

답전윤환에 따른 토착 *Bradyrhizobium japonicum*의 서식밀도와 토양 이화학성과의 관계

강위금* · 박창영 · 윤문태¹ · 최상욱² · 하호성³

농촌진흥청 영남농업시험장, ¹밀양산업대학교 조경학과,
²경상대학교 공동실험실습관, ³경상대학교 농화학과

초 록 : 칠곡동의 식양질 논에서 답전윤환시 발작물로 콩을 재배했을 때 *Bradyrhizobium japonicum*의 밀도변화와 토양 이화학성과의 상관관계를 조사하였다. *B. japonicum*의 서식밀도는 계속 논이용구에서 10¹ cells/g.soil 수준이었고 답전윤환구에서는 10³ cells/g.soil 이상 수준이었다. 그리고 시비수준별 균주 밀도는 무비구가 관행시비구보다 2년주기 윤환시 1.9배, 3년주기 윤환 및 4년연속 밭이용시는 10배가량 높은 수준이었다. 토착 *B. japonicum*의 밀도변화는 토양의 유기물함량($r=0.83^*$), Ca/K($r=0.74^*$) 및 (Ca+Mg)/K($r=0.72^*$)와 정상관 관계를 보였고 토양경도와는 부의 상관관계($r=-0.73^*$)를 보였다. 그리고, 계속 논이용구 대비 답전윤환구에서의 *B. japonicum* 밀도증가는 질소고정잠재능의 증가로 이어졌다.(1997년 7월 30일 접수, 1997년 8월 20일 수리)

서 론

재료 및 방법

답전윤환은 논토양을 효율적으로 이용하기 위한 토지이용법으로 지력증진, 잡초경감, 작물중수효과 등의 장점을 갖는다.¹⁾ 이 경우 발작물로서 콩은 생육에 필요한 질소질 양분의 2/3가량을 공생 근류균 *Bradyrhizobium japonicum*에 의해 고정된 공중질소로 해결할 수 있어²⁾ 토양질소를 보존하고 증대시키는데 유익하다.³⁾ 그리고 콩을 타작물과 윤작재배하면 농경지의 NO₃-N 오염과 N₂O가스의 발생을 감소시켜⁴⁾ 지속농업에 바람직한 것으로 알려져 있다.⁵⁾ 그런데 콩이 공중질소를 충분히 이용하려면 우선 공생근류균인 *B. japonicum*의 높은 서식밀도가 요구된다.⁶⁾ 일반적으로 토양미생물의 밀도는 시비량이 많을 때 감소되지만 식물체 잔사를 토양에 넣어주면 증가되는 것으로 밝혀졌다.⁷⁾ Crozat 등⁸⁾에 의하면 논토양에서의 *B. japonicum* 밀도는 콩을 재배하므로써 증가되며, 이때 증가된 균주밀도는 콩에 이어 벼를 재배한 뒤까지도 유지되었다고 하였다. 그러나 증식된 균주들이 답전윤환의 지속에 따른 토양이화학성 변화에 적응하지 못한다면 콩의 공중질소 이용도는 감소될 수밖에 없을 것이다.^{9,10)}

따라서, 본 연구는 답전윤환지에서 콩재배와 시비수준에 따른 토착 *B. japonicum*의 밀도변화와 토양이화학성과의 상관관계를 밝혀 콩의 공중질소이용도 제고를 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다.

답전윤환 시험은 경남 밀양의 선상지에 위치한 칠곡동의 논토양에서(Table 1) Table 2와 같이 1년주기(밭-논), 2년주기(밭-밭-논), 3년주기(밭-밭-밭-논 이용)의 윤환체계를 4년연속 논 또는 밭이용체계와 병행하여 수행하였다. 재배작물은 하작물로서 논상태에서는 벼(팔공벼), 밭상태에서는 콩(단경콩)을 재배하였으며, 동작물로는 논밭 구분없이 보리(알보리)를 재배하였다. 작물시비는 농가관행시용과 무시용의 2수준으로 하였다. 시험토양의 분석은 4년차 시험 후에 토양을 채취하여 실시 하였는데, *B. japonicum*의 밀도 조사는 Growth pouch(American scientific product)를 이용한 최확치법¹¹⁾으로 하였고 토양의 질소고정 잠재능^{6,12)} 분석은 1 l들이 광구병에 질석을 충전하여 멸균한 다음 단경콩의 유묘 2개체를 심고서 토양의 10배 희석현탁액 2 ml를 접종하여 5주간 온실재배한 후 콩의 지상부 건물중과 지하부의 근류형성량 및 질소고정력¹³⁾ 조사로 하였다 토양 산도와 유기물, 유효인산, 치환성 양이온은 농진청 토양화학분석법¹⁴⁾으로, 가급태 질소는 pH 7.0의 인산완충용액 추출법¹⁵⁾으로 분석하였다. 토양물리성은 토양조사편람II¹⁶⁾에 준해서 기상과 공극율은 Core 법으로, 경도는 山中式硬度計로 각각 분석하였다. 그리고 답전윤환처리에 따른 토착 *B. japonicum*의 밀도와 토양이화학성과의 관계는 상관관계 값으로 표시하였다.

Table 1. Characteristics of soils used for paddy-upland rotation

pH (1:5)	O. M. (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol ⁺ /kg)			Texture	No. of <i>Bradyrhizobium japonicum</i> (cells/g.soil)
			K	Ca	Mg		
5.4	25	75	0.26	6.3	1.91	Clay Loam	12

찾는말 : 답전윤환, *Bradyrhizobium japonicum* 밀도, *Bradyrhizobium japonicum* 밀도와 토양이 화학성과의 상관, 질소고정잠재능
 *연락처

Table 2. Symbiotic potentials of *Bradyrhizobium japonicum* populations from paddy-upland rotation in a 10-fold-diluted(10^{-1}) whole-soil inoculum on soybean cv. Dankyeongkong^a

Treatments of rotation	No. of rhizobia(Log ₁₀) ^b	Nodule mass(mg/plant)	Nitrogenase activity ^c	Shoot dry wt(g/plant)
Control(P-P-P-P) ^d	0.2	60	9.1	0.64
1-year(U-P-U-P)	2.8	162	11.7	1.50
2-year(U-U-P-U)	2.8	218	13.0	1.62
3-year(U-U-U-P)	3.2	188	13.2	1.60
4-year(U-U-U-U)	3.4	174	13.1	1.44
LSD(5%) ^e		38	-	0.52

^aTested for the unfertilized rotation plot. ^bNumber of *B. japonicum*/ml of diluted whole-soil inoculum.

^c $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{plant/hr}$.

^dSummer crops were rice in paddy and soybean in upland.

^eLeast significant difference

결과 및 고찰

답전윤환처리에 따른 토착 *B. japonicum*의 밀도는 Fig. 1과 같이 논을 밭으로 윤환이용하므로써 크게 증가되었는데, 그 정도는 작물을 관행시비하여 재배했을 때 보다 무비재배했을 때 큰 편이었다. 이것을 시비수준별로 구분해서 보면, 시비구는 계속 논으로 이용했을 때 17 cells/g.soil 이었는데 비해서 1년 주기로 윤환한 구에서는 1.0×10^3 , 2년 주기 윤환구는 3.1×10^3 , 3년주기 윤환구는 1.7×10^3 , 4년 연속 밭이용시는 3.1×10^3 cells/g.soil로 밭이용 년수의 증가에 따른 균주의 밀도차이가 뚜렷하지 않았다. 그러나 무비구에서는 계속 논으로 사용했을 때 20 cells/g.soil 이었는데 1년 및 2년주기 윤환구에서는 5.8×10^3 , 3년주기 윤환구에

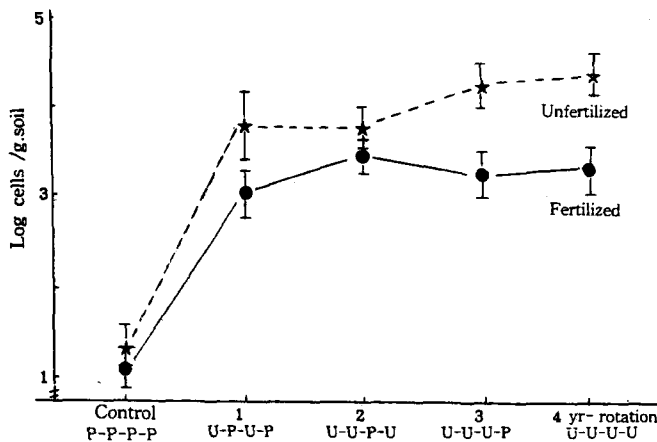


Fig. 1. Changes of *Bradyrhizobium japonicum* populations according to paddy-upland rotation with differently fertilized conditions (P and U indicate paddy- and upland-use, respectively).

서는 1.7×10^4 , 4년 연속 밭이용시는 3.1×10^4 cells/g.soil 로서 밭이용이 길수록 높은 편이었다. 시비구와 무비구간의 균주밀도 차이는 또 밭이용기간이 길었던 3년주기 윤환구와 4년 연속 밭으로 이용한 구에서 큰 편이었다.

논을 밭으로의 윤환이용시 이 같은 토착 *B. japonicum*의 밀도변화 경향은 Table 2에서의 질소고정잠재능 성적에 잘 반영된 경향이었다. 즉, 온실재배한 콩에서의 질소고정 잠재능은 밭으로 윤환이용한 토양이 계속 논으로 이용한 토양보다 현저히 높은 근류무게와 질소고정력 및 콩 건물중을 보였다. 이를 윤환처리별로 보면 2년주기의 윤환구를 최고점으로 하여 3년주기 윤환구와 4년연속 밭으로 윤환이용한 구에서는 감소된 경향이었다. 그리고 답전윤환에 따른 이같은 *B. japonicum* 밀도변화는 Table 3의 토양아화학적특성과 깊은 연관성을 보였다(Table 4). 우선 Table 3에서의 토양아화학적특성을 보면, 유기물과 질소, 인산함량은 답전윤환에 의한 밭이용 기간이 길수록¹⁷⁾ 그리고 작물을 무비재배했을 때 보다 관행시비하여 재배했을 때 높았는데, 특히 유기물은 한해 걸려서 밭으로 이용된 1년주기의 윤환구에서도 계속 논 이용구 보다 5 g/kg 이상 증가를 보였다. 그리고 치환성 칼리와 칼슘, 마그네슘은 논을 밭으로 윤환이용함으로써 약간 감소되었다. 또한 답전윤환은 기상과 공극율을 증대시키면서 토양경도의 감소를 보였다. 답전윤환에 따른 이러한 토양특성 조건에서 보인 *B. japonicum*의 밀도변화는 유기물($r=0.83^*$)과 양이온(Ca/K, $r=0.74^*$; Ca+Mg)/K, $r=0.72^*$) 및 토양경도($r=-0.73^*$) 등과 정 또는 부의 상관관계를 나타내었다.

본 시험에서 토착 *B. japonicum*의 밀도는 논.밭 이용을 격년으로 실시한 1년 주기의 답전윤환구에서도 10^3 cells/g.soil 이상 분포하였으며, 3년주기 윤환구와 4년 연속 밭이용

Table 3. Physico-chemical characteristics of paddy-upland rotated soils with different fertilization conditions

Treatments		pH (1:5)	O. M. (g/kg)	Av. N (mg/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol ⁺ /kg)			Air phase (%)	Porosity (%)	Hardness (mm)
Rotation	Fertilization					K	Ca	Mg			
Control	Appl.	5.5	24	74	71	0.72	4.7	1.13	24.2	51.2	15.0
(P-P-P-P)	None	5.7	24	51	42	0.58	5.7	1.13	20.0	49.1	15.9
1-year	Appl.	5.4	30	94	127	0.53	4.2	0.99	24.1	52.0	14.1
(U-P-U-P)	None	5.9	29	75	56	0.51	5.1	1.06	21.2	49.4	14.6
2-year	Appl.	5.5	35	117	183	0.64	4.6	1.08	32.6	54.8	14.2
(U-U-P-U)	None	5.6	34	99	68	0.41	5.1	0.97	26.5	53.7	14.3
3-year	Appl.	5.3	34	98	148	0.47	4.6	1.02	25.3	53.4	14.1
(U-U-U-P)	None	5.8	33	83	111	0.52	5.6	1.00	22.9	51.1	14.4
4-year	Appl.	5.5	36	121	190	0.61	4.6	1.01	36.3	55.9	13.8
(U-U-U-U)	None	5.6	34	114	135	0.42	5.7	0.99	28.4	54.1	14.2

Table 4. Correlation between *Bradyrhizobium japonicum* populations and some soil characteristics in paddy-upland rotation field

Factors	O. M.	Av. N	Av. P ₂ O ₅	Ca/K	(Ca+Mg)/K	Hardness	Porosity
<i>B. japonicum</i> populations	0.38*	0.60ns	0.43ns	0.74*	0.72*	-0.73*	0.43ns

* : Significant at 5% probability level.

ns : Non significant

구에서는 우리나라 밭토양에서의 평균밀도 10^4 cells/g.soil^{6,18)} 수준을 보이기도 하였다. 이처럼 매년 논·밭을 교대로 이용했을 때도 *B. japonicum*의 밀도가 계속 논으로 이용했을 때보다 100배가량 높았던 것은 밭이용시 하작물인 콩재배의 영향⁹⁾과 근류균의 담수토양 적응력¹⁰⁾에 기인된 것으로 생각되었다. Smith 등¹⁹⁾은 근류균의 토양서식과 관련한 토양온도와 염분, 건조 내성은 *Bradyrhizobium*이 *Rhizobium*보다 약하다고 하였고, Triplett 등²⁰⁾은 근류균의 숙주재배에 따른 밀도증가는 *Rhizobium meliloti*가 *B. japonicum*보다 뚜렷하였다고 하였다. 강 등²¹⁾은 또 숙전에서 알팔파를 질소질 비료를 사용하지 않은 조건에서 근류균으로 접종재배한 결과, 토양내 *R. meliloti* 밀도는 알팔파에 질소를 사용했을 때보다 높았음을 확인하였다. 토양의 질소고정잠재능은 근류균이 함유된 토양접종을 숙주에 접종처리한 후, 4~5주일의 단기간에 나타나는 질소고정효과 즉, 숙주의 생육정도를 뜻하는 것으로 토양내 균주 밀도와 그들의 공중질소고정력을 포괄적으로 나타낸다.¹²⁾ 본 시험에서 조사된 질소고정잠재능은 논을 밭으로 격년제로 윤환이용한 1년주기의 윤환구 보다 2년이상 밭으로 이용하고서 다시 논으로 환원한 2년주기 이상의 담전윤환구에서 높았는데, 이는 밭이용시 콩뿌리에서의 근류착생 및 분해가 주요인이었던 것으로 생각되었다.^{21, 23)} 일반적으로 토양의 질소고정잠재능에 영향을 미치는 근류균의 밀도는 숙주식물의 서식에 의해서 직접적으로 증가되며,⁸⁾ 부수적으로는 토양의 이화학적 성에 따라서 증감의 변화를 보이는 것으로 알려져 있다.²⁴⁾ 특히, 본 시험에서는 근류균의 밀도변화에 유기물의 영향이 뚜렷하였는데, 이는 유기물 중의 탄소가 타급영양 세균인 근류균의 생활에너지원으로 작용하였음을 뜻하는 것으로 Woome와 Bohlool²⁵⁾에 의해서도 확인된 바 있다. 또한 시험토양의 양이온비가 근류균의 밀도증가에 유의적인 영향을 보였는데, 이같은 경향은 일반 토양미생물의 경우에도 마찬가지인 것으로 알려졌다.²⁶⁾ 그리고 토양경도가 근류균의 밀도증가에 부의 영향을 보인 것은 논을 밭이용에 따른 콩뿌리 발달이 조장되면서 토양공기의 증가와 함께 근류형성이 촉진되었기 때문이라 생각되었다.²³⁾ 한편, 토양질소는 근류균의 숙주감염을 억제시키나²⁷⁾ 적은 양으로 있을 경우 숙주에서의 근류형성에 바람직한 것으로 알려져 있다.^{28,29)} 그리고 석회와 인산은 근류형성을 촉진시켜 토착근류균의 질소고정잠재능을 높여주는 것으로 알려져 있지만³⁰⁾ 인산의 경우는 본 시험에서 근류균의 밀도증가에 유의성을 보이지 않았다.

이상의 결과로 볼 때, 논을 밭으로 윤환이용했을 때 콩을 재배하면 토착근류균의 밀도가 증가되어 공중질소의 고정량이 많아짐을 확인할 수 있었다. 그러나, 지속농업 측면에서 지력질소를 보다 증진시키기 위해서는^{31,32)} 토착근류균

보다 콩과작물 공생효과가 우수한 근류균을 활용하는 연구가 필요한 것으로 생각되었다.

참고 문헌

1. 大久保 隆弘(1992) 영남지역 논 고도이용 발전방향 심포지움. 영남작물시험장, 74-92
2. Burns, R. C., and R. W. Hardy(1975) Nitrogen fixation in bacteria and higher plants. Springer-Verlag, Berlin, Germany, p.189.
3. Peoples, M. B., and E. T. Crasswell(1992) Biological nitrogen fixation : investments, expectations and actual contributions to agriculture. *Plant Soil*, **141**, 13-39.
4. 이상규, 서장선(1993) 농작물 재배환경과 지구온난화 원인 가스 발생 1. 담전윤환시 작부체계와 지구온난화원인 기체-이산화탄소, 메탄, 아산화질소- 발생, 한토비지, **26**, 49-56.
5. Bohlool, B. B., J. K. Ladha, D. P. Garrity, and T. George (1992) Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture : A perspective, *Plant Soil*, **141**, 1-11.
6. 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.
7. 김승환, 이상규(1992) 작물의 종류와 잔사 및 시비량이 토양 미생물상, 화학성 및 작물생육에 미치는 역할, 한토비지, **25**, 370-377.
8. Crozat, Y., J. C. Cleyet-Marel, J. J. Giraud, and M. Obaton (1982) Survival rates of *Rhizobium japonicum* populations into different soil, *Soil Biol. Biochem.*, **14**, 401-405.
9. Lowendorf, H. S.(1980) Factors affecting survival of *Rhizobium* in soil, In. Advances in microbial ecology. M. Alexander, Ed. p.87-123, Plenum Publishing Corp., New York.
10. Weaver, R. W., D. R. Morris, N. Boonkerd, and J. Sij (1987) Population of *Bradyrhizobium japonicum* in fields cropped with soybean-rice rotations, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **51**, 90-92.
11. Somasegaran, P., and H. Hoben(1985) Methods in legume-*Rhizobium* technology, NifTAL Publication, Library of Congress ISBN 87-106109.
12. Brockwell, J., R. A. Holliday, and A. Pilka(1988) Evaluation of the symbiotic nitrogen -fixing potential of soils by direct microbiological means, *Plant Soil*, **108**, 63-70.
13. Hardy, R. W. F.(1979) A treatise on dinitrogen fixation. John Wiley & Sons. New York.
14. 농촌진흥청(1988) 토양화학분석법.
15. 口太重(1983) 有機物連用土壤の地力窒素的な評價, 日本土壤肥土學會誌, **53**, 214-218.

16. 농촌진흥청(1973) 토양조사편람II.
17. 류철현, 김종구, 강종국, 이종식, 신기호, 소재돈, 박건호 (1991) 하해혼성 논 토양의 답전윤환에 관한 연구 1. 암거배수와 답전윤환이 토양의 이화학적 변화와 작물생육 및 수량에 미치는 영향, 농시논문집(토양비료편), **33**, 14-28.
18. 류진창, 이성재, 서장선, 조무제(1986) 우리나라 토착대두근류균의 분포상태와 생리생태학적 특성 제1보 토착근류균의 분포상태와 토양특성과의 상호관계, 한토비지, **19**, 38-49.
19. Smith, L. T., A. A. Allaith, and G. M. Smith(1994) Mechanism of osmotically regulated N-acetylglutamine amide production in *Rhizobium meliloti*, *Plant Soil*, **161**, 103-108.
20. Triplett, E. W., A. A. Albrecht, and E. S. Oplinger(1993) Crop rotation effects on populations of *Bradyrhizobium japonicum* and *Rhizobium meliloti*, *Soil Biol. Biochem.*, **25**, 781-784.
21. 강위급, 정연태, 이수관, 하호성(1992) 숙전에서 질소시용과 *Rhizobium meliloti*의 접종방법이 근류균 밀도 및 알팔파 수량에 미치는 영향, 한토비지, **25**, 275-280.
22. Eaglesham, A. R. J.(1989) Nitrate inhibition of root-nodule symbiosis in doubly rooted soybean plants, *Crop Sci.*, **29**, 115-119.
23. Pena-Cabriales, J. J., and M. Alexander(1983) Growth of *Rhizobium* in unamended soil, *Soil Sci. Am. J.*, **47**, 81-84.
24. Mahler, R. L., and A. G. Wollum II(1982) Seasonal fluctuation of *Rhizobium japonicum* under a variety of field conditions in North Carolina, *Soil Sci.*, **134**, 317-324.
25. Woome, P., and B. B. Bohlool(1989) Rhizobial ecology in tropical pasture systems, In. Proceedings trilateral workshop : persistence of forage legumes, p.233-245.
26. 이상규, 윤세영, 류진창, 서장선, 박준규(1987) 채소연작 및 윤작재배시의 토양미생물상 변화 연구, 농시논문집, **29**(2), 85-92.
27. Heichel, G. H., and C. P. Vance(1979) Nitrate-N and *Rhizobium* strain roles in alfalfa seedling nodulation and growth, *Crop Sci.*, **19**, 512-518.
28. Bushby, H. V. A., and K. C. Marshall(1977) Water status of rhizobia in relation to their susceptibility to desiccation and to their protection by montmorillonite, *J. Gen. Microbiol.*, **99**, 19-27.
29. 강위급, 최주현, 이재생, 정연태(1991) 야산 목초지용 내산성 우수 질소고정균주 개발 III. 야산 개간지에서 *R. meliloti* "YA03"의 알팔파 접종효과, 한토비지, **24**, 219-224.
30. Almendars, A. S., and P. J. Bottomely(1987) Influence of lime and phosphate on nodulation of soil-grown *Trifolium subterraneum* L. by indigenous *Rhizobium trifolii*, *Appl. Environ. Microbiol.*, **53**, 2090-2097.
31. Fujita, K., and O. S. Ofosu-Budu(1992) Biological nitrogen fixing in mixed legume-cereal systems, *Plant Soil*, **141**, 155-1176.
32. George, T., J. K. Ladha, R. J. Buresh, and D. P. Garrity (1992) Managing native and legume-fixed nitrogen in low land rice-based cropping system, *Plant Soil*, **141**, 69-91.

Relatedness of Naturalized *Bradyrhizobium japonicum* Populations with Soil Physico-Chemical Characteristics as Affected by Paddy-Upland Rotation

Ui-Gum Kang*, Chang-Young Park, Moon-Tae Youn¹, Sang-Uk Choi², and Ho-Sung Ha³(*National Yeongnam Agricultural Experiment Station, Milyang 627-130, Korea; ¹Department of Landscape Architecture, Milyang National University, Milyang 627-130, Korea; ²Central Laboratory, ³Department of Agricultural Chemistry, Gyeongsang National University, Chinju 660-707, Korea*)

Abstract : The relatedness of naturalized *Bradyrhizobium japonicum* populations with soil physico-chemical characteristics as affected by paddy rice-upland soybean rotation cropping with conventional and none fertilization in Chilgog clay loam soils were determined as follows. The populations of *B. japonicum* in soils were increased from about 10¹ in continuous paddy upto 10³ cells/g.soil only in one-year rotation of upland use with soybean cropping. Compared to the densities in plots of conventional fertilization, those in none fertilization were high ranging from 1.9 to 10 fold in 2-year upland use rotation and both in 3-year upland use rotation and 4-year upland use, respectively. The populations were positively correlated with soil organic matter contents(r=0.83*), Ca/K(r=0.74*), and (Ca+Mg)/K(r=0.72*) and were negatively correlated with soil hardness(r=-0.73*). And the soil populations increased by paddy-upland rotation resulted in superior symbiotic potentials to those in continuous paddy use in terms of nodule mass, nitrogenase activity, and soybean shoot dry weight.

Key words : paddy-upland rotation, *Bradyrhizobium japonicum* populations, correlation between *Bradyrhizobium japonicum* populations and soil physico-chemical properties, symbiotic potentials.

*Corresponding author