

## 콩에 대한 근류균과 균근균의 혼합 접종효과

강위금\* · 박향미 · 이재생 · 고지연 · 이용환 · 전원태 · 김민태 · 좌재호<sup>1</sup>

국립식량과학원, <sup>1</sup>국립원예특작과학원

## Dual Inoculation Response of Soybean with Rhizobium And Mycorrhiza

Ui-Gum Kang\*, Hyang-Mee Park, Jae-Saeng Lee, Jee-Yeon Ko, Yong-Hwan Lee,  
Weon-Tae Jeon, Min-Tae Kim, and Jae-Ho Joa<sup>1</sup>

National Institute of Crop Science, Suwon 441-707, Korea

<sup>1</sup>National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 441-707, Korea

The dual inoculation response of soybean with rhizobium and mycorrhiza was examined in pot vermiculite and field soils. In order to select a symbiotically compatible mycorrhiza with *Bradyrhizobium japonicum*, a highly germinating spore among 60 strains from 32 upland soils in southern part of Korea was obtained in *Acaulospora* sp., *Gigaspora* sp. and *Glomus* sp., respectively. As a result of dual inoculation of *Glycin max* cv. Dajangkong and Eunhakong both with  $1 \times 10^8$  cells of *B. japonicum* YCK 213 and 10 spores of each mycorrhiza in vermiculite pot, only *Glomus* sp. treatment together with the rhizobium showed significant increase ( $P \leq 0.05$ ) both in shoot dry wt and nodule mass of not Eunhakong but Dajangkong. In red-yellow soils with pH 5.2(1:5H<sub>2</sub>O) and 203 mg of Lancaster P per kg of soil, in which  $10^3$  cells of *B. japonicum* and  $10 \pm 0.2$  spores of mycorrhizae per gram of soil were naturalized, grain yield of *G. max* cv. Dajangkong was increased to 3.9% by dual inoculation both of  $4.8 \times 10^6$  cells of *B. japonicum* and 10 spores of mycorrhizae per two seeds under condition applied with 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 34 kg K<sub>2</sub>O per hectare compared to conventionally fertilized plot (2.75 MT ha<sup>-1</sup>) added with 30 kg N ha<sup>-1</sup>. However, there was not significant.

**Key words:** *Glycin max*, *Bradyrhizobium japonicum*, mycorrhiza

## 서 언

콩과식물은 토양미생물인 근류균 (Rhizobium)은 물론 균근균 (VAM)과도 공생관계를 갖는다 (Caetano-Anolles and Gresshoff, 1990). 이 때 근류균과 균근균은 공생적 친화관계를 갖는 콩과식물의 광합성 산물을 영양원으로 이용하면서, 전자는 공중질소를 고정하여 질소양분을 식물체에 공급하고 (Gutschink, 1980) 후자는 균사를 토양에 뻗혀 식물의 양분흡수 특히 인산의 흡수를 돕는 것으로 알려져 있다 (Mosse, 1973). 따라서, 콩과식물은 질소와 인산이 부족한 토양조건에서 이들 미생물과 공생관계를 가질 경우 생육이 촉진될 수 있다 (Cluett and Boucher, 1983). 이 과정에서 식물체의 질소함량 증가는 토양질소를 이용한 결과라기보다 균근균의 토양인산 가용화에 의한 공중질소 고정량의 증가로 해석되고 있다 (Rhodes and Gerdemann, 1981). 그러

나 Bethlenfalvay 등 (1985)은 근류균 *Bradyrhizobium*과 균근균 *Glomus*는 콩뿌리에 감염하는 과정에서 먼저 감염한 균이 다른 감염하지 못한 균의 뿌리감염을 억제한다고 하였다. 반면에 Xie 등 (1995)은 *Bradyrhizobium japonicum* 61-A-101을 콩 (Merr)에 접종하면 균근균 *Glomus mosseae*의 뿌리 감염율이 향상되는데, 이는 근류균의 Nod factor가 균근균의 콩 뿌리 감염을 촉진하기 때문이라고 하였다.

일반적으로 식물의 생장에 대한 균근균의 작용은 토양내 인 함량이 적을 경우에만 효과적인 것으로 알려져 있다 (Bolan and Abbott, 1983). Sainz and Arines (1988)은 pH 4.6 이하의 산성토양에서 수행한 크로바에 대한 균근균의 접종시험에서 식물체내 인의 함량이 0.2~0.25% 이상일 때는 균근균의 숙주감염이 억제되었으며, 이 경우 토양내 인의 수준은  $200 \mu\text{g P g}^{-1}$  이상이었던다고 하였다.

지금까지 균근균의 농업적 이용연구는 원예작물이나 특용작물에 치중되면서 (Cho et al., 2004; Park et al., 1999a) 콩에 대해서는 전무한 편이다. 따라서 본 시험은 콩에 대한 근류균과 균근균의 혼합접종효과를 토착 근류균과 균근균이 서식하지만 양분결핍이 일어나기 쉬운 산성의 적황색토

양에서 검토하고 향후 친환경농업에 이들 미생물의 이용가능성을 모색하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

**시험 미생물** 콩 근류균은 Kang et al. (1991)이 보고한 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213을 사용하였고, 균근균은 영남지역에서 분리한 균주를 사용하였다. 균근균의 분리에 사용된 시료는 경남 밀양·창녕·함안지역의 고추·오이·콩 밭 토양과 경북 성주·고령 지역의 참외 밭 토양 32점이었으며, 분리방법은 Wet-Sieving and decanting방법 (Gerdemann and Nicolson, 1963; Lee et al., 1994)에 따라서 토양 100 g을 50% Sucrose용액에 넣어 원심분리 (705 g, 10분, 15°C)한 후, 상등액을 44 µm체에 따른 다음 수돗물로 세척하여 5×5 mm 간격의 grided petri dish에 옮겨 해부현미경 (10~60배) 아래에서 포자형태로 분리하였다. 그리고 분리된 균근균 포자는 Schenck와 Perez (1987)의 Manual과 Trappe (1982)의 Synoptic Keys를 이용하여 *Acaulospora* 속, *Gigaspora* 속, *Glomus* 속 3종류로 구분하여 각각 20균주씩 동정하였다. 이들 중에서 Park et al. (1999b)의 방법으로 포자발아력과 콩 뿌리 감염력이 비교적 우수한 *Acaulospora* 속, *Gigaspora* 속, *Glomus* 속 1균주씩을 선정하여 콩 근류균과의 혼합접종 시험에 사용하였다.

**포트에서 균근균 속별 근류균과의 혼합접종 시험** 장류용으로 사용되는 대립의 다장콩과 나물용인 소립의 은하콩을 질소와 인산인 거의 없어 양분조절이 쉬운 질석으로 충진한 1 L들이 포트에 2립씩 파종하고, 파종된 종자 위에 근류균 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213의 YMB 배양액 (Kang et al., 1991)을  $1 \times 10^8$  cells 수준으로 접종한 다음, *Acaulospora* 속, *Gigaspora* 속, *Glomus* 속의 균근균 포자를 수수의 근권에서 증식하여 각 속별로 10개의 포자를 접종하여 난괴법 3반복으로 재배하였다. 콩 재배를 위한 비료는 인산의 경우 난용성 인산 [ $Ca_3(PO_4)_2$ ]을 P로써 200 ppm 수준으로 포트에 처리하고, 기타 영양분은 Broughton and Dilworth (1971)의 무질소 양액으로 사용하였다. 근류균과 균근균의 혼합접종 반응은 착협기에 콩의 지상부 건물중과 뿌리혹 형성 측면에서 조사하였다.

**포장에서 근류균과 균근균의 혼합접종 시험** 포트시험에서 콩의 생육에 비교적 좋은 접종효과를 보인 *Glomus* sp.의 포자를 포장시험에 사용하였다. 시험에 사용된 근류균은 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213이었으며 콩 품종은 포트시험에서 균근균 *Glomus* sp.의 접종효과가 확인된 다장콩이었다. 시험된 토양은 pH 5.2, 유효인산 464 mg

$kg^{-1}$ 의 적황색토였다. 또한 시험된 토양 1 g 속에는 콩 근류균인 *Bradyrhizobium japonicum*이  $1 \times 10^3$  cells, 균근균 포자는  $10 \pm 0.2$ 개 안팎으로 서식하고 있었다. 미생물의 접종은 근류균의 경우 질석을 담체로 해서 종자에 코팅 접종하였고, 균근균은 포자를 종자 위에 얹는 방법으로 접종하였다. 점파된 콩의 종자 2립 당 근류균 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213의 접종량은  $4.8 \times 10^6$  cells 이었고, 균근균의 포자접종량은 10개였다. 콩 재배는 10a 당 질소 (N) 3 - 인산 ( $P_2O_5$ ) 3 - 칼리 ( $K_2O$ ) 3.4 kg의 시용구를 관행시비구로 하고, 인산과 칼리 시용구에서 근류균균근균 무접종, 근류균접종, 근류균균근균 접종 처리하였다. 콩의 재식거리는 휴폭 60 cm, 주간 15 cm 로 하였으며 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였다. 시험토양의 토양화학적 특성과 미생물상 그리고 식물체의 무기성분과 미생물 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (RDA, 1991)에 준하였다. 그리고 콩의 엽색도는 엽록소계 Minolta SPAD-502 로 측정하였으며, 콩의 수량 및 수량구성 요소는 농촌진흥청 조사기준 (RDA, 2003)에 준하였다. 균근균의 콩뿌리 감염율은 뿌리를 염색하여 (Koske and Gemma, 1989) Read et al. (1976)의 방법에 따라 균근균 감염뿌리 절편수 ÷ 조사된 뿌리 절편 수 × 100 (%)로 계산하였다.

## 결 과

**균근균 속별 근류균과의 혼합접종효과** 영남지역에서 분리한 균근균 중에서 포자발아력과 콩 뿌리 감염력이 비교적 우수한 *Acaulospora* sp., *Gigaspora* sp., *Glomus* sp.의 균주의 근류균 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213과의 혼합접종 결과는 Table 1과 같았다. 먼저 다장콩에 대한 균근균의 접종효과를 보면, 지상부 건물중은 근류균 + *Glomus* sp. 접종구에서 가장 높았고 다음으로 근류균 단독접종 > 근류균 + *Gigaspora* sp. 접종 > 근류균 + *Acaulospora* sp. 접종 순으로 높았다. 이러한 경향은 뿌리혹의 수 및 무게와도 비슷한 경향이였다. 은하콩의 지상부 건물중은 근류균 + *Glomus* sp. 접종구에서 가장 높았고 다음으로는 근류균 단독접종 > 근류균 + *Acaulospora* sp. 접종 > 근류균 + *Gigaspora* sp. 접종 순으로 높았다. 그러나, 뿌리혹 무게는 다장콩에서와 달리 근류균 단독접종구에서 가장 높았고 다음으로 근류균 + *Gigaspora* sp. 접종구였으며, 근류균 + *Glomus* sp. 접종구에서는 가장 낮았다.

**포장에서 근류균과 균근균의 혼합접종효과** 토양이 강산성 (pH 5.2)이면서 유효인산 함량이 높은 (464 mg  $kg^{-1}$ ) 적황색 토양에서 근류균 *Bradyrhizobium japonicum* YCK213과 함께 균근균 *Glomus* sp.를 다장콩에 혼합접종한

**Table 1. Symbiotic responses of *G. max* cv. Dajangkong and Eunhakong inoculated with rhizobium and several mycorrhizae in vermiculite soil.**

Treatment <sup>†</sup>	Dajangkong			Eunhakong		
	Shoot dry wt.	Nodule no.	Nodule mass	Shoot dry wt.	Nodule no.	Nodule mass
Noninoculated	g plant <sup>-1</sup>	no. plant <sup>-1</sup>	mg plant <sup>-1</sup>	g plant <sup>-1</sup>	no. plant <sup>-1</sup>	mg plant <sup>-1</sup>
<i>B. japonicum</i>	2.97	10	10	2.62	7	12
<i>B. japonicum</i> + <i>Acaul.</i>	4.13	53	232	4.92	63	242
<i>B. japonicum</i> + <i>Gigas.</i>	3.78	50	213	4.74	54	221
<i>B. japonicum</i> + <i>Glomu.</i>	4.40	58	225	4.67	47	185
LSD (0.05)	4.41	58	245	5.20	45	177
	0.60	14	28	0.54	16	21

<sup>†</sup>*B. japonicum*, *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213; *Acaul.*, *Acaulospora* sp.; *Gigas.*, *Gigaspora* sp.; *Glomu.*, *Glomus* sp.

**Table 2. Growth status of *G. max* cv. Dajangkong depending on treatment at its flowering stage in red-yellow soils.**

Treatment <sup>†</sup>	Shoot dry wt.	Shoot chlor. level <sup>††</sup>	Nodule no	Nodule mass	Mycorrhizal infection rate
	g plant <sup>-1</sup>	(index)	no plant <sup>-1</sup>	mg plant <sup>-1</sup>	%
Fertilizer N, P, K only	6.23	36.7	9.1	67	33.3
Fertilizer P, K only	4.54	35.6	6.4	51	30.0
<i>B. japonicum</i> and P, K	5.89	36.3	21.6	115	53.3
' <i>B. japonicum</i> + <i>Glomus</i> sp.' and P, K	6.40	36.4	18.9	119	63.3
LSD (0.05)	1.80	-	6.4	18	16.6

<sup>†</sup>Fertilizer N 3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3, K<sub>2</sub>O 3.4kg 10a<sup>-1</sup>; *B. japonicum*, *B. japonicum* YCK 213; *Glomus* sp., *Glomus* sp.

<sup>††</sup>Shoot chlor. level, shoot chlorophyll contents level tested with Minolta SPAD-502.

결과는 Table 2, 3, 4, 5와 같았다. 콩의 개화기 생육상황에서 지상부 건물중은 Table 2와 같이 질소, 인산, 칼리의 삼요소 관행시비구를 기준으로 할 때, 인산과 칼리만을 사용한 상태에서 근류균만 접종했을 때는 줄어들었으나 균근균을 근류균과 함께 접종했을 때는 관행시비구보다 2.7% 증가되었다. 또한 이들 혼합접종구에서는 근류균 단독접종구보다는 8.7%, 인산과 칼리를 사용하고 미생물을 접종하지 않은 구보다는 41% 더 많은 콩 건물중을 생산하였다. 그러나 통계적으로 볼 때, 콩의 질소고정에 필수적인 뿌리혹의 수와 뿌리혹 무게는 근류균 단독접종구와 근류균과 균근균 혼합접종구 모두 삼요소관행시구와 인산과 칼리를 사용하고 미생물을 접종하지 않은 구에서보다 유의적으로 증가했지만 ( $P \leq 0.05$ ), 콩의 지상부 건물중은 인산과 칼리만 사용한 상태에서 미생물을 혼합접종한 구와 미생물 무접종구 간에만 유의성이 인정되었다.

그리고 균근균의 콩 뿌리 감염률은 P·K 사용 및 근류균+균근균 접종구 > P·K 사용 및 근류균 접종구 > N·P·K 사용구 > P·K 사용구 순으로 높았으며, 근류균과 균근균 혼합접종구에서의 감염률은 63.3%였다. 그리고 이러한 균근균을 혼합접종한 구의 성적은 근류균만 접종한 상태 (근류

균 단독접종구)에서 자연 감염된 콩의 53.3%에 비해 단지 10% 더 높은 수준에 불과하였다. 근류균과 균근균 어느 것도 접종하지 않은 인산·칼리 사용구에서는 토착 균근균에 의해서 30%의 낮은 감염률을 나타내었다. 식물체 무기성분 함량은 Table 3과 같이 질소의 경우 근류균 단독접종구와 근류균과 균근균을 혼합접종한 구에서 미생물을 접종하지 않은 삼요소 사용구나 인산과 칼리 사용구보다 높은 함량을 나타내었다. 인은 혼합접종구가 무접종 및 근류균 단독접종구에 비해서 다소 증가된 수치를 보였다.

콩 수확기의 생육상황과 수량성은 Table 4와 같았다. 수확기 경장은 처리간에 통계적인 유의성은 없었지만 반복구의 평균성적으로 볼 때, 질소를 결재한 P·K 사용 및 근류균+균근균 접종구에서 가장 높았고, P·K 사용 및 근류균 접종구는 두 번째로 높았다. 콩의 100립중 역시 P·K 사용 및 근류균+균근균 접종구에서 가장 높았다. 다음으로는 삼요소 관행시비구, P·K 사용 및 근류균 접종구 순으로 높았다. 통계적으로 근류균 단독접종구의 100립중이 미생물을 접종하지 않은 P·K 사용구의 성적과 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 근류균과 함께 균근균을 접종한 결과 P·K 사용구는 물론 P·K 사용 및 근류균 단독접종구와 유의적인 100

**Table 3. Mineral contents in plant depending on treatment at flowering stage of *G. max* cv. Dajangkong in red-yellow soils.**

Treatment <sup>†</sup>	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
Fertilizer N, P, K only	37.2	9.2	27.4	6.9
Fertilizer P, K only	35.8	9.1	26.4	6.6
<i>B. japonicum</i> and P, K	39.2	8.5	24.9	6.6
' <i>B. japonicum</i> + <i>Glomus</i> sp.' and P, K	40.1	9.2	24.2	6.7

<sup>†</sup>See footnotes to Table 2.**Table 4. Yield and yield components of *G. max* cv. Dajangkong depending on treatment in red-yellow soils.**

Treatment <sup>†</sup>	Stem length	Stem dry wt	100-grain wt	Grain yield	Mycorrhizal infection rate
	cm	kg 10a <sup>-1</sup>	g	kg 10a <sup>-1</sup>	%
Fertilizer N, P, K only	53.2	250.4 (100)	22.7	275.2 (100)	43.3
Fertilizer P, K only	51.5	254.2 (101.5)	22.4	266.2 (96.7)	56.7
<i>B. japonicum</i> and P, K	56.7	250.8 (100.2)	22.5	281.8 (102.4)	80.0
' <i>B. japonicum</i> + <i>Glomus</i> sp.' and P, K	57.2	264.9 (105.8)	23.1	285.9 (103.9)	83.3
LSD (0.05)	-	-	0.5	-	20.0

<sup>†</sup>See footnotes to Table 2.**Table 5. Soil phosphorus contents, microbial number and biomass C depending on treatment at harvesting stage of *G. max* cv. Dajangkong in red-yellow soils.**

Treatment <sup>†</sup>	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Bacteria	Actinomycetes	Fungi	Biomass C
	mg kg <sup>-1</sup>	----- log cfu g <sup>-1</sup> -----			ug g <sup>-1</sup>
Fertilizer N, P, K only	474	6.95	5.75	4.62	325.1
Fertilizer P, K only	435	7.07	6.45	4.70	387.2
<i>B. japonicum</i> and P, K	459	7.16	6.51	4.65	520.7
' <i>B. japonicum</i> + <i>Glomus</i> sp.' and P, K	500	7.13	6.49	4.78	419.1

<sup>†</sup>See footnotes to Table 2.

립중의 증가 ( $P \leq 0.05$ )를 보였다. 균근균의 콩뿌리 감염률은 근류균+균근균 접종구에서 가장 높은 83.3%를 보였으며, 이어서 P·K 시용 및 근류균 접종구 (80%) > P·K 시용 및 무접종구 (56.7%) > 삼요소 관행시비구 (43.3%) 순이었다. 그러나 P·K 시용 및 근류균+균근균 접종구에서의 감염률은 근류균 접종구에서의 토착 균근균의 감염률과 유의적인 차이 ( $P \leq 0.05$ )를 보이지는 못했다. 콩의 이러한 생육 상황에서 드러난 수량은 통계적인 유의성은 없었지만 삼요소 관행시비구를 기준으로 P·K 시용 및 근류균+균근균 접종구에서 3.9%, P·K 시용 및 근류균 단독 접종구에서는 2.4% 증가되었음을 알 수 있었다.

그리고, 시험후 토양에서의 유효인산 함량은 Table 5에 서와 같이 P·K 시용의 근류균+균근균 접종구 (500 mg kg<sup>-1</sup>)가 가장 높았고, P·K 시용의 근류균 접종구 (459 mg kg<sup>-1</sup>)는 P·K 시용의 무접종구 (435 mg kg<sup>-1</sup>)보다는 높았

지만 삼요소 관행시비구 (474 mg kg<sup>-1</sup>)보다 낮은 경향을 보였다. 토양내 세균과 방선균, 사상균의 밀도와 Biomass C는 전반적으로 삼요소 관행시비구보다 질소를 결제한 P·K 시용구에서 다소 높은 편이었다. 특히 세균과 방선균, Biomass C는 근류균 단독접종구에서 가장 높았고 다음으로 근류균+균근균 접종구에서 높았다. 그러나 사상균은 근류균 단독접종구보다 근류균 + 균근균 혼합접종구에서 더 높은 경향이 있었다.

## 고 찰

콩에 대한 근류균 *Bradyrhizobium japonicum*의 접종효과와 토양이화학성의 영향을 받기도 하지만 (Kang et al., 1991), 이에 못지않게 토착 근류균의 분포여부 (Demezas and Bottomly, 1984; Weaver and Frederick, 1974)와 뿌리

혹형성 경합력 (Kang et al., 1991), 그리고 접종되는 콩 품종과의 공생적 친화성 정도 (Kang et al., 1996)에 따라서도 다양하다. 균근균 또한 그 속과 종에 따라 포자발아에서부터 숙주감염 그리고 기능발현에 이르기까지 토양환경과 숙주의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다 (Bolan and Abbott, 1983; Jalaluddin, 2005; Park et al., 1999a; Park et al., 1999b; Sainz and Arines, 1988). 콩에서 공생효과가 검증된 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213 (Somasegaran, 1993)과 함께 바람직한 접종조합을 이룰 수 있는 균근균을 찾기 위해 처리한 *Acaulospora* sp., *Gigaspora* sp., *Glomus* sp.의 접종효과 (Table 1)는 은하콩이 아닌 다장콩에서만 지상부 건물중과 뿌리혹무게의 차이를 보였는데 ( $P \leq 0.05$ ), 이러한 콩의 품종별 반응은 *Glomus*속의 종에 따라서도 상이한 것으로 보고된 바 있다 (Jalaluddin, 2005). 그리고 접종한 균근균 중에서 다장콩의 뿌리혹 발달 (뿌리혹 무게)에 유의적인 기여를 한 것은 *Glomus* sp. 뿐이었는데, 이 같은 근류균과 균근균의 상호작용은 이들 미생물의 콩뿌리 감염력 차이에서 비롯된 것으로 해석된다 (Bethlenfalvay et al., 1985). 그리고 통계적인 유의성은 없었지만 일부 혼합접종구에서 콩의 지상부 건물중이 근류균 단독접종구보다 높았던 것은 접종한 균근균이 식물체의 인산과 철, 구리, 아연 등의 양분흡수에 기여했기 때문이라 생각되나 (Sohn et al., 1992), 보다 확실한 결과를 얻기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

적황색토의 포장에서 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213과 *Glomus* sp.를 혼합접종한 콩의 개화기 지상부 건물중은 평균값에서 3요소 관행시비구보다 높은 성적을 보였다 (Table 2). 그러나 통계적으로 볼 때, 이들 혼합접종구의 건물중은 미생물을 접종하지 않은 질소 3 kg 10a<sup>-1</sup> 결재구 (인산·칼리만 시용)에 대해서만 유의적으로 높은 건물중을 보였고 질소를 포함한 3요소 관행시비구와는 차이가 없었다. 이러한 결과는 근류균 접종구의 뿌리혹 성적이 Table 1의 질석을 증진한 배지시험에서 얻은 값의 50% 인팍에 불과했다는 사실에도 원인이 있다 (Kang et al., 1991). 특히 시험된 토양에는 *Bradyrhizobium japonicum*이 토양 g 당  $1 \times 10^3$  cells 수준으로 서식하고 있었음을 감안할 때, 우수한 균주로 알려진 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213을 이보다 약 5천배 가량 더 많은  $4.8 \times 10^6$  cells 수준으로 콩 종자에 직접 접종했음에도 뿌리혹형성이 저조했던 것으로 보아, 접종균주가 시험지 토양에 제대로 적응하지 못했거나 콩 뿌리털 침입과 정착단계에서 토착균주에 뒤졌기 때문이 아닌가 생각되었다 (Kang et al., 1991). 일반적으로 토착 근류균이 서식하는 토양에서 접종균주의 뿌리혹형성 경합력은 20% 이내인 것으로 알려져 있으며 (Demezas and Bottomly, 1984), 접종 근류균의 뿌리혹 점유율을 50% 수준으로 올리는 데는 토착균주의 서식밀도보다 1,000배가량 많은 근류균

의 접종이 필요한 것으로 알려져 있다 (Weaver and Frederick, 1974). 한편 토착 균근균의 포자가 토양 g 당  $10 \pm 0.2$ 개 분포하는 시험포장에서 근류균을 접종한 콩에 10개의 *Glomus* sp. 포자를 추가 접종한 결과, 균근균의 콩 뿌리감염률은 근류균만 접종한 콩에서의 자연 감염률보다 10% 가량 증가하였다. 이 때 균근균 접종에 의한 뿌리혹형성량은 근류균만 접종했을 때보다 약간 감소했지만 착생된 뿌리혹의 무게는 전체 처리구 가운데서 가장 높았다. 여기에는 접종된 균근균의 인산 가용화 영향이 컸던 것으로 생각되었다 (Table 3 참조) (Kang et al., 1991). 그리고 Table 2의 콩 뿌리혹수에 있어서 근류균 단독접종구와 균근균과의 혼합접종구 사이에 유의적인 차이는 없었지만 ( $P \leq 0.05$ ) 질석배지에서 시험된 Table 1의 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213 + *Glomus* sp. 접종구 성적과 달리 혼합접종구에서의 뿌리혹수가 줄어든 것은 시험된 질석배지 조건과 포장 토양조건의 환경적 차이 때문이 아닌가 생각된다 (Arumugam et al., 2010; Jalaluddin, 2005).

한편, 근류균과 균근균 접종 (질소결재, P·K 시용조건)에 따른 콩 수확기의 생육상황은 개화기에 비해 많이 개선되면서 절대수량이 삼요소 관행시비구보다 높았다. 특히 근류균과 균근균의 혼합접종구의 수량은 삼요소 관행시비구보다 4% 가량 높았다. 그러나 처리 간에 유의적인 차이를 보이지는 않았다 (Table 4). 이와 같이 콩의 개화기 이후에 생육이 좋아진 것은 발달된 뿌리혹 속의 근류균과 콩 뿌리 감염률이 20% 이상 증가된 균근균의 상호적인 공생효과 때문이라 생각된다 (Arumugam et al., 2010; Kang et al., 1996). Arumugam et al. (2010)은 동부에서 근류균과 균근균을 혼합접종 했을 때, 45일 이후의 총 엽록소 함량이 이들을 단독으로 접종했을 때보다 12~20% 더 높았다고 하였다. 본 시험에서는 또 질소비료를 주지 않은 조건에서 미생물의 혼합접종에 따른 콩의 수량이 무접종구보다 5.8%, 경태중은 4.2% 증가에 그쳤는데, 이는 Arumugam et al. (2010)이 보고한 지상부 건물중의 28.6% 증가에 비해서 매우 낮은 성적이었다. 여기에는 시험지의 인산함량 ( $464 \text{ mg kg}^{-1}$ )이 한 요인으로 작용하지 않았나 생각된다 (Bolan and Abbott, 1983). Clake and Mosse (1981)는 토양에 수용성 인산이 많으면 균근균이 기주식물의 양분수지면에서 기여하기보다 기생한다고 하였다. Park et al. (1999b)은 시설원예지의 균근균 포자수는 유효인산 함량과 정의 상관관계가 있었고, 균근균을 접종한 고추의 생육은 배합토에 인산을  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  사용한 것이  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  사용한 것보다 더 좋았다고 하였다.

이상의 결과로 볼 때, 우리나라처럼 근류균과 균근균이 다양하게 분포하는 농경지에서 (Kang, 1998; Kang et al., 1999; Park et al., 1999b) 이들 미생물을 이용하여 콩을 재배할 경우, 토양비옥도와 연계한 미생물의 이용방법을

다각도로 모색할 필요가 있는 것으로 생각되었다.

## 요 약

콩재배시 질소와 인산질 양분의 공급원으로서 근류균과 균근균의 접종효과를 질석충진 포트와 포장토양에서 검토하였다. 영남지역 32개 밭토양에서 포자발아력이 우수한 균근균 *Acaulospora* sp., *Gigaspora* sp., *Glomus* sp. 3종을 분리하여 각각의 포자 10개를 질석으로 충전한 포트에  $1 \times 10^8$  cells의 근류균 *Bradyrhizobium japonicum* YCK 213과 함께 다장콩과 은하콩에 접종했을 때 콩의 착형기 지상부 건물중과 뿌리혹무게는 다장콩의 *Glomus* sp. 접종구에 서만 유의적인 ( $P \leq 0.05$ ) 증가를 보였다. 이 *Glomus* sp. 를 pH 5.2, 유효인산  $464 \text{ mg kg}^{-1}$ , 토착 *B. japonicum*  $1 \times 10^3$  cells, 그리고 균근균 포자가  $10 \pm 0.2$ 개 분포하는 적황색토에서 인산과 칼리만 사용하고 질소를 결재한 상태로  $4.8 \times 10^6$  cells의 *B. japonicum* YCK 213과 10개의 *Glomus* 포자를 다장콩 2립에 접종한 결과, 콩의 수량은 질소 3 - 인산 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 3 - 칼리 ( $\text{K}_2\text{O}$ )  $3.4 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 의 관행시비구 ( $275.2 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ )에 비해 유의적으로 증가하지는 않았지만 절대수량으로 볼 때 근류균 단독접종구는 2.4%, 근류균과 균근균 혼합접종구에서는 3.9% 증가되었다.

## 인 용 문 헌

Arumugam, R., S. Rajasekeran, and S.M. 2010. Response of arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* inoculation on growth and chlorophyll content of *Vigna unguiculata* (L) Walp Var. Pusa 151. J. Appl. Sci. Environ. Manage. 14:113-115.

Bethlenfalvay, G.J., M.S. Brown, and A.E. Stafford. 1985. Glycine-Glomus-Rhizobium symbiosis, II. Antagonistic effects between mycorrhizal colonization and nodulation. Plant Physiol. 79:1054-1058.

Bolan, N.S. and L.K. Abbott. 1983. Seasonal variation in infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in relation to plant response to applied phosphorus. Australian Journal of Soil Research 21:208-210.

Broughton, W.J. and M.J. Dilworth. 1971. Control of leghaemoglobin synthesis in snake bean. Biochem. J. 125:1075-1080.

Caetano-Anolles, G. and P.M. Gresshoff. 1990. Early induction of feed-back regulatory responses governing nodulation in soybean. Plant Sci. 71:69-81.

Cho, J.Y., Y.J. Kim, S.Y. Jin, S.G. Kang, H.L. Kim, and B.K. Sohn. 2004. Mycorrhizal root infection and growth of cucumber and tomato plants by the inoculated with *Glomus* sp. in solid medium culture. Korean J. Soil Sci.

Fert. 37:341-349.

Clarke, C. and B. Mosse. 1981. Plant growth response to vesicular-arbuscular mycorrhizae. Field inoculation response of barley at two soil P levels. New Phytol. 87:695-703.

Cluett, H.C. and D.H. Boucher. 1984. Indirect mutualism of the legume-Rhizobium mycorrhizal fungus interaction. Oecologia 59:405-408.

Demezas D.H. and P.J. Bottomly. 1984. Identification of two-dominant serotypes of *Rhizobium trifolii* in root nodule of uninoculated field-grown subclover. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:1067-1071.

Gerdemann, T.W. and T.M. Nicolson. 1963. Spore of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc. 46:235-244.

Gutschink, V.P. 1980. Energy flow in the nitrogen cycle, especially in fixation. In. Nitrogen Fixation Vol. 1 W.E. Newton and W.H. Orme-Johnson, Eds. p.17-27. University Park Press. Baltimore.

Jalaluddin, M. 2005. Effect of inoculation with VAM-fungi and Bradyrhizobium on growth and yield of soybean in Sindh. Pak. J. Bot. 37:169-173.

Kang, U.G. 1998. Symbiotic potential of *Bradyrhizobium japonicum* indigenous to arable land in southern parts of Korea. Korean J. Agricultural Chem. Biotechnol. 41:247-252.

Kang, U.G., H.S. Ha, K.B. Park, S.K. Lee, D.K. Lim, and M.S. Yang. 1996. Serological approach for selection of *Bradyrhizobium japonicum* strain with superior symbiotic effectiveness. Korean J. Soil Sci. Fert. 29:165-172.

Kang, U.G., H.M. Park, Y.T. Jung, K.B. Park, and H.S. Ha. 1999. Host affinities and serological distribution of *Bradyrhizobium japonicum* indigenous to Korean upland soils. Korean J. Soil Sci. Fert. 32:62-67.

Kang, U.G., J.H. Choi, J.S. Lee, and Y.T. Jung. 1991. Studies on the development of acid tolerant and superior nitrogen fixation symbionts for pasture on hilly land. III. Inoculation effect of *R. meliloti* "YA03" to alfalfa on hilly acid soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 24:219-224.

Kang, U.G., P. Somasegaran, H.H. Hoben, and B.B. Bohlool. 1991. Symbiotic potential, competitiveness, and serological properties of *Bradyrhizobium japonicum* indigenous to Korean soils. Appl. Environ. Microbiol. 57:1037-1045.

Koske, R.E. and J.N. Gemma. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizae. Mycol. Res. 92:486-505.

Lee, S.S., A.H. Eom, and S.K. Lee. 1994. A study on the production of arbuscular mycorrhizal fungal spores by using the commercial fertilizers and the pot culture techniques. Korean J. Mycology 22:172-183.

Mosse B. 1973. Advances in the study of vesicular arbuscular mycorrhiza. Ann. Rev. Phytopathol. 11:171-196.

Park, H.M., H.W. Kang, U.G. Kang, K.B. Park, S.S. Lee, and S.D. Song. 1999. Effects of arbuscular mycorrhiza

- inoculation and phosphorus application on early growth of hot pepper(*Capsicum annum* L.). Korean J. Soil Sci. Fert. 32:68-75.
- Park, H.M., M.H. Nam, H.W. Kang, J.S. Lee, J.Y. Ko, U.G. Kang, and K.B. Park. 1999. Density of arbuscular mycorrhizal spore of plastic film house soil in Yeongnam area and characteristics of AMF in vitro. Korean J. Soil Sci. Fert. 32:203-209.
- RDA, 2000. Methods of analysis of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Korea.
- RDA. 2003. Standard of analysis and survey for agricultural research. Rural Development Administration. Suwon. Korea.
- Read D.J., H.K. Koucheki, and J. Hodgson. 1976. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in native vegetation system. New Phytol. 77:641-653.
- Rhodes, L.H. and J.W. Gerdemann. 1980. Nutrient translocation in vesicular-arbuscular mycorrhizae. In CB Cook, Pw Pappas, ED Rudolph, eds, Cellular Interactions in Symbiosis and Parasitism. Ohio State University Press, Columbus, p. 173-195.
- Sainz, M.J. and J. Arines. 1988. P Absorbed from soil by mycorrhizal red clover plants as affected by soluble P fertilization. Soil Biol. Biochem. 20:61-67.
- Schenck, N.C. and Y. Perez. 1987. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. 1st (ed.) Gainesville. Florida.
- Sohn, B.K., W.M. Yang, and K.S. Kim. 1992. Studies on the indigenous Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (VAMF) in horticultural crops grown under greenhouse. III. Effects of the indigenous VAMF inoculation on the early growth and the subsequent growth after transplanting of greenhouse grown crops. Korean J. Soil Sci. Fert. 25:99-107.
- Somasegaran P. 1993. Abridged catalogue of rhizobia from the collection of the NifTAL Microbiological Resource Center. In Somasegaran, P. (ed.) Paia, Hawaii, USA.
- Trappe, J.M. 1982. Synoptic keys to the genera and species of zygomycetous mycorrhizal fungi. Phytopathology 72:1102-1107.
- Weaver, R.W. and L.R. Frederick. 1974. Effect of inoculum rate on competitive nodulation of *Glycine max* L. Merrill. Field studies. Agron. J. 66:233-236
- Xie, Z.P., C. Staehelin, H. Vierheilig, A. Wiemken, S. Jabbouri, W.J. Broughton, R. Vogeli-Lange, and T. Boller. 1995. Phizobial nodulation factors stimulate mycorrhizal coloization of nodulating and nonnodulating soybeans. Plant Physiol. 108:1519-1525.