 주장 수수료 납부증명서 1부(우선권을 주장하는 경우만 해당합니다.)  
5. 권리에 관한 지문을 증명하는 서류 1부(지문이 작성되어 있는 경우만 해당합니다.)  
6. 대리권을 증명하는 서류 1부(대리인을 통하여 제출하는 경우만 해당합니다.)  
7. 「유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률」 제8조제3항에 따른 위해성 심사서 1부(유전자 변형종종인 경우에만 해당한다.)  
8. 출원인의 지문을 증명하는 서류 1부(지문을 증명할 경우만 해당합니다.)

210mm×297mm(백상지 80g/㎡)

■ 식물신종보호법 시행규칙 [별지 제19호서식]

### 품종보호 출원서

출원번호	출원일	처리기간 10일
출원인	성명 (한글) (주)한중당근육종연구소 (영문) 주소 (한글) 706794 대구광역시 수성구 범어로 13길남타운 8-105 (영문) 지분 100	생년월일 (외국인은 국적) 1941년 01월 03일 전화번호 010-9361-6712
대리인	성명 주소	생년월일 (외국인은 국적) 전화번호
육성자	성명 (한글) 박용 (영문) 주소 (한글) 대구광역시 수성구 범어로 13길남타운 8-105 (영문)	생년월일 (외국인은 국적) 1941년 01월 03일 전화번호 053-756-4561
종종이 속하는 작물의 학명 및 일반명 Daucus carota L. (당근)		
종종이 명칭 (한글) 홍익 2호 (영문) Hongik 2Ho		
식물신종보호법, 제31조제3항에 따른 우선권 주장	출원국명 대한민국	출원일 20161222
출원서류	출원번호	
종종의 특성 설명 (별지 사용)	출원번호	
종종 육성 과정의 설명 (별지 사용)	출원번호	

「식물신종보호법, 제30조제1항 및 같은 법 시행규칙 제40조에 따라 위와 같이 품종보호 출원을 합니다.

2016년 12월 22일  
출원인(대리인) (주)한중당근육종연구소 ( )

국립종자원장 귀하

1. 종종의 사진  
2. 종차시료(종차시료가 없록, 영양제 또는 수산사출인 경우에는 재배시행 적기 등을 고려하여 신종명칭, 국립종자원장 또는 국립수선과학원장이 따로 제출을 요청한 시기에 제출을 요청한 것으로 제출하여야 합니다.)  
3. 품종보호 출원 수수료 납부증명서 1부  
4. 우선권 주장 수수료 납부증명서 1부(우선권을 주장하는 경우만 해당합니다.)  
5. 권리에 관한 지문을 증명하는 서류 1부(지문이 작성되어 있는 경우만 해당합니다.)  
6. 대리권을 증명하는 서류 1부(대리인을 통하여 제출하는 경우만 해당합니다.)  
7. 「유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률」 제8조제3항에 따른 위해성 심사서 1부(유전자 변형종종인 경우에만 해당한다.)  
8. 출원인의 지문을 증명하는 서류 1부(지문을 증명할 경우만 해당합니다.)

210mm×297mm(백상지 80g/㎡)

## (2) 논문 게재

논문(국내외 전문학술지) 게재							
번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)
1	Screening and histopathological characterization of Korean carrot lines for resistance to the root-knot nematode, <i>Meloidogyne incognita</i>	The Plant Pathology Journal	서윤희 (김영호)*	30(1)	한국	한국식물병리학회	SCIE (IF 0.920)
2	Comparisons of pathological responses in carrot to root-knot nematodes	The Plant Pathology Journal	서윤희 (김영호)	31(4)	한국	한국식물병리학회	SCIE (IF: 0.920)
3	Effects of soil textures on infectivity of root-knot nematodes on carrot	The Plant Pathology Journal	김은지 (김영호)	게재 승인#	한국	한국식물병리학회	SCIE (IF: 0.920)

\*교신저자, #게재승인(2016. 8. 24)

# 제11장. 기타 사항

## 제12장. 참고 문헌

- Agrios, G. N. 2004. Plant Pathology, 5<sup>th</sup> edi. Academic Press, NY, USA.
- Anwar, S.A and McKenry, M.V. 2010. Incidence and reproduction of *Meloidogyne incognita* on vegetable crop genotypes. *Pakistan J. Zool.* 42:135-141.
- Baker, K. R. 1985. Nematode extractions and bioassays. In: An advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. II. Methodology, eds. by K.R. Baker, C.C. Carter, and J.N. Sasser, pp. 19-35. North Carolina State University, NC, USA.
- Bélair, C. 1984. Tolerance of carrot cultivars to northern root-knot nematode as influenced by preplant population densities. *Phytoprotection* 65: 69-73
- Bonants, P. J. M., Fitters, P. F. L., Thijs, H., Belder, E. D., Waalwijk, C. and Henfling, J. W. D. M. 1995. A basic serine protease from *Paecilomyces lilacinus* with biological activity against *Meloidogyne hapla* eggs. *Microbiol.* 141: 775-784
- Bridge, J. and Starr, J. L. 2007. Plant nematodes of agricultural importance: A color handbook. Academic Press, San Diego, CA, USA
- Brown EB, 1978. Cultural and biological control methods. In: Southey JF, ed. *Plant Nematology*, 3<sup>rd</sup>ed.London,UK:HerMajesty'sStationeryOffice,269-82.
- Chitwood, D. J. 2003. Research on plant-parasitic nematode biology conducted by the United States Department of Agriculture - Agricultural Research Services. *Pest Management Science* 59: 748-753.
- Davis, R. M. 2004. Carrot diseases and their management. In: Diseases of Fruits and Vegetables Vol. 1, ed. by S. A. M. H. Naqvi, pp. 297-440. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- De Leij, F. A. A. M., Kerry, B. R. and Dennehy, J. A. 1993. *Verticillium chlamydosporium* as a biological control agent for *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* in pot and micro-plot tests. *Nematologica* 39: 115-126
- Dhingra, O. D. and Sinclair, J. B. 1985. *Basic plant pathology methods*. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL, USA. 355 pp.
- Handelsman, J., Raffel, S., Mester, E. H., Wunderlich, L. and Grau, C. R. 1990. Biological control of damping-off alfalfa seedlings with *Bacillus cereus* UW85. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 713-718
- Harris, J.A., Hobbs, R.J., Higgs, E. and Aronson, J. 2006. Ecological restoration and global climate change. *Restor. Ecol.* 14:170-176.

- Hartman, K. M. and Sasser, J. N. 1985. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal-pattern morphology. In: *An advanced treatise on Meloidogyne, Vol. II. Methodology*, ed. by K. R. Barker, C. C. Carter and J. N. Sasser, pp. 69-77. North Carolina State University, Raleigh, NC, USA
- Hunter, A. H. 1958. Nutrient absorption and translocation of phosphorus as influenced by the root knot nematode (*Meloidogyne incognita acrita*). *Soil Sci.* 86: 245-250.
- Hussey, R. S. 1985. Host-parasite relationships and associated physiological changes. In: *An advanced treatise on Meloidogyne. Vol. I. Biology and control*, eds. by J. N. Sasser and C.C. Carter, pp. 143-154. North Carolina State University, NC, USA.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate change. In: Synthesis report. Contribution of working group I, II, and III to the fourth assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds. by R.K. Pachauri and A. Reisinger. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Johnson, A.W. and Fassuliotis, G. 1984. Nematode parasites of vegetable crops. In: *Plant and insect nematodes*, ed. by W. R. Nickle, pp. 323-327. Marcel Dekker, Inc., New York, N. Y., USA.
- Karnovsky, M. J. 1965. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. *J. Cell Biol.* 27: 137A
- Kim DG, Choi DR, Lee SB, 2001a. Effects of control methods on yields of Oriental melon in fields infested with *Meloidogyne arenaria*. *Res. Plant Dis.* 7: 42-48 (in Korean).
- Kim DG, Choi SK, 2001. Effects of incorporation method of nematicides on reproduction of *Meloidogyne arenaria*. *Kor. J. Appl. Entomol.* 40: 89-95 (in Korean).
- Kim DG, Lee YG, Park BY, 2001b. Root-knot nematode species distributing in greenhouses and their simple identification. *Res. Plant Dis.* 7: 49-55 (in Korean).
- Kim, D.G. 2001. Occurrence of root-knot nematodes on fruit vegetables under greenhouse conditions in Korea. *Res. Plant Dis.* 7:69-79 (in Korean).
- Kim, D.G. 2001. Occurrence of root-knot nematodes on fruit vegetables under greenhouse conditions in Korea. *Res. Plant Dis.* 7:69-79 (in Korean).
- Kim, D.G., Choi, D.R. and Lee, S.B. 2001a. Effects of control methods on yields of Oriental melon in fields infested with *Meloidogyne arenaria*. *Res. Plant. Dis.* 7:42-48 (in Korean).
- Kim, D.G., Lee, Y.G. and Park, B.Y. 2001b. Root-knot nematode species distributing in greenhouses and their simple identification. *Res. Plant Dis.* 7:49-55 (in Korean).

- Kim, Y. H. and Ohh, S. H. 1990. Anatomical evidence on the differentiation of xylem vessels around the giant cells induced by the root-knot nematode. *Korean J. Plant Pathol.* 6: 417-420.
- Kinloch, R.A. and Hinson, K. 1972. The Florida program for evaluating soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes for susceptibility to root-knot nematode disease. *Proc. Soil Crop Sci. Florida* 32:173-176.
- Korean Society of Plant Pathology. 2009. List of plant diseases in Korea, 5th ed. Korean Society of Plant Pathology, Suwon, Korea.
- Mai, W. F. 1985. Plant-parasitic nematodes: their threat to agriculture. In: An advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. I. Biology and control, eds. by J. N. Sasser and C.C. Carter, pp. 11-18. North Carolina State University, NC, USA.
- Mennan, S., Chen., S. and Melakeberhan, H. 2006. Suppression of *Meloidogyne hapla* populations by *Hirsutella minnesotensis*. *Biocont. Sci. Technol.* 16: 181-193
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Republic of Korea. 2012. Food, agriculture, forestry and fisheries statistic yearbook 2012. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Republic of Korea.
- Mitkowski, N.A. and G.S. Abawi. 2003. Root-knot nematodes. *The Plant Health Instructor*. DOI:10.1094/PHI-I-2003-0917-01
- Moon, H.S., Khan, Z. Kim, S.G. Son, S.H. and Kim, Y.H. 2010. Biological and structural mechanisms of disease development and resistance in chili pepper infected with the root-knot nematode. *Plant Pathol. J.* 26:149-153.
- Oh, H. K., Bae, C. H. Kim, M. I., Wan, X., Oh, S. H., Han, Y. S., Lee, H. B. and Kim, I. 2009. Molecular biological diagnosis of *Meloidogyne* species occurring in Korea. *Plant Pathol. J.* 25: 247-255
- Oka, Y., Chet, I. and Spiegel, Y. 1993. Control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Bacillus cereus*. *Biocont. Sci. Technol.* 3: 115-126
- Oka, Y., Koltai, H., Bar-Eyal, M., Mor, M., Sharon, E. and Spiegel, Y. 2000. New strategies for the control of plant-parasitic nematodes. *Pest Management Science* 56: 983-988.
- Park, J., Seo, Y. and Kim, Y. H. 2014. Biological control of *Meloidogyne hapla* using an antagonistic bacterium. *Plant Pathol. J.* 31: 288-298.
- Park, S. D., Park, S. D., Choi, B. S. and Choi, Y. E. 1994. Annual phenology of root-knot nematode in the medicinal herb (*Paeonia lactiflora*) field. *Korean J. Appl. Entomol.* 33: 159-162



- Park, S. D., Park, S. D., Kwon, T. Y., Choi, B. S., Lee, W. S. and Choi, Y. E. 1995. Study on integrated control against root-knot nematode of fruit vegetables (oriental melon and cucumber) in vinyl house. *Korean J. Appl. Entomol.* 34: 75-81
- Raymundo, S. A. 1985. Cropping systems research and root-knot nematode control. In: An advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. I. Biology and control, eds. by J. N. Sasser and C.C. Carter, pp. 277-282. North Carolina State University, NC, USA.
- Rhoades, H. L. 1976. Effects of *Indigofera hirsuta* on *Belonolaimus longicaudatus*, *Meloidogyne incognita*, and *M. javanica* and subsequent crop yield. *Plant Dis. Reprtr.* 60:384-386.
- Roberts, P. A., Dalmasso, A., Cap, G. B. and Castagnone-Sereno, P. 1990. Resistance in *Lycopersicon peruvianum* to isolates of *Mi* gene-compatible *Meloidogyne* populations. *J. Nematol.* 22: 585-589
- Roberts, P.A. 1987. The influence of planting date of carrot on *Meloidogyne incognita* reproduction and injury to roots. *Nematologica* 33:325-342.
- Sardanelli, S, L.R. Krusberg, J.G. Kantzes. 1983. Plant parasitic nematodes in Maryland. Fact Sheet 381. Univ. of MD Coop. Ext., Univ. of Maryland. College Park, MD, USA.
- Sasser, J. N. 1977. Worldwide dissemination and importance of the root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. *J. Nematol.* 9: 26-29
- Sasser, J. N. and Carter, C. C. 1985. Overview of the International *Meloidogyne* Project 1975-1984. In: An advanced treatise on *Meloidogyne*. Vol. I. Biology and control, eds. by J. N. Sasser and C.C. Carter, pp. 9-24. North Carolina State University, NC, USA.
- Seo Y, Park J, Kim YS, Park Y, Kim YH, 2014. Screening and histopathological characterization of Korean carrot lines for resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Plant Pathology Journal* **30**, 75-81.
- Seo, Y., Park, J., Kim, Y. S., Park, Y. and Kim, Y. H. 2014. Screening and histopathological characterization of Korean carrot lines for resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Plant Pathol. J.* 31: 75-81.
- Shepherd, R.L. and Huck, M.G. 1989. Progression of root-knot nematode symptoms and infection on resistant and susceptible cottons. *J. Nematol.* 21:235-241.
- Siroka, R.A. and Fernandez, E. 1990. Nematode parasites of vegetables. In: Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture, eds. by M.R. Luc, A. Siroka, and J. Bridge, pp. 319-392. CAB Bioscience, Egham, UK.

- Son, S. H., Khan, Z., Kim, S. G. and Kim, Y. H. 2009. Plant growth-promoting rhizobacteria, *Paenibacillus polymyxa* and *Paenibacillus lentimorbus* suppress disease complex caused by root-knot nematode and Fusarium wilt fungus. *J. Appl. Microbiol.* 107: 524-532
- Son, S.H., Khan, Z., Kim, S.G. and Kim, Y.H. 2008. Effects of seed treatment with rhizobacterium, *Paenibacillus* species on management of root-knot nematode-*Fusarium* wilt fungus disease complex in tomato plants. *Russ. J. Nematol.* 16:97-105.
- Southey, J.F. 1986. Laboratory methods for work with plant and soil nematodes. Ministry of Agriculture Fisheries and Food, HMSO, London, UK.
- Spurr, A.R. 1969. A low viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *J. Ultrastr. Res.* 26:31-43.
- Thompson, J.D., Higgins, D.G. and Gibson, T.J. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Res.* 22: 4673-4680.
- Whipps JM, Davies KG, 2000. Success in biological control of plant pathogens and nematodes by microorganisms. In: Gurr G, Wratten S, eds. *Biological Control: Measures of Success*. London, UK: Kluwer Academic Publishers, 231-70.
- Yoon, J.H., Lee, S.T., and Park, Y.H. 1996. Inter- and intraspecific phylogenetic analysis of the genus *Nocardioides* and related taxa based on 16S rDNA sequences. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 48: 187-194.
- Zhang, F., Peng, D., Ye, X., Yu, Z., Hu, Z., Ruan, L. and Sun. M. 2012. *In vitro* uptake of 140 kDa *Bacillus thuringiensis* nematocidal crystal proteins by the second stage juvenile of *Meloidogyne hapla*. *PLoS One* 7: e38534.