

토양수분 차이가 대두 근류균의 질소고정에 미치는 영향

김용철* · 최인수

밀양대학교 식물자원학과

Effect of Soil Moisture on Nitrogen Fixation Activity of Rhizobium in Soybean

Kim Yong-Chul* and In-Soo, Choi

Department of Plant Resources Science, Miryang National University,
Miryang 627-702, Korea

Abstract

The object of this study was to investigate nitrogen fixation activity of rhizobium inoculated at seed coat when drought condition was applied in flowering period of soybean c.v. Samnamkong. The rhizobia used in this experiment were indigenous rhizobium, R214, RJ1-29, USDA110 and USDA122. The experiment was done with 1/2000 Wagner pots in laboratory and greenhouse and was tested in completely randomized design with four replications. Nitrogen fixation activity in conventional culture was the highest in R214 and indigenous rhizobium among the five rhizobia strains. As given drought condition from flowering to maturity, nitrogen fixation activity was higher in R214 and RJ1-29 than indigenous rhizobium. Leaf area and relative index (drought/convention) of pod weight were higher in USDA122, RJ1-29 and R214 than indigenous rhizobium as given drought condition from flowering to maturity. High positive correlation was observed between nitrogen fixation activity of rhizobium and relative index(drought/convention) of pod weight. High negative correlation was observed between respiration of plant and relative index (drought/convention) of leaf area.

Key words – soybean, rhizobium, nitrogen fixation, drought condition

서 론

대두는 화곡류에 비하여 요구수량이 많고 발아에 많은 수분을 요구하기 때문에 한해가 발생하기 쉽다. 특히 콩의 파종기인 5~6월은 강우량이 적고 기온이 비교적 높아서 증발량이 많으므로 토양수분이 부족하게 된다. 그러므로

한발시 콩 파종은 양호한 출아를 기대하기 어려운 실정이다.

일반적으로 영양생장기의 한발은 식물의 성장율을 감소시키고 엽신장을 감소시킨다. Sionit와 Krammer[6]는 한발시 콩의 착화수와 개화수는 크게 감소하고 개화시간도 단축된다고 하였으며, 개화기간만의 한발에 의해서도 착화수와 개화수가 감소하고 개화기간도 감소한다고 보고하였다. Kim[3]은 콩에서 생육전기($V_1 \sim R_1$)와 생육후기($R_4 \sim R_8$)에 -12~-15bar의 한발구와 -1/3bar에서 관수한 표본구를 비교한 결과 생육전기의 한발에 의하여 경장, 분지수, 협당립

*To whom all correspondence should be addressed
Tel : 055-350-5363, CP : 011-841-5363, Fax : 055-350-5360
E-mail : yckim@mnu.ac.kr

수, 개체당립수가 감소하나, 100입중은 감소되지 않았고, 생육후기의 한발에 의하여 개체당립수, 100입중의 감소가 뚜렷하였다고 하였다. 토양 수분 부족에 따른 수량 감소는 Sionit와 Krammer[6]는 콩에서 등숙기에 38%로서 가장 크고, 착엽초기 36%, 화아분화기 18%, 개화기 14%의 순이라고 하였다.

이와 같은 한발의 피해 대책으로는 내건성 품종의 선택, 파종기의 이동, 증발억제농법의 활용, 내건성의 증가방법, 관수 및 한발적응성이 높은 근류균의 선발과 접종재배 등의 방법이 있을 수 있다.

근류균은 두과식물의 뿌리에 침입하는 토양세균으로 호기성균이며 대사적 합성을 위해 질소와 탄소의 복잡한 유기화합물을 필요로 하는 세균으로 비포자 형성균의 속에 속하며 근류를 형성하여 대기 중의 질소를 고정한다. 이와 같이 근류를 형성하는 능력은 다른 세균속들로부터 근류균을 구분하는 가장 중요한 특성이 된다. 근류균이 발견될 당시에는 한 종류의 균이 전 두과식물에 근류를 형성하는 것으로 생각된 바도 있었으나 근류균의 분류는 두과식물이나 근류균과의 상호접종법에 의하여 7개군으로 분류되고, 이는 다시 3대군으로 나누어진다[7]. 이들 균들에 대한 두과식물에서의 질소고정량은 기주식물의 종류, 생육정도, 성장속도 등의 기주식물요인과 근류균 자체의 요인인 밀도, 종류, 활성 등에 대해서는 많은 연구[1, 3, 5]가 되어 있으나 토양수분이 건조한 상태에서의 근류균이 대두에 대한 반응은 연구된 바가 많지 않다.

따라서 본 연구는 한발조건에서 대두에 대한 근류균의 질소고정력과 대두의 생리 생태적 반응을 구명하여 대두의 안전 증수재배의 기초자료를 얻고자 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

공시 재료로 사용한 대두품종은 남부 이모작지대에서

적응성이 높고 경장이 중정도이며 유한신육형이고 다수성 품종인 삼남콩을 사용하였다. 콩의 재배는 5월 18일에 포트에 파종하였으며, 재식밀도는 포트당 3입씩 파종한 후 3주 후에 2본만 남기고 절제하였고, 시비량은 10a당 N-P₂O₅-K₂O=4-7-6으로 전량을 기비로 하였다. 포트에 넣은 토양의 이화학적 특성은 표1에서 보는 바와 같이 토성은 사양토, pH는 6.5, 유기물 함량은 2.43%, 인산 함량은 217ppm, 치환성 양이온 중 칼슘은 5.01me/100g, 마그네슘은 1.03me/100g, 칼륨은 0.39me/100g이었다.

근류균의 질소고정력 비교를 위해서 공시한 균주로는 토착균, USDA110, USDA122, RJ1-29, R214 등을 사용하여 콩종자에 분의접종처리 하였으며, 질소고정력은 아세틸렌 환원력 측정법으로 조사하였고, 식물체의 호흡량 측정은 CO₂방출량으로 조사하였다. 한발 처리는 개화기에 하였으며, 한발처리시 토양내 수분함량은 건토중량법으로 측정하였던 결과 6.1%이었고, 무처리구에서는 15.7%이었다.

시험구배치는 균주처리요인과 한발처리요인을 완전임의 배치 4반복으로 하였고, 기타 재배관리는 표준경종법에 따랐다. 개체별 조사 항목은 개화기 때 근류균의 질소고정력, 식물체의 호흡량, 엽면적, 성숙협중 등이었다.

결과 및 고찰

토양수분차이에 따른 근류균의 질소고정력

콩의 개화기에 공시한 근류균주들의 질소고정력을 토양수분이 충분한 관행재배상태에서 보면 그림1과 같다. 토착 근류균이 접종된 구는 시간당 한 식물체의 질소고정력(C₂H₄ μmol)이 3.0이었고, R214 접종구는 3.2으로 가장 높았으며, 다음으로는 RJ1-29 접종구가 2.2, USDA122 접종구가 1.6, USDA 110이 접종된 구는 0.8로 가장 낮았다. 따라서 토착근류균은 관행재배에서 R214균을 제외한 다른 공시균주들보다 질소고정력이 높은 경향이였다.

Table 1. Physio-chemical characteristic of soil used.

Soil texture	Soil moisture*(%)		pH(1:5)	Organic matter(%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Ex-Cation(me/100g)		
	Control	Drought				Ca	Mg	K
Sandy loam	15.7	6.1	6.5	2.43	217	5.01	1.03	0.39

* Dried soil weight method.

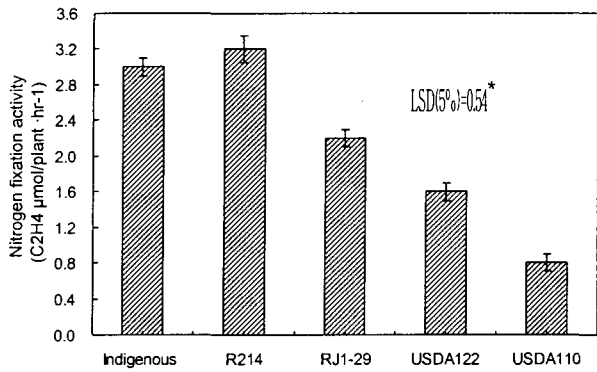


Fig. 1. Nitrogen fixation activity of five rhizobia inoculated at seed coat of soybean c.v. Samnamkong in conventional culture.

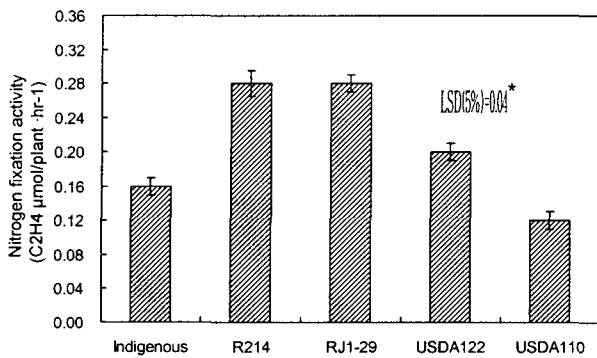


Fig. 2. Nitrogen fixation activity of five rhizobia inoculated at seed coat when drought condition was applied in flowering period of soybean c.v. Samnamkong.

콩의 개화기에 한발처리를 하였을 때 공시한 근류균들의 질소고정력(C₂H₄ μmol)은 그림2와 같다. 토착균주가 접종된 구는 0.16로서 비교적 낮은 고정력을 보였고, R214와

RJ1-29의 접종구는 0.28로 가장 높았으며, 그 다음으로 USDA122의 접종구가 0.20이었고, USDA110이 접종된 구는 0.12로서 가장 낮았다. 개화기의 한발상태는 토착근류균의 활성을 크게 떨어뜨리는 경향을 보인 반면 R214와 RJ1-29 균주는 다른 균들에 비해 한발상태에서 질소고정력이 높게 나타났다. 이와 같이 질소고정력의 차이는 Philips[4]가 콩의 품종, 재식밀도, 일사량, 기온 및 지온, 토양수분, 비옥도 등은 감염된 근류균의 질소고정능력과 고정효율 등을 좌우하기 때문에 고정량의 최소치와 최대치 사이의 편차가 크게 나타난다고 하였으나, 한발시 콩의 안전증수를 위해서는 건조에 적응성이 높은 근류균의 선발과 접종재배는 필요하다고 하겠다.

한발조건시 콩의 생육특성에 미치는 근류균의 영향

공시한 근류균들이 한발조건과 관행재배에서 개화기에 콩의 생육 특성에 미치는 영향은 표2와 같다. 한발조건에서 콩의 호흡량(CO₂ mg/h.plant)은 토착균이 접종된 구가 22.1으로 가장 높았고, 다음은 USDA110이 접종된 구가 19.8이었고, R214와 RJ1-29의 접종구는 17.4이었으며, USDA122 접종구는 15.6으로 가장 낮았다. 엽면적(cm²/plant)은 한발처리구가 1329~1524로 관행구의 2762~3426보다 전반적으로 작았다. 한발조건에서 엽면적(cm²/plant)을 균주별로 보면 한발상태에서 호흡량이 가장 많았던 토착균의 접종구가 1329로서 가장 작았으며, 그 다음으로 USDA122 접종구가 1436이고 USDA110 접종구는 1441로 대체로 작았고, RJ1-29와 R214 접종구는 1511과 1524로서 다소 큰 경향을 보였다. 관행구에서는 토착균이 접종된 구가 3426으로 가장 컸고, 그 다음으로 USDA110, RJ1-29, R214, USDA122

Table 2. Effect of rhizobium nitrogen fixation activity on plant respiration, leaf area, pod weight when drought condition was applied in flowering period of soybean c.v. Samnamkong.

Rhizobium	Respiration in drought (CO ₂ mg/h · plant)	Leaf area(cm ² /plant)			Pod weight(g/plant)		
		Drought(A)	Control(B)	A/B	Drought(C)	Control(D)	C/D
Indigenous	22.1 ± 1.2	1329 ± 47	3426 ± 125	0.39	9.4 ± 1.5	16.9 ± 1.1	0.56
R214	17.4 ± 1.4	1524 ± 61	2874 ± 128	0.53	6.9 ± 1.2	14.2 ± 1.7	0.49
RJ1-29	17.4 ± 1.2	1511 ± 56	2987 ± 141	0.51	8.7 ± 1.3	13. ± 1.41	0.66
USDA122	15.6 ± 1.3	1436 ± 53	2762 ± 153	0.52	10.7 ± 1.4	15.3 ± 1.3	0.70
USDA110	19.8 ± 1.7	1441 ± 54	3215 ± 131	0.45	8.1 ± 1.1	16.2 ± 1.2	0.50

등의 구가 3215, 2987, 2874, 2762의 순으로 작았다. 엽면적의 상대지수 즉, 한발구 대 대조구를 보면 토착균이 접종된 구가 0.39이었으며, R214, USDA122, RJ1-29 등이 접종된 구는 0.53, 0.52, 0.51이었고, USDA110접종구는 0.45이었다. 이와 같은 경향은 토착근류균 접종구에 비하여 USDA122, RJ1-29, R214등의 근류균 접종구가 한발조건시 식물체 호흡량을 적게 유지하여 엽면적 상대지수를 높게 유지하였다.

성숙협중(g/plant)은 한발구가 6.9~10.7g으로 대조구(관행재배)의 13.1~16.9g보다 낮은 편이었다. 한발구에서 접종균주별로 보면 USDA122 접종구가 10.7g으로 가장 높았고, 그 다음으로 토착균, RJ1-29, USDA110, R214 등의 접종구가 9.4g, 8.7g, 8.1g, 6.9g순으로 낮았다. 대조구에서는 토착균 접종구가 16.9g으로 가장 높았고, 다음 USDA110이 접종된구가 16.2g이었으며, 그 다음은 USDA122 접종구가 15.3g, R214 접종구가 14.2g, RJ1-29 접종구가 13.1g 순으로 낮았다. 협중 상대지수에서도 한발조건에서 호흡량이 많았던 토착균과 USDA110이 접종된 구가 0.56, 0.50으로 낮았고, 한발조건에서 호흡량이 적었던 구중 R214를 제외한 RJ1-29, USDA122 의 접종구가 0.66, 0.70으로 높은 경향이 있었다.

한발조건시 근류균 질소고정력과 협중과의 상관관계

공시한 5개의 근류균들을 인공접종하여 재배한 대두의 개화기에 한발처리를 하였을 때 근류균의 질소 고정력과 협중 상대지수 즉, 한발구에 대한 대조구와의 상관관계를 보면 그림 3과 같다. 상관계수 r이 0.85로서 5%수준에 유의성이 인정되는 정의 상관관계를 나타내었으며, 회귀는 곡선회귀로 $\hat{Y} = -67.23X^2 + 15.26X - 0.18$ 의 방정식으로 나타났다. 따라서, 근류균의 질소고정력이 높으면 높을수록 협중이 증가하다가 어느 한계점에 이르면 오히려 감소하는 경향을 보였다.

콩은 종실에 다량의 단백질을 축적하기 위해 많은 양의 질소를 필요로 한다. 즉, 콩은 종실 100kg을 생산하는데 약 8~9kg의 질소를 요구한다. 그러므로 콩이 많은 수량을 내려면 얼마나 다량의 질소를 동화하느냐가 중요한 포인트가 된다. 콩이 동화하는 질소는 토양과 시비에 의한 화합태질소와 근류가 고정하는 공기중의 질소(고정질소)가 있다. 전자는 amide태 질소이고, 후자는 allantion태 질소인데 이들

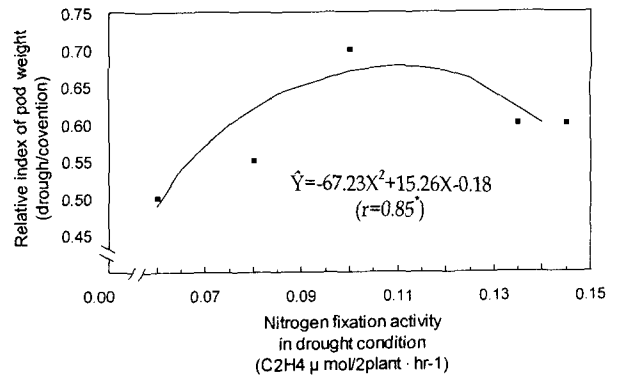


Fig. 3. Correlation between nitrogen fixation activity of rhizobium and relative index (drought/convention) of pod weight when drought condition was applied in flowering period of soybean c.v. Samnamkong.

형태가 다른 질소를 비교해 보면 고정질소는 저장형태의 질소로 화합태질소보다 종실 생산효율이 높고[2], 이와 같은 고정질소에 의존할 때 화합태질소에 비해 보다 높은 수량을 얻을 수 있다는 주장이 있다[8]. 콩의 한계수량을 향상시키기 위해서는 질소동화의 에너지 효율이 문제가 된다. 그러나 일반적인 재배조건에서는 질소형태에 관계 없이 질소동화량이 많으면 다수를 낼 수 있다고 생각된다.

일반적으로 콩의 종실수량과 동화한 질소량의 관계를 보면 고정질소량 혹은 화합태질소량 단독과의 상관은 낮다. 그러나, 전동화 질소량과 종실수량과의 사이에는 년차별로 볼때 높은 상관관계가 있다. 즉, 콩의 종실생산에는 근류 고정질소든 화합태질소든 어느 것이라도 동화함에 의해 결정된다고 할 수 있다. 그러나 콩은 질소소비량을 증가해도 종실수량은 증가되지 않는 예가 많다. 그 이유는 콩의 근류질소고정능력이 높아 다량의 질소를 고정하는 것에 반해 다량의 질소비료를 사용하면 근류의 질소고정능력이 급격히 떨어지게 되기 때문이다.

한발조건시 식물체 호흡량과 엽면적과의 상관관계

서로 다른 근류균 5종을 종자분의접종하여 개화기에 한발처리하였을 때 식물체 호흡량과 엽면적 상대지수 즉, 한발구에 대한 대조구의 상관관계를 보면 그림 4와 같다. 상관계수 r는 -0.89으로 5%수준에서 유의성이 인정되는 부의 상관을 보였고, 회귀는 $\hat{Y} = 0.62 - 0.017X$ 로서 직선회귀를 나타내었다. 따라서, 식물체 호흡량이 증가하면 할수록

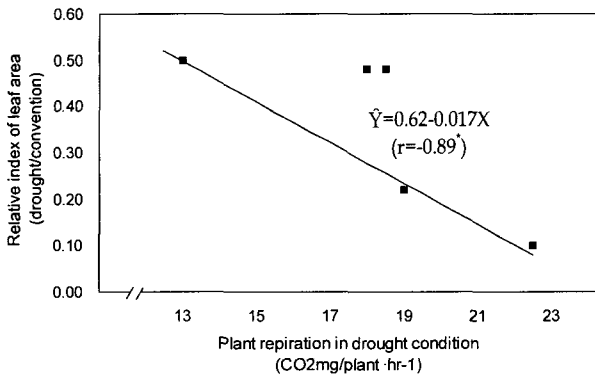


Fig. 4. Correlation between respiration and relative index (drought/convention) of leaf area when drought condition was applied in flowering period of soybean c.v. Samnamkong.

엽면적은 감소하는 경향을 보였다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 한발조건에서는 대두에 대한 근류균의 질소고정력이 정상적인 재배에서 보다 특별히 활성을 띄는 균주가 있기 때문에, 상습적인 한발지역에서는 대두 재배시 질소 고정력이 높은 균주를 종자에 분의접종후 재배하는 것이 대두의 안전 증수 재배를 위해서 유리할 것으로 사료된다.

요 약

대두의 질소고정 근류균들 중 우리나라 토착균, USDA110, USDA122, RJ1-29, R214 등으로 종자분의접종한 삼남콩을 포트에 재배하여 개화기에 한발처리한 것과 관행으로 포트에 재배한 것과의 근류균별 질소고정력 조사와 콩의 체요인에 미치는 근류균의 영향, 한발조건시 근류균 질소고정력과 협중과의 상관관계, 식물체 호흡량과 엽면적과의 상관관계 등을 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다. 관행재배에서는 근류균의 질소고정력이 R214와 토착균이 높게 나타났으나, 개화기에 한발처리를 한 구에서는 토착근류균보다 R214와 RJ1-29의 균들이 질소고정력을 높게 나타내었다. 토착근류균에 비하여 USDA122와 RJ1-29의 근류균을

접종한 구가 한발조건에서 식물체 호흡량을 적게 유지하여 엽면적 및 협중의 상대지수를 높게 나타내었다. 한발조건에서 근류균 질소고정력과 협중 상대지수와의 상관관계는 $r=0.85^*$ 로서 유의적인 정의 상관관계를 나타내었다. 한발조건에서 식물체 호흡량과 엽면적 상대지수와의 상관관계는 $r=-0.89^*$ 로서 유의적인 부의 상관관계를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. Damirgi, S. M., L. R. Frederick and I. C. Anderson. 1967. Serogroups of *Rhizobium japonicum* in soybean nodules as affected by soil types. *Agron. J.* **59**, 10-12.
2. Ishizuka, J. 1972. Physiological roles of soluble nitrogenous components on vegetative growth and seed protein formation of soybean plants in Hokkaido. *Res. Bull. Hakkaido Nat'l, Agric. Exp. Stn.* **101**, 51-122.
3. Kim, S. D. 1988. Studies on varietal differences on growth nodulation and interactions with nodule bacteria in soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Ph. D thesis, Tokyo University of Agriculture.
4. Phillips, D. A. 1980. Efficiency of symbiotic nitrogen fixation in legumes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **31**, 29-49.
5. Ryu, J. C., S. K. Lee, H. H. Lee, C. W. Hong and M. J. Cho. 1982. Studies on Symbiotic Nitrogen Fixation in Soybean I. Methods of Measurement and Amounts of Symbiotic N₂ Fixation in Soybean Root Nodules. *J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert.* **15(4)**, 277-283.
6. Sionit, N., and P. J. Krammer. 1977. Effect of water stress during different stage of growth of soybeans. *Agron. J.* **69**, 274-277.
7. Vincent, J. M. 1974. Root nodule symbiosis with *Rhizobium*. pp. 266-341. In A. Quispel (ed.), *Biology of nitrogen fixation*. North-Holland Publishing Co. Amsterdam.
8. Weber, C. R. 1966. Nodulating and non-nodulating soybean isolines: I. Agronomic and chemical distribution. *Agron. J.* **58**, 43-49.

(Received July 24, 2002; Accepted August 27, 2002)