

GOVP1200201692

633.188

L 293 □

19

최 중
연구보고서

미생물 자원을 활용한 벼-맥류 2모작 지속농업 체계확립

Establishment of Sustainable Rice Barley(wheat)
Double cropping Systems By Using Microbial resource

세부과제명 :

1. 기능성 유효미생물의 개발과 평가
2. 벼-맥류 무경운 직파재배체계에서 유용 미생물의 활용

연구기관

경상대학교 농과대학

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “미생물 자원을 활용한 버-맥류 2모작 지속농업 체계 확립에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001 년 10 월 28 일

주관 연구 기관 : 경 상 대 학 교

총괄연구책임자 : 박 창 석

세부연구책임자 : 최 진 룡

연 구 원 : 김 대 호

연 구 원 : 전 남 수

연 구 원 : 이 병 진

연 구 원 : 신 순 선

연 구 원 : 김 진 우

연 구 원 : 최 옥 회

연 구 원 : 이 선 미

요 약 문

I. 제 목

미생물 자원을 활용한 벼-맥류 2모작 지속 농업체계 확립

II. 연구개발의 목적 및 중요성

제 1절 연구개발의 중요성

국내의 식량 생산산업은 경제성, 농촌의 노동력의 과부족과 노령화로 관심이 줄어들고 있으며 생산을 포기한 유휴 농지 면적이 증가하고 있다. 또한 농산물의 시장개방은 농민으로 하여금 현행 벼 농사법에 대한 근본적인 변화를 요구하고 있다. 더욱이 급년처럼 벼농사가 대풍을 이루고도 쌀값을 제대로 받을 수 없다는 강박 관념에 사로잡히게 된다면 벼농사에 대한 농민의 관심은 더욱 감소될 것이다. 만약 이러한 문제점에 대한 근본적인 대책이 없다면 우리 나라의 벼농사를 존속시킬 수 있을 것인가를 의심하지 않을 수 없는 지경에까지 와 있는 실정이다.

한편 국내외적으로 생태계를 보호하고 깨끗한 환경을 가꾸어 나아가려는 정책이 여러 가지 규제를 강화하고 국제간의 협약으로 환경조화형 혹은 지속형 농업기술 기술개발의 개발과 실용화가 시급하게 요구되고 있다. 아직도 농약과 비료사용량이 줄어들지 않고 있는 우리 나라의 실정은 농촌의 환경 오염 문제가 이제 심각한 수준에 달하고 있으며 국제적 농업 연구의

추세도 화학비료와 농약에 의존하고 있는 노동집약적, 자본집약적인 농업체계로부터 탈피하여 생태적으로 안정되고 토지생산성을 지속적으로 증진시켜 나갈 수 있는 지속농업(sustainable agriculture)으로 전환하고 있는 실정이다.

벼 직파재배는 노동력과 재배비용을 줄일 수 있어 앞으로의 벼재배 기술로 연구되고 있지만 뿌리생장의 부실로 인한 도복과 낮은 입모율과 잡초와의 경쟁이 약하며 출수가 고르지 않아 수확량이 감소하는 문제점을 안고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위하여 많은 양의 종자를 파종해야하고 비료량을 늘리는가 하면 오히려 더 많은 노동력을 투입해야하는 한계에 이르고 있는 실정이다. 경종적인 방법으로 해결할 수 없는 직파재배의 한계를 해결하기 위하여 미생물의 종자처리에 의한 기술도입이 절실히 요구되어진다.

전통적으로 우리 나라에서 보리, 밀 재배는 겨울동안 토지를 이용할 수 있다는 점에서 매우 중요한 요소로 인식되어 왔으나 근년에 이르러 다른 작물에 비하여 수익성이 낮고 수확기가 늦어져서 이모작으로 다음 작물을 재배하는데 장애가 된다는 이유로 점차 면적이 줄어들었고 생산성도 향상되지 않고 있다. 그러나 식량작물로서의 가치나 가공원료, 사료로서의 보리, 밀의 중요성은 여전하다. 보리와 밀은 겨울 작물이므로 논에서 여름작물인 벼와 짝지어 이모작을 할 수 있는 등의 이점이 있어, 미생물을 이용한 벼와 보리, 밀의 새로운 재배기술의 도입이 불가피하며 우리 나라의 기후지역에서만 찾아 볼 수 있는 겨울작물과 여름작물의 이모작재배 시스템을 효과적으로 활용하는데 유용미생물을 처리하는 벼 재배 기술이 절실하게 필요한 실정이다.

제 2절 연구개발의 목적

이 연구가 지향하는 목표는 유용한 미생물을 활용하여 지속농업 벼-맥

류 2모작 직파 생산 기술체계를 확립하는 데 있다. 이를 위하여 그 동안 벼 직파 재배에서 문제점으로 지적되어온 초기 입모율의 저하, 균일하지 못한 생장, 도복에 취약성 그리고 수량의 감소 등을 해결할 수 있는 방안을 모색하고 미생물을 처리하여 이러한 문제점들을 실질적으로 해결하려는 데 있다. 이와 함께 월동작물로 쉽게 재배할 수 있는 보리나 밀의 입모율을 향상시키고 월동기 생장을 촉진하여 출수기를 단축함으로써 보리재배로 말미암아 벼 재배가 지연되는 문제점을 미생물을 활용하여 해결하려는 데 목적이 있다.

또한 벼-맥류 2모작 직파 기술의 문제점을 파악하고 토양-기후-작물을 하나의 생산체계로 보고 이를 체계적으로 분석해야 하고 무경운 체계에서 벼-맥류 직파 재배 기술 체계를 확립하기 위한 전략을 개발하는데 있다. 이 연구의 궁극적인 목적은 우리 나라에서 농업환경을 보호하고 벼 생산의 경제성을 높힐 수 있는 새로운 벼 재배기술 체계를 확립하려는 것이다. 이러한 새로운 재배기술은 토양의 보존, 생산비의 절감, 토양과 환경 오염의 최소화, 토양자원의 보존과 밀접하게 관련되어있는 21세기의 새로운 농업체계에 접근하려는 데 목적이 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 미생물 소재의 평가와 이용기술개발

- 가. 토양조건(토성)별 벼 생육촉진 미생물 효과 검정
- 나. 무경운토양의 2모작 벼-맥류 품종별 효과 검정
- 다. 직파재배시 미생물의 벼 뿌리 정착과 증식양상 추적
- 라. 벼·자운영 이모작 직파재배 체계에서 미생물 처리 효과 검정
- 마. 간척지 토양에서 벼 생장촉진 미생물 처리 효과 검정

2. 벼-맥류 2모작 안정적 생산체제 개발

- 가. 저온조건에서 발아와 유묘 신장성 향상 효과 검정
- 나. 뿌리 발육 향상과 도복방지 효과 검정
- 다. 미생물 처리에 의한 분얼향상과 출수기 단축 효과 검정
- 라. 간척지에서 미생물처리 효과 검정
- 마. 토양환경과 종자처리 미생물의 기주 근권정착 능력 검정

3. 기술/소재의 현장활용과 지속농업의 체계화

- 가. 종자처리 미생물이 근권토양의 미생물에 미치는 영향 평가
- 나. 맥류와 벼의 최적 2모작 재배 조합 규명
- 다. 벼-맥류 품종조합에 의한 안정적 2모작 재배체제개발

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

제1절 연구개발 결과

1. 미생물 소재의 평가와 이용기술개발

가. 벼 맥류 생장 촉진 미생물 선발

벼의 생장촉진 미생물을 분리하기 위하여 부산광역시 명지 지역의 10년간 파를 재배하는 22포장과 경남 함양군 일대 양파 재배단지의 9곳에서 양파의 뿌리에서 총 38곳에서 565균주를 선발하였는데 Pythium에 길항효과가 있는 A21-3, A21-4 외 49개 균주를 선발하였고 벼의 뿌리 발육을 향상시키는 A7-10, B2-13, B8-22 외 8개 균주를 새롭게 선발하였다. 포장실험을 통하여 최종적으로 H210과 B16균주를 벼 생장촉진 실험에 선발하였다. 그리고 간척지 토양에서는 A7-10, H210, B8-22, 88-7-2등 균주들을 선발하였다.

보리 생장촉진 미생물을 분리하기 위하여 전남 순천, 보성, 장흥, 해남의 247곳에서 보리 뿌리를 채취하여 총 5,000개의 균을 분리하였는데 토양 병원균에 길항력 있는 균주 42개를 선발하였고 그중 34개의 균주가 Pythium에 대하여 길항력을 나타냈다. Pot 실험을 통하여 E681, B16, 4-10, 88-7-2, 141-9, 159-9 균주가 선발하였고 포장실험에서 최종적으로 E681과 B16이 선발하였다.

나. 토양 조건(토성)별 벼 생육촉진 미생물 기능평가

공시토양인 감곡토, 시례토, 단성토, 비곡토와 간척지 토양을 현지에서 1/2000 pot 단면이 상하지 않게 담아 토성에 따른 미생물의 처리효과 시험

을 수행하였다. 미생물을 처리한 벼의 입모율은 단성통에 88-7-2, B16 그리고 4-10이, 시레통에 H210과 B16이 감곡통에 H210과 88-7-2가, 간척지에 H210, B16, 4-10이 미곡통에서는 H210이 각각 높았다. 입모율은 H210과 B16이 좋았으며 88-7-2와 4-10은 통성에 따라 변이가 심하게 나타났다. 미생물을 처리한 벼의 초기 초장은 단성통에 88-7-2, 시레통에 B16, 감곡통에 H210과 B16, 미곡통에 B16이 크게 나타났다 후기 초장은 모든 토성에서 미생물 처리구가 높게 나타났다. 토성에 따른 근장은 단성통, 비곡통에 88-7-2가, 감곡통, 시레통에 H210이 가장 길게 나타났다.

다. 무경운토양의 2모작 벼-맥류 품종별 미생물 처리효과 검정

벼 품종별 미생물 처리 효과를 비교하기 위하여 일반장려품종인 금오벼2호, 동진벼, 일미벼, 직파 장려품종인 남천벼, 대산벼, 동안벼를 공시하였다. 미생물은 1차년도 실험결과 효과가 인정된 H210과 B16을 사용하였다. 품종별 미생물의 처리효과를 보면 초장은 금오벼 2호에서 B16, 대산벼와 동진벼에서는 H210이 가장 컸고, 건물중 변화는 동진벼에서 B16, 금오벼2호에서는 H210이 가장 많이 증가하였다. 건담직파재배에서 만식재배에 적합한 품종인 금오벼2호와 양질이며 직파 적응성이 높은 품종인 동진벼를 2차년도 실험에 공시하였다. 금오벼2호는 H210처리에서 입모수가 많았고, 분얼기는 4-10과 B16처리구에서 초장이 길었고, 유수형성기는 88-7-2와 H210처리구에서 초장이 길었고 이삭수는 H210처리구에서 많았다. 동진벼는 H210처리에서 입모수가 많았고, 분얼기의 경우 88-7-2와 H210 처리구의 초장이 길었고, 출수기의 건물중은 B16과 H210처리구가 무거웠고, 이삭수는 H210처리구가 많았다. 처리의 전체에서 H210의 금오벼 2호가 가장 많이 증가하였다. 미생물의 밀도 변화는 품종간 다소 차이는 있었지만 그로 인해 벼의 생육에 영향을 줄 정도로 차이는 보이지 않았다.

보리 품종별 미생물의 효과를 비교하기 위하여 맥류 품종은 올그루밀, 새

찰쌀보리, 제주보리, 서둔밀, 흰찰쌀보리, 서둔찰보리, 남향보리, 진양보리, 고분밀, 대백보리, 큰알보리를 실험에 공시하였고, 미생물은 *Paenibacillus polymyxa* E681과 *Pseudomonas fluorescense* B16을 사용하였다. 보면 B16과 E681의 처리효과는 맥류의 품종간에 약간의 차이를 보여 주었는데 미생물처리 효과가 두드러진 품종은 진양보리, 흰찰쌀보리, 큰알보리로서 무처리에 비교해서 분얼수, 길이생장에 향상효과를 보여 주었다. 2000년도에는 미생물 처리 효과가 두드러진 진양보리와 흰찰쌀보리를 대상으로 포장시험을 확대하였다. 경상대학교 부속농장에서 수행한 미생물처리에 의한 흰찰쌀보리 성장촉진 실험에서는 생육중기의 초장과 분얼수 간장에서는 처리간에 유의성 차이를 나타내지 않았지만 입모수는 E681, B16, H210처리가 무처리에 비교하여 많았고, 수확량에서도 미생물처리가 무처리에 비하여 많았다.

라. 직파재배시 미생물의 벼 뿌리 정착과 증식양상 추적

직파 재배시 벼 근장은 금오벼2호, 동진벼, 남천벼, 동안벼등 4품종이 B16 처리구가 다른 처리구에 비해 뿌리의 생육이 좋았으며 일미벼는 H210에서 좋았다. 선발된 B16, 4-10, H210, 88-7-2균주들은 혐기적 환경인 담수조건에서 모두 70일 넘게까지 근권에서 10^4 cfu/ml이상의 밀도를 유지하고 있었다. 즉 혐기성인 논 토양에서도 길항 미생물이 효과적으로 근권에 정착할 수 있었다. 미생물을 종자 처리하여 실제 포장에 파종한 후 근권에서의 그 밀도 변화를 추적하여 보면 벼에서 B16과 H210 모두 70일 넘게까지 근권에서 10^4 cfu/ml이상의 밀도를 유지하였는데 B16은 초기 밀도가 H210보다 높았지만 시간이 경과함에 따라 밀도가 떨어지는 경향을 보였고, H210은 근권에서 장기간 동안 밀도를 계속 유지하였다.

마. 벼. 자운영 이모작 직파재배 체계에서 미생물 기능평가

벼-자운영 무경운 직파재배 체계에서 초기 유모기의 초장은 미생물 처

리간에 차이가 없었지만 생육 중기와 후기에는 미생물 처리구의 생육이 촉진되는 경향을 보였다. 초기 분얼은 미생물 처리간에 차이가 없었지만 생육 중기에 분얼수가 낮았던 H210이 생육후기에 가장 높게 나타났다. 수량구성 요소 중 단위면적당 이삭수는 H210과 B16, 이삭당 낱알수는 H210 가장 많았다. 수량은 H210과 B16 처리구가 가장 높게 나타났다.

바. 간척지 토양에서 벼 성장촉진 미생물 기능평가

간척지 토양에서는 A7-10, H210, B8-22, 88-7-2등 균주들을 선발하였다. 간척지 토양을 담은 Pot 실험에서 H210처리는 입모율이 75%로 무처리의 57%에 비해 입모율을 현저하게 향상시켰다. 이는 미생물 종자처리에 의하여 염도가 높은 간척지에서 벼의 입모율을 효과적으로 높일 수 있다는 가능성을 보여주었다. Pot실험에서 선발된 균주들을 사천시 서포면 자혜리 간척지에서 1000평을 임대하여 포장실험을 수행하였다. 1999년에는 파종 후 5월 하순부터 시작된 집중호우로 인하여 논 전체가 침수되어 초기 입모율만을 조사하였고, 2000년에는 심한 가뭄으로 물 부족과 토양 염도가 높아 유묘가 말라죽었다.

2. 벼-맥류 2모작 안정적 생산 체계 개발

가. 저온조건에서 발아와 유묘 신장성 향상기술 개발

저온조건에서 벼, 보리의 발아와 유묘 신장성 향상기술을 개발하기 위하여 길항 미생물을 이용한 Bio-priming 기술을 도입하였다. petri plate 실험에서 벼는 15℃와 20℃에서 H210과 B16처리가 무처리에 비하여 빠른 발아를 보였고 벼에 H210을 Bio-priming 처리하였을 경우 일반 처리보다 발아가 빨랐다. 파종 7일후 발아율을 보면 H210을 priming한 것은 88%발아한 것에 비해 일

반 처리는 70%, 무처리는 40%의 발아율을 보였다. 보리는 15℃와 20℃에서 E681과 B16이 빠른 발아를 보였다. 보리에 E681을 Bio-priming 처리하였을 경우 일반 처리보다 발아가 빨랐다. 파종 3일후 발아율을 보면 E681 Priming처리한 것은 82% 발아율을 보인 반면에 침지한 것과 무처리는 20%밖에 발아하지 않았다.

파종 시기별 미생물 처리 효과를 규명하기 위하여 1999년 경상대학교 부속 농장 포장에 10월 26일, 11월 6일, 11월 16일, 11월 26일 10일 간격으로 *Paenibacillus polymyxa* E681(10^8 cfu/ml)이 처리된 보리(진양보리)종자를 파종하였다. 일찍 파종한 10월 26일 파종구부터 길이 생장과 입모에서 조금씩 차이가 나기 시작하여 11월 16일 파종한 처리구에서 분얼수의 차이가 많이 났다. 그리고 4월 중순부터 출수하기 시작하였는데 미생물 처리구에서 하루정도의 차이를 보이면서 출수를 하였고 11월 16일 저온 시기에 파종한 처리구에서는 5일 일찍 출수하였다. 2000년도에도 진양보리에 *Paenibacillus polymyxa* E681과 *Pseudomonas fluorescence* B16(10^8 cfu/ml)을 종자에 처리하여 경상대학교 부속농장에 10일 간격으로 10월 25일, 11월 5일, 11월 14일, 11월 24일 파종하였다. 2000년 실험에서도 역시 10월 25일 파종구에서는 미생물 처리간에 유의성 차이가 없었다. 11월 5일 이후 저온기에 파종하였을 경우 그 효과가 인정되어 미생물처리가 무처리에 비하여 입모수, 초장, 간장, 및 수확량이 증가하였다.

나. 뿌리 발육 향상과 도복방지 기술개발

2000년도 시험에서 뿌리의 활력을 조사한 결과 미생물을 처리한 벼가 무처리 보다 근활력이 현저하게 높게 나타난다는 것을 알게 되었다. 이러한 결과를 바탕으로 2001년 시험에서는 본격적으로 미생물처리에 의한 도복경감 효과를 알아보기 위하여 도복과 관계되는 요인들을 조사하였다. 그 결과 줄기의 직경과 두께가 미생물 처리구가 무처리구 보다 크게 나타나 유용미

생물을 처리함으로 도복 경감의 효과가 있을 것으로 판단된다. 실제 측정한 도복저항성은 지표에서 30 °까지 기울때까지 벼 줄기를 잡아당겼을 때 분얼 당 받는 힘을 나타내었다. H210에서 분얼당 41g, B16은 35g 그리고 무처리 는 27g 의 힘을 받아 미생물처리구가 무처리구보다 도복저항성이 현저하게 높은 것으로 나타났다.

다. 미생물 처리에 의한 분얼향상과 출수기 단축 기능평가

1998년 1차년도에는 고성과 벌교 농가 포장에서 E681 처리구의 입모가 무처리에 비해 빨랐으며 초기 생장 역시 빨랐다. 1999년 2차년도에 경상남도 농업기술원에 파종한 보리, 밀 뿌리에 정착한 처리세균의 밀도는 파종 40일 과 90일 후에도 정착하고 있었으며 초기 입모율과 생장이 무처리에 비해 향상된 효과가 있었고 최고분얼수는 오월보리, 진양보리 그리고 올그루 밀에서 모두 E681처리구에서 무처리에 비하여 현저하게 높았고 출수기는 대체로 1~2일 정도 앞당길 수 있었지만, 보리 출수기에는 크게 영향을 미치지 못하였는데 이는 시험기간중 월동기와 봄 기온이 예년보다 높아서 미생물을 처리하지 않은 구에서도 출수기가 5-10일 정도 빨랐기 때문인 것으로 추정된다. 한편 정상시기 파종하였을 경우 출수기를 크게 앞당기지 못하였지만 11월 5일 이후 저온기에 파종하였을 경우 무처리에 비하여 출수기를 5 일이나 앞당길 수 있었다. 1999년 문산면 금곡리 농가 포장에서 E681처리에 의한 생육촉진 효과를 보면 월동전, 월동중에 E681처리구에서 무처리에 비하여 입모수가 많고 초장이 컸고 월동후에도 E681처리구가 무처리에 비하여 월동하게 컸다.

라. 토양환경과 종자처리 미생물의 근권정착 능력

선발한 미생물을 종자에 처리하였을 때 토양의 수분환경이나 제초제 살

포 등으로 인하여 미생물의 벼 근권정착능력이 감퇴되는 정도를 알아보기 위하여 수분농도를 달리한 토양과 제초제를 처리한 토양에서 근권정착능력을 조사하였다. 파종후 건조 수분스트레스와 제초제에 전혀 영향을 받지 않고 정상적으로 벼 뿌리에 정착하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 기술/소재의 현장활용과 지속농업의 체계화

가. 종자처리 미생물이 근권토양의 미생물에 미치는 영향

본 연구에서 우리가 분리한 미생물들은 모두 식물의 근권으로부터 얻은 것이며 식물의 근권에 정착하여 활동한다. 식물종류나 품종이나 미생물군주에 상관없이 모두 식물의 종자에 처리하였을 경우 뿌리의 발육과정에 뿌리를 따라 정착하여 식물의 생육왕성기에 식물의 근권에서 활동하고 출수기 이후 식물의 쇠퇴와 함께 급격히 감소된다. 즉 벼나 보리 수확후 미생물도 수확과 동시에 근권의 처리 미생물 밀도는 거의 없어져 후작 벼나 보리의 근권토양이나 뿌리에서 밀도를 찾을 수 없었고 후작 작물생육에 영향을 주지 않았다.

나. 미생물 처리에 의한 맥류와 벼의 최적 2모작 재배체제 개발

남부지방의 재배조건에서 벼의 수량성, 지파적응성, 미질 등을 고려할 때 동진벼와 금오벼2호가 무난할 것으로 판단되어 이들에 대한 미생물의 효과를 집중적으로 조사하였다. 금오벼2호에서는 미생물 처리구가 무처리구 보다 높게 나타났지만, 동진벼에서는 미생물과 무처리간에 유의수준이 인정되지 않았다. 근활력은 두품종 모두 분얼기에는 차이가 없었으나, 유수형성기에 금오벼 2호는 H210, B16과 4-10이 동진벼는 B16이 무처리에 비해 높게 나타났다. 수량구성요소 중 금오벼 2호의 이삭수는 88-7-2, B16과 4-10이 많았고, 천립중은 미생물처리구가 대조구에 비해 무거웠다.

동진벼의 이삭수는 H210, 88-7-2, 과 4-10이 많았고, 천립중은 88-7-2, B16 및 4-10 처리구가 무거웠다. 수량은 금오벼2호가 동진벼보다 많았으며, 금오벼2호와 동진벼에서 B16이 가장 많은 수량을 내었다. 이상의 결과를 종합할 때 벼의 종자처리 미생물은 H210과 B16이 가장 좋은 것으로 판단된다.

보리종자에 유용미생물 처리하여 입모수는 B16 처리구가 가장 높았고 무처리구가 가장 낮았다. 월동 후 개체수 조사에서는 E681이 가장 높았다. 보리 수량은 E681 미생물 처리구가 다른 미생물 처리구보다 수량이 높게 나타났다. 보리의 생장촉진 효과나 내구성 등으로 볼 때 E681를 활용하는 것이 가장 효과적이라 판단된다.

맥류 품종별 출현율은 진양보리가 가장 높았으며 올그루밀이 가장 낮게 나타났다. 출수기는 오월보리가 가장 빨랐다. 수량은 진양보리가 가장 다른 품종에 비해 가장 많았다. 미생물 처리에 의한 수확량의 증가는 진양보리와 올보리에서 무처리 보다 높게 나타났다.

벼-보리 2모작 작부체계에서 적합한 벼의 품종은 보리수확 후 직파가 가능한 만식적응성이 높은 품종으로 선택을 해야한다. 따라서 만식 적응성이 높고 양질미인 금호벼 2호를 선택하고 보리의 경우 숙기가 너무 빠르면 수량이 떨어지고 숙기가 늦어지면 벼에 영향을 주기 때문에 중생종이 알맞을 것으로 사료되어 진양 보리를 선택하였다.

간장과 수장은 미생물처리구가 무처리구 보다 높았다. 직파재배에서 표준시비 조건에서는 미생물 처리구와 무처리간에 큰 차이가 나타나지 않았지만 표준 시비량의 절반을 시비한 조건에서는 미생물 처리구가 무처리구에 비해 현저히 수량이 높은 것으로 나타났다. 이는 미생물을 이용하여 벼-보리 2모작 직파재배에서 질소비료를 절감하는 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

제2절 활용에 대한 건의

- 가. 본 연구에서 개발된 기술로 안정적인 벼-보리 2모작 생산체계를 확립하는데 활용한다.
- 나. 불안정한 입모확보, 생산량의 감소, 도복 등의 문제로 직파를 꺼리는 모든 형태의 벼 재배에서 본 연구에서 얻어진 미생물 처리 방법으로 직파재배를 도입하는데 활용한다.
- 다. 성장촉진 하는 미생물을 활용하여 논농사에서 비료사용량을 줄이는 재배법을 수립하는데 활용한다.
- 라. 저온 생장성이 낮아서 재배가 불안정한 쌀보리, 찰쌀보리 등 부가가치가 높은 보리재배에 본 연구에서 개발된 기술을 활용한다.
- 마. 변화하는 작물생산환경에서 우리 실정에 맞고 환경 친화적이고 지속 가능한 쌀 생산 시스템을 확립하는데 활용한다.

SUMMARY

I. Subject

Establishment of Sustainable Rice Barley(wheat)
Double Cropping Systems By Using Microbial Resource

II. Objectives and Importance of the Research

Problems in Korean agriculture are how to improve the situations confronting a rapidly decreasing rural population that is aging a weak agriculture production structure, low degree of self sufficiency in food and low degree of environment and food quality resulted from the simplified farming practices depending on chemical fertilizers and pesticides. Because of these concerns various farming practices have been adopted with organic farming, regenerative agriculture(Rodale, 19983) alternative agriculture (National Research Council, 1989) and sustainable agriculture(Harwood, 1990). The sustainable agricultural system relies on as much as possible utilization of beneficial natural processes and renewable resources in order to produce food enviromentally friendly, economically sound and socially supportive.

Considering the various aspects of Korean farming situation, we have isolated some effective microbes from the rhizosphere of

winter crops, on one hand we have been developing sustainable rice-barley cropping systems. The major research focuses on improved management of soil tillage, direct seeding and crop residues in the system.

The purpose of this research is to establish sustainable rice-barley or rice wheat cropping systems and thereby to improve farming situations in Korea through exploiting, evaluation and utilization of effective microbial resources and finally to achieve sustainable agricultural systems with higher security.

III. Scope and Contents of Research

This research, consisted of two parts, has been carried out for three years. Part one dealt with researches on exploiting, isolation and evaluation of effective root colonizing microorganisms and part two dealt with researches on utilization of isolated soil microorganisms in the sustainable rice-barley cropping systems. The major aspects and research items are as follow

1. Evaluation of beneficial microorganisms and development of their utilization

- a. Selection of beneficial microorganisms for rice growth promotion
- b. Evaluation of activities of rice growth promoting bacteria in different soil condition(physical difference)
- c. Evaluation of microbial seed treatment to different varieties of rice and barley in no-till rice-barley double cropping systems

d. Evaluation of growth enhancement by bacterial treatment and tracing of bacteria colonized on the rice root the in direct-sown rice cultivation system

e. Effects of beneficial microorganism on rice growth in no-till direct-sown rice-vetch cropping system.

2. Development of sustainable rice-barely double cropping system

a. Enhancement of seedling establishment and early growth of rice and barley in low temperature condition

b. Enhancement of root growth of rice and lodging resistance effected by beneficial microbes

c. Increase of tiller numbers and acceleration of heading of barley affected by beneficial microbes

d. Evaluation of rice growth promoting effect by treatment of bacteria in reclaimed salty soil

e. Evaluation of colonizing ability of seed treated bacteria in different soil environment.

3. Development of practical use of microbial resources and systemize of sustainable agricultural systems

a. Evaluation of activity of seed inoculated microbes on the rhizosphere microorganisms and residue effects to latter crops

b. Establishment of combination of rice and barley and bacterial strain for the stable rice-barley double cropping system

IV. Results of the Research

1. Evaluation of beneficial microorganisms and development of their utilization

a. Selection of beneficial microorganisms for rice growth promotion

Twenty-two different fields where green onion has been cultivated more than 10 years and 5 different area where onion has been cultivated intensively were surveyed to isolate the beneficial microorganisms that can promote rice growth. Total 565 bacterial strains or lines were isolated from roots of onion and green onion. Isolate A7-10, B2-13 B8-22 and other 8 isolates showed growth promoting effect on the rice and A21-3, A21-4 and other 49 isolates showed antifungal effect to *Pythium spp.* Through pot and field experiments, *Paenibacillus polymyxa* H210 and *Pseudomonas fluorescens* B16 were selected for rice growth promoting microorganism. Bacterial isolates A7-10, H210, B8-22 88-2 were selected as promising isolate for rice growth in reclaimed salty rice paddy. Among the above isolates, *P. polymyxa* H210 was most effective to enhanced the rate of established plant and early growth in reclaimed rice paddy.

To select useful microorganisms promoting barely growth, total 247 barley fields located in Suncheon, Jangheung, Bosung and Haenam were surveyed and total 5,000 bacterial colonies were isolated from barley root. Among them, 32 isolates showed antifungal effect to soil borne pathogens and most of the antifungal isolates were effective to

Pythium spp., the most prevalent soil borne pathogen. Through pot experiments, 4-10, 141-9, 159-9 and E681 and B16 were selected. Finally Paenibacillus polymyxa E681 and P. fluorescens B16 were selected through field experiments.

b. Effect of beneficial microorganism on the rice growth in different soil conditions

The effects of root colonizing bacteria inoculated to rice seeds on the seedling establishment and early growth of rice were evaluated in large pot that filled with 4 kinds of soil collected from physically different 4 sites. Treatment of B16 and H210 showed enhanced germination and seedling growth in all 4 kinds of soil. Bacterial isolates 88-7-2 showed remarkable increase of seedling growth but the results varied greatly with soil physical properties. The seedling growth promotion was significant in the treatment of H210, 88-7-2 and B16 in Dansung-Tong, the treatment of B16 and H210 in Sarye-Tong and Gamgok-Tong, and the treatment of B16 in Birye-Tong respectively. The treatment of 88-7-2 enhanced root growth in all the soils tested. Generally treatment of B16 and 88-7-2 enhanced seedling establishment and seedling growth of rice.

c. Evaluation of microbial seed treatment to different varieties of rice and barley in no-till rice-barley double cropping system

In dry land direct-sown rice cultivation system, H210 was most effective to enhance the seedling establishment of rice varieties, Gumobyeo#2 and Dongjinbyeo, seed treatment of B16 and H210 to rice

variety resulted higher plant height and dry weight of foliage at heading stage. The combination of H210 treatment and rice variety Gumobyeo#2 was most pronounce in yield increase that induced by bacteria treatment. As a whole H210 was most effective to promote rice growth in dry land direct-sown rice cultivation system. The changes of population densities of treated microorganism was diverted with rice varieties but they were not significant to influence to rice growth throughout the season.

The effects of microbial treatment on barley growth was slightly different with varietal response of barley. Among the barley varieties, Jinyang-Bori, Keunal-Bori and Hinchal-Ssalbori were effected most significantly by treatment of E681 and B16. The number of tillers and the plant height of over wintered barley were significantly increased than untreated control. The experiment conducted in experimental farm of Gyeongsang National University showed that the growth of bacteria treated Ssalbori was not increased in terms of he plant height, stem length and fresh weight compare to untreated control but the treatments of E681, B16 and H210 significantly increased the rate of established seedling and grain yield compare to untreated control.

d. Root growth enhancement by bacterial treatment and tracing of bacteria that colonized on the rice root in direct-sown rice cultivation system

Treatment of B16 to Gumobyeo#2, Dongjinbyeo, Namcheonbyeo and Donganbyeo showed more increased root length than other combination of bacterial treatment and rice variety but Ilmibyeo was most effective by treatment of H210. The selected bacterial

isolates, B16, 4-10, H210 and 88-7-2 successfully colonized on rice root and sustained effective population densities until booting stage that cultivated in submerged anaerobic condition. Bacterial isolates B16 and H210 sustained population density until heading stage. When rice seeds were treated with B16 and H210, B16 colonized more vigorously than H210 at early stage but B16 population gradually decreased with progress of rice growth. On the other hand, H210 population was not reduced and sustained effective density much longer than B16.

e. Effects of beneficial microorganism on rice growth in no-till direct sown rice-vetch cultivation system.

The number of established seedling and early growth of rice in no-till direct sown rice-vetch system was not greatly effected by treatment of H210, B16, 4-10 and 88-7-2 but the number of tillers and plant height rice in H210 treatment were increased significantly compare with other treatment or untreated control. Generally the yield of rice in no-till direct sown rice-vetch system was significantly less than ordinary cultivation system mainly because the herbicides was not properly applicable in early season of this system. Although the effect of bacterial treatment on the rice growth was varied with different variety, as a whole the treatment of selected bacteria enhanced and promoted the rice growth in no-till direct sown rice-vetch cultivation system. It was proved that the bacteria inoculated to rice seeds were not influenced by herbicides treatment. Hence the selected bacteria could be widely used in direct sown rice cultivation system.

2. Development of sustainable Rice-Barely double cropping system

a. Enhancement of seedling establishment and early growth of rice and barley in low temperature condition

The seed priming technique using bacteria was employed in this experiments. In Petri-plate experiments, the rice seeds primed with H210 and B16 showed much faster germination at 15°C and 20°C than untreated control. Bio-priming with H210 was most effective in rice seed. The bio-priming experiments in barley seed also showed faster germination in bacteria treated seeds than untreated barley seeds. E681 treatment was best for the barely seed priming.

The growth of barley treated with selected bacteria in low temperature condition was compare to untreated barley plant. In consecutive two year experiments, we obtained results indicating bacteria treated barley seeds can successfully overwinter even seeded lately until November 10 in southern part of country. In bacteria treated barley seeded at November 16, 1999, the seedling growth and maturity not inferior to that of untreated barley seeded at November 16, 1999. Similar results were obtained in 2000-2001 experiments. The effect of bacteria inoculation on the growth of barley was more pronounce in the plots seeded after November 4, 2000. The seedling establishment, plant height, stem length and grain yield of barley inoculated with B16 and E681 were significantly higher than untreated plants.

b. Enhancement of root growth of rice and lodging resistance

It is generally considered that active root development and diameter of stem 10 cm above from soil line are contributed to lodging

resistance of rice. The experiments conducted in 2000 showed that rice plants inoculated with selected bacterial isolate were increased the root diameter and root activity at booting stage compare to untreated rice plants. In 2001's experiments we measure the stem diameter and mechanical pulling resistance for examine the lodging resistance of rice. Rice plants inoculated with H210 and B16 revealed significantly thicker diameter of stem and higher pulling resistance than untreated rice plants.

c. Increase of tiller number and acceleration of heading of barley

The treatment of E681 and B16 to barley seed showed significant increase of seedling establishment and number of tillers but the effect of bacterial treatment on the accelerating heading was difficult to demonstrate through field experiments. Mainly because the effect of bacteria is largely depend upon the temperature during the winter and next spring. Our results indicated that the effect of bacterial treatment are greater in low temperature condition. Therefore in mild winter and warm spring like in 1998-1999 and 1999-2000 season, the heading date of bacteria treated plot accelerated 1-2 day compare to untreated plant. But the same plant seeded later than November 10, emerged the ear 5 days earlier untreated plant.

d. Evaluation of rice growth promoting effect by treatment of bacteria in reclaimed salty soil

Bacterial isolate A7-10, H210 B8-22 and 88-7-2 were selected for growth promotion of rice in reclaimed soil. In pot and test,

treatments of H210 resulted 75% of established seedlings while that of in untreated plot was 57%. H210 treatment showed significant higher rate of germination and seedling establishment than untreated control. But two consecutive field experiments conducted in Seopo reclaimed paddy field in Gyeongnam in 1999 and 2000 were not completed because severe rain fall during the May washed off the young seedling sown in early May.

3. Development of practical use of microbial resources and systemize of sustainable agriculture

a. Evaluation of activity of seed inoculated microbes on the rhizosphere microorganisms and residue effects to latter crops

The microorganisms used in this investigations are root colonizing bacteria that originally isolated from root system of onion, green onion, and barley. The bacteria inoculated to seeds of rice or barley moved to root system then colonized and proliferate on the root while the plant grew vigorously but their population densities reduced rapidly after heading stage. The inoculated bacteria were not detected after the plants had been harvested. Therefore the bacteria inoculated to previous crop was not effective to the plants grown later season.

b. Establishment of combination of rice and barley and bacterial strain for stable rice-barley double cropping system

Although there were some varietal difference, significant increase of seedling establishment was acknowledged by treatment of beneficial bacteria in direct sown rice cultivation. In Gumobyeo#2, the treatment of B16 increased the dry weight of rice plant and enhanced the leaf

area and leaf color at booting stage considerably compare to untreated control. The activity of root in bacteria treated rice at tillering stage was not greatly different from untreated rice but it was significantly higher in the treatment of beneficial bacteria at booting stage of rice variety Gumobyeo#2, and Dongjinbyeo. The number of panicles and 1000 grain weight was also increased in bacteria treated rice variety Gumobyeo#2 and Dongjinbyeo.

The emergency rate and heading date of barley were also affected greatly by treatment of beneficial bacteria. The effect of bacterial treatment on the emergency rate of barley was greatest in variety Jinyang and least in Olbori. The heading date of Jinyang-bori was 2-5 days earlier than untreated control with depend upon climate of the experimental year. Bacteria treated Olbori curtailed 2 days from seedling establishment to heading date compare to untreated control. The yield of bacterial treated barely was significantly higher than untreated barley.

Rice variety Gumobyeo#2 and Jinyang-bori were found to be the best combination of rice and barley that employing beneficial microorganism in direct sown rice-barley double cropping system. Because Gumobyeo#2 and Jinyang-bori was showed good response to bacterial treatment and their economic value and quality are acceptable to farmers in southern part of country. Most of all, Gumobyeo#2 and Jinyang-bori are medium maturing variety and quite adaptable to late seeding cultivation. But wheat variety was not affected significantly by treatment of selected bacteria and it was not acceptable to double cropping combine with rice.

The effect of bacterial treatment on the rice growth and yield in direct sown rice cultivation system was not great in the treatments that applied standard level of nitrogen fertilizer but it was significant in the treatments that applied half of standard level of nitrogen fertilizer.

Contents

Chapter 1 Introduction	34
Chapter 2 Evaluation of beneficial microorganism and development of their utilization	38
Section 1 Introduction	38
Section 2 Material and Methods	39
1. Section of plant growth promoting microorganism for rice and barley	39
a. Section of plant growth promoting microorganism for barley and wheat	39
b. Section of plant growth promoting microorganism for rice ...	40
c. Evaluation of root colonizing activity of bacteria in submerged paddy rice ...	41
2. Evaluation of growth promoting effect of microbial treatment on rice and barley	42
a. Examination of enhancement of germination by microbial seed treatment under low temperature condition	42
b. Evaluation of growth promoting effect of barley by microbial treatment during the winter time	43
c. Examination of root growth enhancement by microbial treatment	44
d. Evaluation of microbial effects on tiller number increase and head date of barley	45
e. Examination of microbial effects on the growth of different rice variety .	45
f. Examination of microbial effects on the seedling establishment and early growth of rice in reclaimed paddy	46

3. Experiments on the effects of beneficial microorganism in rice-barley double cropping system	47
a. Tracing of the bacteria treated to barley seed after harvesting and analysis of residue effect on the growth of succeeding crop(rice) .	47
b. Analysis of microbial population in the rhizosphere after seed treatment ..	48
c. Evaluation of microbial seed treatment with difference of sowing time	48
4. Mass production of beneficial microorganism	49
a. Experiments on the mass production of microorganism	49
Section 3 Results and Discussion	49
1. Section of plant growth promoting microorganism for rice and barley	49
a. Section of plant growth promoting microorganism for barley ...	49
b. Section of plant growth promoting microorganism for rice ...	52
c. Colonization of beneficial microorganism on the rice root under submerged paddy condition	56
2. Evaluation of growth promoting effect of microbial treatment on rice and barley	57
a. Root growth enhancement by microbial treatment	57
b. Growth enhancement of barley during the winter time by seed treatment of beneficial microorganisms	61
c. Enhancement of barley root growth by seed treatment of beneficial microorganism	63
d. Enhancement of tiller differentiation and acceleration of heading of barley by treatment of microorganism	65
e. Varietal difference of barley in response to microbial seed treatment	69
f. Enhancement of seedling establishment and early growth of rice in reclaimed paddy by microbial treatment	73

3. Effect of microbial seed treatment on rice and barley in rice-barley double cropping system	74
a. Tracing of bacteria treated to barley seed after harvesting and residue effect on growth of succeeding crop(rice)	74
b. Population changes of seed treated bacteria in the rhizosphere	75
c. Effect of seed treatment of bacteria on the barley growth with difference of sowing time	76
4. Mass production of beneficial microorganisms	79
a. Experiment of mass production of microorganism	79
Section 4 References	81

Chapter 3 Utilization of beneficial Microorganisms in

no till direct sown rice-barley double cropping system	86
Section 1 Introduction	86
Section 2 Materials and Methods	87
1. Evaluation of activities of rice growth promoting bacteria in different soil condition(physical difference)	87
2. Evaluation of microbial seed treatment on the rice growth in no-till direct sown rice-vetch double cropping system	89
3. Examination of the combination rice and barley cultivation for the most suitable double cropping system	90
4. Evaluation of varietal combination of rice and barley for stable rice-barley double cropping	92
5. Experiment on the enhancement of rice root development and	

lodging resistance	93
6. Examination of microbial effect on the rice growth in reclaimed paddy	93
Section 3 Results and Discussion	93
1. Effect of microbial treatment on the rice growth in different soil condition(physical difference)	93
a. Effect on the seedling establishment	93
2. Effect of microbial treatment on the rice growth in no-till direct sown rice-vetch double cropping system	96
a. Effect on the seedling establishment	96
b. Effect on the growth	98
c. Effects on the yield and yield component	99
d. Effect on the rhizosphere microorganism	101
3. Utilization of beneficial microorganism in rice and barley for stable rice-barley double cropping	102
a. Effect on the seedling establishment	102
b. Effect on the growth	103
c. Effect on the yield and yield component	111
4. Field evaluation of beneficial microorganisms and cultivar combination system of rice and in rice-barley double cropping	113
a. Effect on the seedling establishment of rice	113
b. Effect on the growth	114
c. Effect on the seedling establishment of barley	115
d. Effect on the yield and yield component	115
5. Effect of microbial treatment on the enhancement of root	

growth and lodging resistance	118
6. Effect of beneficial microorganisms on the rice growth	
in reclaimed paddy	120
Section 4 References	121

목 차

제1장 서론	34
제 2장 기능성 유효미생물의 개발과 평가	38
제 1절 서설	38
제2절 재료 및 방법	39
1. 벼, 맥류 생장촉진 미생물 선발	39
가. 맥류 생장촉진 미생물 선발	39
나. 벼 생장촉진 미생물 선발	40
다. 담수조건에서 미생물의 벼 근권정착 실험	41
2. 미생물 처리에 의한 벼, 맥류 생장촉진 효과 검정	42
가. 미생물 처리에 의한 저온조건에서 발아 향상성 검정	42
나. 월동기 맥류 생장 촉진 미생물 평가	43
다. 미생물 처리에 의한 뿌리 발육 향상성 검정	44
라. 미생물 처리에 의한 분얼 향상과 출수기 단축효과 검정	45
마. 품종에 따른 미생물 처리 효과 규명	45
바. 간척지에서 미생물처리에 의한 입모 확보 및 초기 생장촉진 효과 검정	46
3. 벼, 맥류 이모작 체계에서 미생물 처리 효과 규명	47
가. 보리에 처리한 미생물의 보리 수확 후 밀도 변화와 후작물 벼의 생육	47
나. 미생물의 종자처리 후 근권에서 미생물 밀도조사	48
다. 파종 시기별 미생물 처리 효과 규명	48
4. 미생물의 대량 배양	49
가. 미생물 대량 배양 시험	49
제 3절 결과 및 고찰	49

1. 벼, 맥류 생장촉진 미생물 선발	49
가. 맥류 생장촉진 미생물 선발	49
나. 벼 생장 촉진 미생물 선발	52
다. 담수조건에서 미생물의 벼 근권 정착 실험	56
2. 미생물 처리에 의한 벼, 맥류 생장촉진 효과	57
가. 미생물처리에 의한 뿌리 발육 향상 효과	57
나. 미생물처리에 의한 월동기 맥류 생장촉진 효과	61
다. 미생물처리에 의한 뿌리 발육 향상 효과	63
라. 미생물 처리에 의한 분얼 향상과 출수기 단축효과	65
마. 품종에 따른 보리의 미생물 처리 효과	69
바. 간척지에서 미생물처리에 의한 입모 확보 및 초기 생장촉진 효과	73
3. 벼, 맥류 이모작 체계에서 미생물 처리 효과	74
가. 보리에 처리한 미생물의 보리 수확 후 밀도 변화와 후작물 벼의 생육	74
나. 미생물의 종자처리 후 근권에서 미생물 밀도	75
다. 보리 파종 시기별 미생물 처리 효과	76
4. 미생물의 대량 배양	79
가. 미생물 대량 배양 시험	79
제 4절 참고문헌	81

제3장 벼-맥류 무경운 직파재배체계에서 유용미생물의 활용

제 1절 서론	86
제 2절 연구내용 및 방법	87
1. 토양 조건(토성)별 벼 생육촉진 미생물 기능평가	87
2. 벼-자운영 무경운 직파재배 체계에서 미생물의 기능평가	89
3. 맥류와 벼의 최적 2모작 재배조합구명	90
4. 벼-맥류 품종 조합에 의한 안정적 2모작 재배체계 개발	92

5. 뿌리 발육 향상과 도복방지 기술개발	93
6. 간척지에서 미생물처리효과 검증	93
제 3절 결과 및 고찰	93
1. 토양 조건(토성)별 벼 생육촉진 미생물의 효과	93
가. 입모율	93
2. 벼-자운영 무경운 직파재배 체계에서 미생물의 활용	96
가. 입모율	96
나. 생육	98
다. 수량 및 수량구성요소	99
라. 근권 미생물	101
3. 맥류와 벼의 최적 2모작 작부체계에서 미생물의 활용	102
가. 입모율	102
나. 생육	103
다. 수량 및 수량구성요소	111
4. 벼-맥류 품종 조합에 의한 안정적 2모작 현장실증 시험	113
가. 벼의 입모율	113
나. 벼의 수량 및 수량구성요소	114
다. 보리의 입모율	115
라. 보리 수량 및 수량구성요소	115
5. 미생물을 활용한 도복방지 효과	118
6. 간척지 유용미생물의 효과	120
제 4절 참고문헌	121

제 1 장 서 론

우리나라에 있어서 벼농사는 국민의 식량 문제를 해결하고 모든 농사의 기본이 되는 가장 중요한 산업임을 누구도 부정할 수 없을 것이다. 더욱이 논농사는 수자원을 함양하여 가뭄에는 물을 저장하고 비가 올 때에는 물을 저장할 수 있는 기능을 수행하여 홍수에 급속한 침수와 범람을 막아 주는 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 농업인구의 감소와 동시에 농림어업에 취업하는 인구의 연령이 고령화함으로써 상대적으로 농업환경이 악화되고 벼농사에 대한 부담이 점점 더 커지고 있다. 그리고 농산물의 시장개방은 농민으로 하여금 현행 벼농사에 대해 근본적으로 다시 생각해야 한다고 여기고 있다. 특히 금년처럼 벼농사가 대풍을 이루고도 국민 소비량 보다 훨씬 더 많은 쌀 재고로 인하여 쌀값이 떨어지고 판매가 어려워지게 되면 벼농사법에 대한 획기적인 변화와 대책이 없다면, 우리나라의 벼농사를 존속시킬 수 있을 것인가를 의심하지 않을 수 없는 실정이다.

한국에서 쌀은 농업소득의 44%를 차지하고 있으나 UR타결로 1995년부터 연차적으로 수입중대가 불가피하게 되었으므로 이제는 국제경쟁력을 강화하는 길 밖에 없다. 쌀 생산의 국제경쟁력 강화를 획기적으로 줄일 수 있는 길은 새로운 농업기술의 개발과 보급으로 생산비를 낮추는 일이다. 그러나 해가 갈수록 농약과 비료사용량이 증대됨으로 인하여 농촌의 환경 오염 문제가 이제 심각한 수준에 달하고 있으며, 국제적 농업 연구의 추세도 화학비료와 농약에 의존하고 있는 노동집약적, 자본집약적인 농업체계로부터 탈피하여 생태적으로 안정되고 토지생산성을 지속적으로 증진시켜 나갈 수 있는 지속농업(sustainable agriculture)으로 전환하고 있는 실정이다.

전통적으로 우리나라에서 보리, 밀 재배는 겨울동안 토지를 이용할 수 있다는 점에서 매우 중요한 요소로 인식되어 왔으나 근년에 이르러 다

른 작물에 비하여 수익성이 낮고 수확기가 늦어져서 이모작으로 다음 작물을 재배하는데 장애가 된다는 이유로 점차 면적이 줄어들었고 생산성도 향상되지 않고 있다. 그러나 식량작물로서의 가치나 가공원료, 사료로서의 보리, 밀의 중요성은 여전하다. 벼의 경우 최근, 노동력과 비용을 대폭적으로 절감하여 생산성을 높일 수 있다는 장점 때문에 벼 직파재배법이 보급되고 있으나 뿌리 발육의 부진으로 인한 도복과 초기 입모율 확보가 어렵고 잡초와의 경쟁에서 생육이 고르지 않아 아직까지 많은 사람들이 적극적으로 수용하지 못하고 지금까지 개발된 재배 방법만으로는 한계에 부딪쳐 있다고 하겠다.

작물의 초기생장이나 생산력을 향상시키기 위하여 작물생장을 촉진시키는 미생물을 활용하는 연구가 국내외적에서 활발하게 진행되고 있다. 가장 보편적으로 활용되는 기술이 종자의 coating 기술이나 종자 priming기술이 개발되었는데 부가가치가 비교적 높은 채소나 화훼종자에 처리하여 안정한 효과를 보고 있지만 맥류나 벼 종자의 경우 부가가치가 낮은 종자의 경우는 의미가 없다고 여겼다. 그러나 경제적인 방법으로 그 효과를 극대화할 수만 있다면 이러한 곡물 종자에도 유동미생물을 처리함으로써 주곡작물의 생산성을 크게 향상시킬 수 있어야 한다.

그런데 토양이나 식물체 표면에는 자원으로 활용할 수 있는 많은 유용미생물이 있으며 그 중에는 식물체의 종자와 유묘기, 그리고 생육전반에 걸쳐 생장을 향상시켜주는 미생물들이 많다. 이러한 미생물들을 이용하면 벼 직파 재배와 보리, 밀과의 이모작재배에서의 문제점들을 해결하는데 효과적이며 적합하다고 본다. 미생물을 이용한 벼와 보리, 밀의 새로운 재배기술의 도입이 불가피하며 우리나라의 기후지역에서만 찾아 볼 수 있는 겨울작물과 여름작물의 이모작재배 시스템을 효과적으로 활용하는데 유용미생물처리 재배 기술이 절실하게 필요한 실정이다.

작물재배에 있어서 미생물 처리 기술을 개발 활용함으로써 시비량을 크

게 줄일 수 있고 국가적으로 외화소비를 감소하고 농약과 비료 등의 화학물질의 오염을 줄일 수 있다. 특히 자운영은 토양근류균에 의한 공중질소의 고정량이 190kg/ha이 되는 작물로서 가축의 기호성이 높고 소화율도 높은 양질의 사료작물이면서 동시에 밀원식물로서 그 용도가 다양한 작물이다. 이러한 자운영을 한번 파종하여 영속적으로 유지할 수 있는 재배법 개발은 가장 경제적으로 유기태 질소를 얻을 수 있게 되며, 자운영을 대규모로 영속재배하게 되면 밀원식물원으로도 활용하게 된다. 아울러 토양의 생물(미생물)적인 기능을 강화시키고 생태계의 균형(ecological balance)을 유지하게 되며, 유용 미생물의 활성을 증진시켜 비료 및 농약 사용을 줄일 수 있으며 무경운이 아니라 생물적 경운(biological tillage)으로서 토양의 물리적 성질을 크게 개선시킬 수 있다. 재배에 드는 노동력과 재배비용을 절감하여 잉여되는 노동력과 소득을 다른 생산에 재투자하여 농업인의 소득증대에 기여할 수 있다.

벼 직파 재배는 노동력과 재배비용을 줄일 수 있어 앞으로의 벼 재배 기술로 연구되고 있지만 뿌리생장의 부실로 인한 도복과 낮은 입모율과 잡초와의 경쟁이 약하며 출수가 고르지 않아 수확량이 감소하는 문제점을 안고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위하여 많은 양의 종자를 파종해야 하고 비료량을 늘리는가 하면 오히려 더 많은 노동력을 투입해야하는 한계에 이르고 있는 실정이다. 경종적인 방법으로 해결할 수 없는 직파 재배의 한계를 해결하기 위하여 미생물의 종자처리에 의한 기술도입이 절실히 요구되어진다.

본 연구는 벼 재배를 전공한 농학자와 토양 미생물을 기초로 식물병리학을 전공한 사람들이 협력하여 실제 벼 직파 재배에서 나타난 문제점들을 해결하기 방안을 모색하려는 것이다. 이를 위하여 벼의 생육을 촉진하는 유용 미생물을 개발하고 이를 실제 벼농사에 적용하였을 때에 장점과 단점들

을 각각 전공이 다른 학자들의 관점에서 분석하고 실용화 할 수 있도록 개선해 나가려는 것이다. 또한 월동작물로 쉽게 재배할 수 있는 보리와 밀의 생장을 촉진시킬 수 있는 미생물 자원을 개발하고 그들을 실용화함으로써 직파 재배와 맥류의 이모작 체제를 확립하려는데 그 목적이 있다.

제 2 장 벼, 보리 생장 촉진을 위한 유용 미생물의 개발과 평가

제 1절 서설

최근 농업관련 연구소, 정부출현 연구소 및 대학을 중심으로 작물에 미생물을 이용한 연구가 상당히 많이 진행되고 있었지만 작물 재배 시 발생하는 병의 방제 위주로 연구되어 있는 실정이며 작물 생육기간의 전반에 걸쳐 처리한 미생물에 의한 식물 생장 촉진에 대한 연구가 국내에서는 갖추어져 있지 않으며, 선진 외국만큼 미생물 개발에 필요한 전반적인 능력과 시설 및 기술 축적이 제대로 이루어져 있지 않고 있다.

국내의 연구는 처리한 미생물의 식물체와의 상호 작용과 포장상태에서의 밀도변화, 뿌리에서의 존재 양상 등 자연계에 도입한 미생물의 안정성을 전혀 고려하지 않아서 자연계에 파급될 경우 우리나라와 같은 이모작재배 시스템에서 다음 작물에 애기치 못한 문제를 야기할 수 있는 여지를 안고 있는 실정이다.

최근 우리나라에서 커다란 관심을 보이고 있는 벼 무경운 직파재배에 있어서는 파종 후 초기 생장이 매우 중요시되고 있다. 무경운 직파라는 특수성 때문에 초기 입모율이 확보되지 않아서 여러 번의 보파를 해야하고 잡초와 경합에서 이겨내지 못하는 문제점을 안고 있다. 초기의 입모율 확보에 영향을 주는 요인으로 여러 물리적인 요인과 함께 유해한 미생물의 작용에 의한 영향도 큰 몫을 차지하고 있으리라 여겨진다.

생장촉진 미생물을 종자에 처리함으로써 유해한 미생물에 대해 종자를 보호하고, 벼 근권의 물리성을 좋게 하여 뿌리로의 영향 흡수를 도와 초기 입모

을 확보에 상당한 기여를 할 것으로 여겨진다. 특히 식량자급의 요구가 그 어느 때보다 절실한 시점에서 이모작 재배는 당연한 것이라고 볼 때, 노동력 절감과 수량증대라는 두 가지 목적을 달성하려면 짧은 기간 중에 입모율을 확보하고 초기 생육을 향상시킬 수 있는 연구는 더욱 절실히 요구되어진다.

우리나라의 경지는 겨울에는 보리, 밀, 시설재배로 이용되고 있고 여름철에는 벼를 재배하기 위하여 물을 공급하여 계절에 따라 토양상태가 완전히 뒤바뀌어 여름에는 환원상태로 전환되기 때문에 유용 미생물의 도입이 우리나라의 토양과 계절에 따른 이모작 재배 시스템에 맞는 미생물을 개발하여야 한다.

미생물을 이용하여 벼 직파 재배 시 발생하는 문제가 개선되고 겨울철 맥류의 조기수확이 가능하게 되면 우리나라와 같은 기후에서 작물재배의 큰 장점인 이모작 재배 시스템을 효과적으로 이용해서 주식의 자급자족을 이룩할 수 있을 것이다. 또한 화학농약과 비료의 사용량이 점차 세계적으로 규제되고 있는 실정을 감안할 때 유용미생물을 활용하여 작물의 수량을 증대시키고 병이나 기타 장애 요인들을 극복해 나가는 재배법은 앞으로 연구가 활발히 진행될 것이며 특히 생물 농약의 개발이 연구를 주도해 나갈 것으로 예상된다.

제 2절 재료 및 방법

1. 벼, 맥류 생장촉진 미생물 선발

가. 맥류 생장촉진 미생물 선발

1) 보리 생장촉진 미생물 분리 및 선발

맥류 생장촉진 미생물을 선발하기 위하여 경상남도와 전라남도 순천, 보성, 장흥, 해남 일대의 보리, 밀을 재배하는 지역에서 보리, 밀 포장에서

주위 보다 생장이 우수하다고 인정되는 포기를 채집하였다. 채집한 보리나 밀의 뿌리만 택하여 흙을 털어 낸 다음 막자 사발에 갈아서 완전히 마쇄하여 근권 정착 능력이 있는 미생물을 분리하였다.

토양병원균들 중 *Pythium*은 보리 유묘기에 뿌리털을 감염하여 큰 피해는 끼치지 않지만 보리 생육전반에 걸쳐 생육을 저하시키고 때로는 황화현상을 일으켜서 결국 수량에 영향을 미치는 토양병원균으로 직파 재배시 초기 입모을 감소를 일으킬 수 있다. 주요 토양병원균에 대치배양을 하여 분리된 미생물들의 길항능력을 검정하였다. 많은 균주들을 효과적으로 검정하기 위하여 1개의 Petri plate에 분리한 세균 8개를 동일한 간격으로 주변에 접종하고 중심에 *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora capsici*의 직경 1cm되는 균사절편을 접종하여 병원균의 균사와 미생물들 사이에 형성되는 저지대(阻止帶)를 측정하여 각 균주에 대한 길항력을 측정하여 1차적으로 미생물을 선발하였다.

2) Pot 와 포장에서의 보리 성장촉진 미생물 선발

다음 위에서 선발된 미생물들을 0.1M MgSO₄용액에 10⁸cfu/ml 농도로 희석하여 벼와 보리 종자를 1시간 정도 침지한후 음건하여 *Pythium*이 접종된 토양과 자연발생 발 토양이 담긴 pot(직경 10cm)에 파종하여 growth chamber에서 키우면서 종자 발아율과 입모율을 측정하여 식물 성장 촉진에 효과가 있는 미생물을 선발하였다.

나. 벼 성장촉진 미생물 선발

1) 벼 성장촉진 미생물의 분리 및 선발

양파와 파의 근권에는 독특한 물질이 분비되어 다른 작물과 사뭇 다른 근권 미생물상을 유지하고 많은 길항 미생물이 존재하는 것으로 알려져 있다.

부산광역시 명지 지역의 10년간 파를 재배한 곳과 경남 함양군 일대의 양파 재배단지의 양파 그리고 마산 진주 등지에서 양파와 파를 채집하여 근권에 존재하는 미생물을 분리하였다. 분리된 균주들은 우선 위에서 분리한 방법과 같이 1차적으로 Pythium에 길항력이 있는 균주들을 선발하고 벼에서 근권 정착 능력이 인정된 미생물들을 종자 처리한 후 Pot 토양에 파종을 하고 growth chamber에서 키우면서 발아율, 입모율, 및 초기 벼 뿌리 발육을 촉진하는 미생물을 선발하였다. 벼의 직파 재배 시 문제가 되는 입모율은 입모가 부실한 토양과 양호한 토양을 분류하여 토양의 상태별로 조사하여 입모가 부실한 토양에서도 벼의 입모를 높여줄 수 있는 미생물을 선발하였다.

1차년도에 선발된 균주들을 기초로 2차년도에 진주시 대곡면 포장과 충남 서산 간척지 토양에 파종한 후 그 입모율을 측정하여 성장촉진 미생물을 선발하였다.

2) 간척지 토양에서 벼 성장촉진 미생물 선발

염도가 비교적 높고 혐기적 환경에서 벼의 입모 확보에 어려움이 있는 진주시 곤양면 서포리 간척지 는 토양을 수집하여 분리된 미생물을 종자 처리하여 파종한 후 발아율, 입모율, 및 초기 벼 성장 촉진에 효과가 있는 미생물을 선발하였다.

Pot 실험에서 선발된 H210, 4-10, 88-7-2, B16균주를 공시하여 사천시 서포면 간척지에 포장 실험을 수행하였다. 10^8 cfu/ml 농도의 미생물 현탁액에 종자를 5시간 정도 침지한 후 음건하여 조파하였다. 무처리는 물에 침지하였다. 각 처리마다 3반복 실시하였다.

다. 담수조건에서 미생물의 벼 근권정착 실험

밭 토양에서는 종자처리에 의해 작물이 재배되는 기간 동안 근권에 정

착하여 미생물 처리에 의한 효과를 지속적으로 보여 주었는데 담수 조건에 의한 혐기적 환경에서 근권 미생물의 정착과 활동을 알아보기 위해 본 실험을 수행하였다. 분리한 균주에 대하여 근권정착 능력을 검정하기 위하여 우선 본 실험실에서 개발한 이중여과지법(DLF)을 이용하여 근권정착 능력을 검정한 후 개량된 Ahmad & Baker(토양내 검정)법을 이용하여 담수조건에서 근권정착 능력을 검정하였다. 각 균주 당 5개의 벼 종자를 세균 현탁액(10^8 cfu/ml)에 1시간 침지한 후 옮긴 후 파종한 후 담수조건에서 키운 후 그 뿌리를 채취하여 근권정착 밀도를 조사하였다.

2. 미생물 처리에 의한 벼, 맥류 생장촉진 효과 검정

가. 미생물처리에 의한 저온조건에서 발아 향상성 검정

본 시험에서는 길항 미생물을 이용한 벼, 보리의 Bio-priming 기술을 도입하여 저온기 종자 발아를 향상시키고 아울러 유효기 때의 토양병을 방제하는데 그 목적을 두었다.

1) Petri plate 실험

세균현탁액을 0.1M $MgSO_4$ 용액에 10^8 cfu/ml로 준비한 다음 시험에 사용하고자 하는 종자를 1시간 침종한 뒤 꺼내어 옮겼다. 수분을 적당량 공급한 petri plate에 filter paper 한 장을 깔고 그 위에 옮긴 종자를 놓고 뚜껑을 닫은 다음 수분이 마르는 것을 막기 위해 가정용 rap으로 싸서 28℃의 incubator에 두고 발아하기 직전까지 둔 다음 옮긴 후 실험에 공시하였다. Petri plate에 filter paper를 깔고 일정한 수분을 유지한 후 미생물을 처리한 벼 와 보리 종자를 각각 치상한 후 15℃와 20℃ 조건에서 그 발아율을 조사하였다.

2)Pot 실험

가) 벼

벼종자의 발아 촉진을 위해 Priming 방법을 사용하였다. Priming 방법은 벼 종자를 생장촉진 효과가 있는 H210에 3시간 침지 후 28℃ incubator에 30시간 동안 incubation 시킨 후 건조시켜 발아를 조사하였고, 침지처리는 보리 종자를 생장촉진 효과가 있는 H210에 3시간 침지 후 건조하여 발아를 조사하였다.

나) 보리

보리 종자를 저온에서 발아 촉진시키기 위해 Priming 방법을 사용하였다. Priming 방법은 보리 종자를 생장촉진 효과가 있는 E681에 3시간 침지 후 28℃ incubator에 15시간 동안 incubation 시킨 후 건조시켜 발아를 조사하였고, 침지처리는 보리 종자를 E681에 3시간 침지 후 건조하여 발아를 조사하였다.

나. 월동기 맥류 생장 촉진 미생물 평가

실제 보리, 밀을 재배하는 농가를 대상으로 하여 농가 수준에서 미생물 처리효과를 알아보기 위하여 1998년 1차년도 실험은 경남 고성군, 경남 하동군, 전남 보성군별교읍, 경남 사천시 등 농가를 선정하여 그 효과를 검정하였다. 1차년도에는 연구개시점이 이미 보리 파종시기에 임박하였기 때문에 농가 포장 선정과 다량의 종자에 대한 미생물 처리 방법을 사전에 충분히 준비하지 못하였기 때문에 최초 종자에 처리한 미생물의 밀도는 기존에 실험 결과보다 훨씬 낮은 밀도로 처리되었다. 보리와 밀에 효과가 인정되어 선발된 E681과 B16균주를 대량 증식시켜 그 현탁액(10^5 cfu/ml)에 종자를 2시간 정도 침지한 후 음건하여 선정된 농가포장에 파종하였다. 파종후 초기 입모을 및 월동전후의 생육을 조사하였다. 1999년 2차년도에는 경상남도 농업기술원포장에 실험을 수행하였다. 오월보리, 진양보리 그리고 올그루밀을 실험에 공시하였고 균주는 E681과 B16, G157을 공시하였다. 미생물 현탁액(10^8 cfu/ml)에 종자를

2시간 침지한 후 음건하여 파종하였다. 파종후 초기 입모율과 분얼수, 출수일과 수량 및 근권에서의 정착 밀도를 조사하였다. 2000년도에도 경상남도 농업기술원 포장에 실험을 수행하였다. 보리는 진양보리를 실험에 공시하였고 군주는 E681과 B16을 공시하였다. 역시 미생물 현탁액(10^8 cfu/ml)에 종자를 2시간 침지한 후 음건하여 파종하였다. 파종후 초기 입모율과 분얼수, 출수일과 수량 및 근권에서의 정착 밀도를 조사하였다.

다. 미생물처리에 의한 뿌리 발육 향상성 검증

벼의 담수 직파 재배시 담수 조건으로 인해 물 속에서 뿌리생육이 저하될 경우 토양에 뿌리를 빨리 내리지 못하여 유묘가 표류하기 쉽다. 만일 미생물을 이용해서 물 속에서 뿌리를 빨리 내릴 수 있다면 유묘의 표류를 방지할 수 있고 초기 생육을 향상하여 벼 생육 촉진을 도울 수 있을 것이다.

본시험은 경상대학교 농과대학 pot 시험장에서 1/2000a pot를 사용하여 수행하였다. 토양은 미사질 양토를 사용하였다. 종자처리는 미생물 현탁액(10^8 cfu/ml) 5시간 침지한 후 종자는 통풍이 잘되는 실내에서 3시간 정도 건조 후 pot에 파종하였다. 공시품종은 일반장려품종인 금오벼2호, 동진벼, 일미벼, 직파 장려품종인 남천벼, 대산벼, 동안벼를 공시하였다. 공시미생물은 H210, B16, 4-10을 처리하였다. 파종량은 pot당 100립씩 5월 14일에 파종하였다. 시비량은 N- PO_5 - K_2O , 5.5-7-4 kg/10a로 환산하여 전량 기비로 주었다. 파종 후 물관리는 점적 관수 장치를 이용하여 표면이 마르지 않도록 관리하였다. 파종후 21일째 입모수와 유묘의 초장과 근장을 조사하였고, 14후 생육조사를 실시하였다. 초장은 줄기의 기부에서 잎의 선단까지 측정하였으며 근장은 줄기의 기부에서 뿌리군의 끝까지 측정하였다. 건물중은 초장과 근장을 조사한 후 80℃에서 48시간 건조시켜 측정하였다.

라. 미생물 처리에 의한 분얼 향상과 출수기 단축효과 검증

1) 미생물 처리에 의한 벼의 생육촉진 효과 검증

본 시험은 경남농업기술원 답작포장(청원통)에서 수행하였다. 포장은 보리수확 후 최소경운(표면만 로타리작업)을 실시하였다. 종자 처리는 앞의 방법과 동일하게 실시하였으며 공시품종은 금오벼2호와 동진벼를 사용하였다. 금오벼2호는 만식재배에 적합한 품종이며 동진벼는 양질미며 직파 적응성이 높은 품종이다. 입모수는 파종후 21에 활착한 개체만 조사하였으며, 건물중은 sample을 채취하여 80℃에서 48시간 건조하여 조사하였다 수확기에 단위면적당 이삭수와 이삭당 낱알수를 조사하였다.

2) 미생물 처리에 의한 보리의 생육촉진 효과 검증

선발된 미생물 처리에 의한 보리 분얼 향상과 출수기 단축효과를 검증하기 위하여 1999년 11월 5일에 경상대학교 부속 농장에 E681 외 5군주를 보리(품종 : 남향보리)에 종자 처리한 후 파종하여 시기별로 입모율과 분얼수, 그리고 출수기의 생육을 조사하였다. 진주시 문산면 금곡리 농가포장에 1999년 11월 13일 E681(10^8 cfu/ml)을 종자 처리하여 파종하였다. 2000년 11월 전라남도 익산시 웅포면 대봉암리와 부안시 개화면 두 농가에 E681(10^8 cfu/ml)을 쌀보리에 종자 처리하여 파종하여 농가 실증 실험을 시행하였다. 한꺼번에 많은 양의 미생물이 필요하여 두성식품(주)에 미생물 배양을 의뢰하여 포장시험에 사용하였다.

마. 품종에 따른 미생물 처리 효과 규명

1) 품종에 따른 벼의 미생물 처리 효과 규명

품종에 따른 벼의 미생물 처리 효과를 규명하기 위한 실험에는 미생물은 H210과 B16을 사용하였고 품종은 양질미의 금오벼2호, 동진벼, 일미벼, 다수확 품종인 남천벼, 대산벼, 직파적응품종인 동안벼를 사용하였다. 파종후 21일째에 입모율을 조사하고, 21일째와 35일째에 초장과 건물중을 조사하고 또 근권에서의 정착 밀도를 조사하였다.

2) 품종에 따른 보리의 미생물 처리 효과 규명

1999년 11월 24일에 진양보리 외 11품종을 실험에 공시하여 맥류 품종에 따른 미생물의 처리 효과를 검정하였다. 공시된 맥류 품종은 올그루밀, 새찰쌀보리, 제주보리, 서둔밀, 흰찰쌀보리, 서둔찰보리, 남향보리, 진양보리, 고분밀, 대백보리, 큰알보리이고 미생물은 *Paenibacillus polymyxa* E681과 *Pseudomonas fluorescence* B16을 공시하였다.

1999년에 경남 농업기술원 포장에서 이미 예비 시험을 통해 미생물 처리 효과가 흰찰쌀보리에서 가장 현저한 차이를 보여 주었는데 본 시험에서는 흰찰쌀보리를 대상으로 포장시험을 확대하였다. 흰찰쌀보리에 *Paenibacillus polymyxa* E681, *Paenibacillus polymyxa* H210과 *Pseudomonas fluorescence* B16(10^8 cfu/ml)을 종자에 처리하여 경상대학교 부속농장에 10월 25일 파종하였다. 파종 후 입모수, 분얼수 그리고 수확량을 조사하였다.

바. 간척지에서 미생물처리에 의한 입모 확보 및 초기 생장촉진 효과 검정

1) Pot 실험

간척지에서 미생물처리에 의한 입모 확보 및 초기 생장촉진 효과를 검정하기 위하여 경남 사천시 서포면 간척지 중에서 입모율이 가장 저조한 포장의 토양을 채취하여 pot에 담았다. 위에서 선발된 미생물 B16, A7-10, A4-10,

B2-13, 159-9, H210, B11-11, E681, 88-7-2, B10-4, A21-4 등 11개 균주를 간척지 Pot 실험에 공시하였다. 벼(품종 : 대산벼)종자를 미생물(0.1 M MgSO₄ 용액에 10⁸ CFU/ml의 농도)에 5시간 침지한 후 음건하여 pot 에 파종하였다. 파종 후 초기 입모수를 조사하였다.

2) 포장 시험

1999년 과 2000년 2년에 걸쳐 경남 사천시 서포면 지혜리 간척지에 1000평의 논을 임대하여 pot 시험에서 간척지도양에서 입모를 향상시키고 초기 벼 생육에 효과가 있는 것으로 인정된 H210, B16, A4-10, 88-7-2균주를 포장실험에 공시하였다. 벼(품종 : 대산벼)종자를 균 현탁액(10⁸cfu/ml)에 5시간 침지 처리한 후 음건하여 파종하였다. 파종후 입모율, 초기 생육 상태, 수량조사를 통하여 간척지에서 미생물의 처리 효과를 검증한다.

3. 벼, 맥류 이모작 체계에서 미생물 처리 효과 규명

가. 보리에 처리한 미생물의 보리 수확 후 밀도 변화와 후작물 벼의 생육

보리에 처리한 미생물이 보리 수확 후 후작물인 벼의 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 진양보리에 *Paenibacillus polymyxa* E681과 *Pseudomonas fluorescens* B16(10⁸cfu/ml)을 침종 처리하여 2000년 11월 4일 경남 농업기술원 포장(건답)에 파종하고 수확 후 근권에서 정착한 처리 세균의 밀도를 항생제 선택배양기를 이용하여 조사하고 이어 벼를 파종하여 벼의 생육에 어떠한 영향을 미치는 가를 조사하였다. 벼 파종은 경운 직파하여 입모율, 분얼, 성장, 출수, 수량구성요소에 영향을 미치는 항목들을 조사하였다.

나. 미생물의 종자처리 후 근권에서 미생물 밀도조사

1) 미생물 종자처리 후 벼의 근권에서 미생물 밀도 변화

2000년 5월 경남 농업기술원 포장에 H210과 B16(10^8 cfu/ml)이 처리된 벼(금호벼 2호)종자를 파종한 후 생육기간 동안 벼의 근권에서의 미생물의 정착밀도를 항생제 선택배양기를 이용하여 조사하였다.

2) 미생물 종자처리 후 보리의 근권에서 미생물 밀도 변화

2000년 11월 경남 농업기술원 포장에 E681과 B16(10^8 cfu/ml)이 처리된 보리(진양보리)종자를 파종한 후 보리 생육기간 동안 보리 근권에서의 미생물의 정착 밀도를 항생제 선택배양기를 이용하여 조사하였다.

최종적으로 보리종자 처리균주로 선발된 E681균주를 보리종자에 처리한 후 근권에서의 정착 밀도를 향상시키기 위하여 E681균주의 현탁액, 배양액, 내생포자 등 부동한 균 현탁액을 보리종자에 침지 처리한후 Pot에 파종하고 그 생육상황과 근권에서의 E681균주의 정착밀도를 조사하였다.

다. 파종 시기별 미생물 처리 효과 규명

파종 시기별 미생물 처리 효과를 규명하기 위하여 1999년 경상대학교 부속 농장 포장에 10월 26일, 11월 6일, 11월 16일, 11월 26일의 파종간격을 두고 *Paenibacillus polymyxa* E681(10^8 cfu/ml)이 처리된 보리(진양보리)종자를 파종하였다. 파종후 월동전, 월동후에 보리의 발아, 입모, 초기 생장을 조사하였다.

1999년 실험의 반복으로 2000년에는 진양보리에 *Paenibacillus polymyxa* E681과 *Pseudomonas fluorescence* B16(10^8 cfu/ml)을 종자에 처리하여 경상대학교 부속농장에 10일 간격으로 파종하였다. 2000년 10월 25일,

11월 4일, 11월 14일, 11월 24일 파종하고 월동전후 입모율과 분얼수, 그리고 월동후 성장과 수량을 조사하였다.

4. 미생물의 대량 배양

가. 미생물 대량 배양 시험

실용화의 기초로 *Paenibacillus polymyxa* E681의 포자 형성율과 최대수율 조건을 찾기 위하여 평소에 많이 사용되는 세균 배양용 배지인 PDB(Potato Dextrose Broth), PDK(Potato Dextrose + Bacto Peptone), BHI(Brain Heart Infusion), TSB(Tryptone Soya Broth)를 실험에 공시하여 균 성장속도, 배양기 pH변화 및 내생포자 형성율을 조사하였다. 조사는 매 12시간에 한번씩 진행하였고, 균 성장속도는 rifampicin이 첨가된 1/5TSA배지에 원액을 희석하여 plating한 후 형성된 colony수를 조사하였고 내생포자 형성은 현미경관찰을 통하여 조사하였다. 위에서 선발된 배지를 부동한 온도인 37℃와 28℃조건에서 E681성장속도를 측정하였다.

대량증식을 위한 배양조건을 찾기 위하여 20L간이 Fermenter를 개발하여 배양실험을 진행하였다.

제 3절 결과 및 고찰

1. 벼, 맥류 성장촉진 미생물 선발

가. 맥류 성장촉진 미생물 선발

1) 보리 생장촉진 미생물 분리 및 선발

Pythium을 억제할 수 있는 미생물을 선발하기 위하여 순천, 보성, 장흥, 해남의 247곳에서 보리 뿌리를 채취하여 총 5,000개의 균을 분리하였다. 여러 가지 토양 병원균인 *Pythium*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*에 대한 길항력을 검정하여 42개의 균주를 선발하였는데 그중 34개의 균주가 경남 농업기술원 보리 포장에 Pythium으로 인하여 잎이 황화 되고 생육이 위축된 보리의 병든 뿌리로부터 분리된 Pythium에 대하여 길항력을 나타냈다(Table 1, 2).

Table 1. Screening of bacterial isolates to control Pythium root rot collected from barley and wheat roots

Area	Sampling No. of site	No. of isolate	No. isolates inhibit pathogens			
			Pythium	Phytophthora	Rhizoctonia	Fusarium
Sun-chun	7	160	2	2	2	2
Bo-sung	113	2,260	26	33	32	32
Jang-hung	110	2,180	5	6	7	7
Hae-nam	17	380	1	1	1	1
Total	247	5,000	34	42	42	42

2) Pot 와 포장에서의 보리 생장촉진 미생물 선발

Pythium 전염원이 접종된 Pot 토양에 미생물을 종자에 처리하여 파종하였을 경우 선발된 균 모두 보리의 발아 속도를 앞당겼고 특히 141-9 와 MC07은 보리 입모율을 무처리여 비해 12% 향상시킬 수 있었다. Pythium이 자연 발생한 토양에 미생물 처리된 보리를 파종하였을 때 88-7-2, E681, B16이 보리의 생장을 촉진시켰고, 특히 4-10, 159-9처리

는 무처리에 비해 보리 생장을 22%, MC07은 20% 촉진시켰다. 이러한 결과는 보리로부터 선발된 균주가 토양 속의 Pythium을 억제함으로써 입모율을 향상시키고 보리의 생장을 촉진시킨 것으로 보여진다. 최종적으로 E681, B16, 4-10, 88-7-2, 141-9, 159-9 균주가 선발되었다. 이들 균주 중 E681과 B16은 이미 *Paenibacillus polymyxa*와 *Pseudomonas fluorescens*로 각각 동정되었었고 다른 균주들은 GC- fatty acid 분석에 의해 4-10은 *Pseudomonas putida*로 동정되었고, 88-7-2, 141-9, 159-9는 *Paenibacillus polymyxa*로 동정되었다(Table 2, Fig.1).

Table 2. The effective bacterial strains to control Pythium species *in vitro*

Strain	Genus or species	Similarity index ^a	root colonization (log cfu/1cm)	Inhibition zone (mm)		
				Pythium1	Pythium2	Pythium3
2-79	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	-	4.90	4.5	3.5	3
30-84	<i>Ps. aureofaciens</i>	-	4.88	6	5	3.5
E681	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	0.85	5.40	4	7.5	7
B16	<i>Ps. fluorescens</i>	0.5	4.78	0	0	0
MC07	<i>Ps. fluorescens</i>	0.87	4.78	6	3	4
4-10	<i>Ps. putida</i>	0.68	4.88	4	5	4
88-7-2	<i>P. polymyxa</i>	0.59	5.34	3	8	8.5
141-9	<i>P. polymyxa</i>	0.54	4.95	4	4	4.5
159-9	<i>P. polymyxa</i>	0.81	5.30	5	8	8

^a Bacterial strains were identified on the basis of fatty acid contents analysis (MIDI) and indicated the similarity of the given bacterial species in data base.

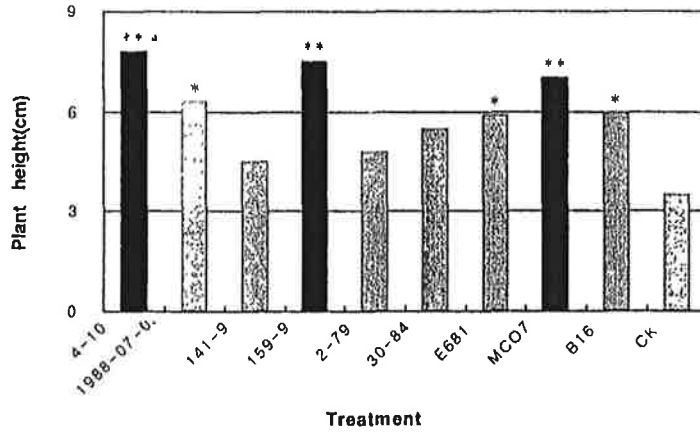


Fig. 1. Effect of bacterial seed treatments on plant height of barley in pot soil infested Pythium at 20°C *Means within each bar marked with an asterisk(*) were significantly less than the nontreated check(*: P=0.05, ** : P=0.01)

나. 벼 성장 촉진 미생물 선발

1) 벼 성장촉진 미생물 분리 및 선발

파, 양파의 뿌리에는 독특한 향으로 인해 다른 작물과는 다른 미생물이 정착하여 미생물 상을 이루고 있으며 많은 종류의 길항 미생물들이 존재하고 있는 것으로 알려져 있다. 양파, 파의 뿌리에 존재하는 길항 미생물로 박과 작물의 덩굴쪼김병 방제를 위한 미생물제제로 한 사례는 많이 보고되었지만 벼에 이용한 사례는 아직까지 없다. 그래서 부산광역시 명지 지역의 10년간 파를 재배하는 22곳과 경남 함양군 일대 양파 재배단지의 9곳에서 양파의 뿌리에 서식하는 세균을 대상으로 선발하였다(Table 3). 총 38곳에서 565균주를 선발하였는데 그중 무경운 직파재배시 토양의 과습과 담

Table 3. Screening of bacterial isolates to control Pythium damping-off and to enhance the growth of rice seedlings that collected from onion or welsh onion root cultivated in Kyeong-nam area

Area	Sampling site	No. of isolate	No. of isolates inhibit Pythium	No. of isolates promote growth of rice
Pu-san	18	243	12	1
Ma-san	3	39	5	-
Ham-yang	16	273	32	7
Chin-ju	1	10	-	-
Total	38	565	49	8

Table 4. Screening of bacterial isolates to promote the root growth of rice seedlings collected from onion or welsh onion root

Strain	Genus or species	Length of root(mm)	No. of root
A7-10	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	10.51 ^{***}	5.2
B1-9		10.50 ^{**}	4.7
B2-13	<i>Bacillus licheniformis</i>	10.35 ^{**}	5.1
B4-11		9.40 ^{**}	4.1
B6-1		9.49 ^{**}	5.0
B8-22	<i>Pseudomonas sp.</i>	9.23 ^{**}	5.2
B10-4		9.20 ^{**}	4.6
B11-11		9.60 ^{**}	5.1
Control		7.40	4.8

^{***}Means within each column marked with an asterisk(**) were significantly less than the untreated control (* :P=0.05, ** :P=0.01)

수직파 그리고 간척지에서 문제가 되는 Pythium에 의한 입모 감소를 줄여
서 입모 확보를 위한 목적으로 Pythium 병원균에 길항효과가 있는 A21-3,
A21-4 외 49개 균주를 선발하였고 벼의 뿌리 발육을 향상시키는 A7-10,
B2-13, B8-22 외 8개 균주를 선발하여 기존에 선발된 균주인 H210과 B16
와 함께 2차년도 실험에 공시기로 하였다(Table 4).

1차년도에 선발된 균주들을 기초로 2차년도에 A4-10, H210, B16,
88-7-2균주를 포장에 공시하여 2차적으로 균주 선발을 하였다. 진주
시 대곡 포장과 서산 간척지의 토양에서 보면 미생물 처리에 의한 효
과가 조금씩 인정되긴 하였지만 A4-10과 88-7-2균주는 전체적으로 안
정적이지 못하였다. 두 포장에서 보면 모두 H210과 B16이 안정적으로
입모율을 향상시켜 최종적으로 H210과 B16균주를 벼 성장촉진 실험에
선발하였다(Fig. 2).

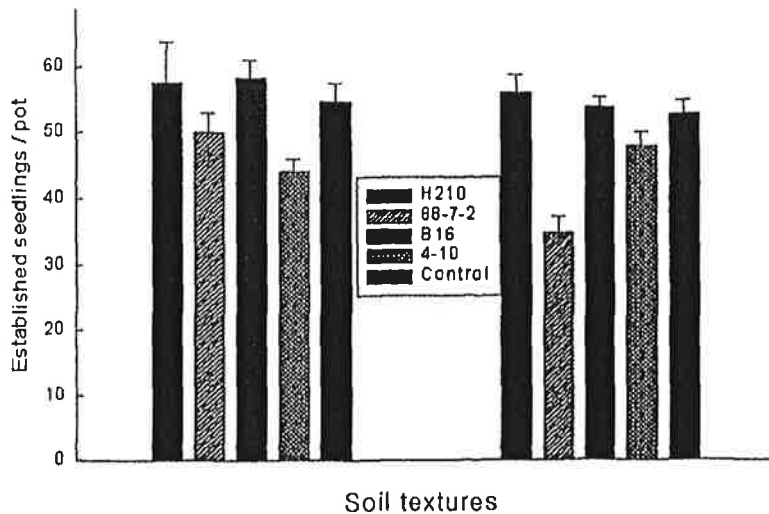


Fig. 2. Effect of bacterial seed treatment on the established seedlings of rice in the soils collected from 대-san and daegok

2) 간척지 토양에서 벼 성장촉진 미생물 선발

경남 서포 일대의 간척지에서 매년 입모가 불량하고 벼 생육이 불량한 논외 토양을 채집하여 미생물선발에 이용하였다. 무처리의 경우 57%의 입모율을 보였고 A7-10, H210은 75%, B8-22, 88-7-2은 74%의 미생물처리에 의해 향상된 입모율을 보여주었다(Table 5). 이는 미생물 종자처리에 의하여 염도가 높은 간척지에서 벼의 입모율을 효과적으로 높일 수 있다는 가능성을 보여주었다. 이 결과로 Pot실험에서 선발된 균주들을 서포 간척지 포장실험에 공시하였는데 실제 포장에서 1999년 장마로 인하여 포장에 물이 담아 그 결과를 얻지못하였다.

Table 5. Screening of bacterial isolates for enhancement of seedling establishment of rice in the soil collected from Seo-po reclaimed area

Strain	Genus or species	No. of established plant
88-7-2	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	74 ^{**a}
A7-10	<i>Pseudomonas</i> sp.	75 ^{**}
4-10	<i>P. putida</i>	72 ^{**}
B8-22	<i>Pseudomonas</i> sp.	74 ^{**}
A21-3	<i>Pseudomonas</i> sp.	65 [*]
H210	<i>P. polymyxa</i>	75 ^{**}
B16	<i>P. fluorescens</i>	66 [*]
A21-4	<i>Pseudomonas</i> sp.	60
B2-13	<i>Pseudomonas</i> sp.	74 ^{**}
Control		57

^aMeans within column marked with an asterisk(**) were significantly higher than the untreated control (* :P=0.05, ** :P=0.01)

다. 담수조건에서 미생물의 벼 근권정착 실험

밭 토양에서는 종자처리에 의해 작물이 재배되는 기간 동안 근권에 정착하여 미생물 처리에 의한 효과를 지속적으로 보여 주었는데 담수 조건에 의한 혐기적 환경에서 근권 미생물의 정착과 행동을 알아보기 위해 본 실험을 수행하였다. 경상남도 기술원 벼 포장에 *Pseudomonas fluorescens* B16, *Pseudomonas putida* 4-10, *Paenibacillus polymyxa* H210, 88-7-2를 종자 처리하여 파종 후 밀도를 조사하였다. 공시된 균주 모두 담수조건에서 일정 기간 일정한 밀도를 유지하고 있었다(Fig. 3). 이는 호기성인 밭 토양뿐만 아니라 혐기성인 논 토양에서도 길항 미생물이 효과적으로 근권에 정착할 수 있다는 것을 의미한다.

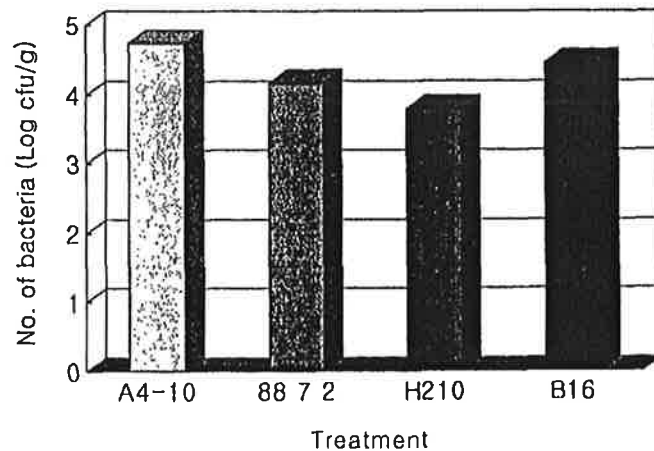


Fig. 3. Population density of bacteria colonized on the rice root after seed treatment

2. 미생물 처리에 의한 벼, 맥류 성장촉진 효과

가. 미생물처리에 의한 저온조건에서 발아 향상 효과

1) Petri plate 실험

가) 벼

Petri plate에서 벼는 15℃에서 종자가 발아를 잘 하지 못하여 50-60%의 매우 낮은 발아율을 보였지만 상대적으로 H210이 발아향상에 효과적이었고 20℃에서도 H210과 B16 처리에서 발아가 빨랐다. 전체적으로 15℃와 20℃에서 모두 H210과 B16이 무처리에 비하여 빠른 발아를 보였다(Fig. 4, 5).

나) 보리

Petri plate 상태에서 15℃에서 보리 역시 저조한 발아율을 보였지만 B2-13, E681, B16이 비교적 효과적이었고, 20℃에서도 B16, B8-22, E681이 보리의 발아를 촉진하였다(Fig. 6, 7).

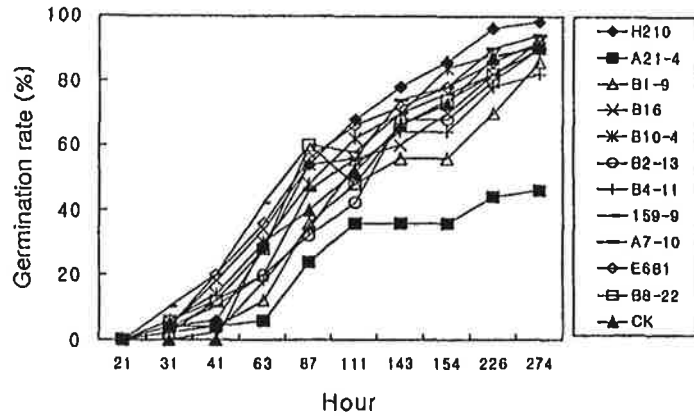


Fig. 4. Enhancement of germination rate of rice by treatment of bacteria in petri plate at 15°C.

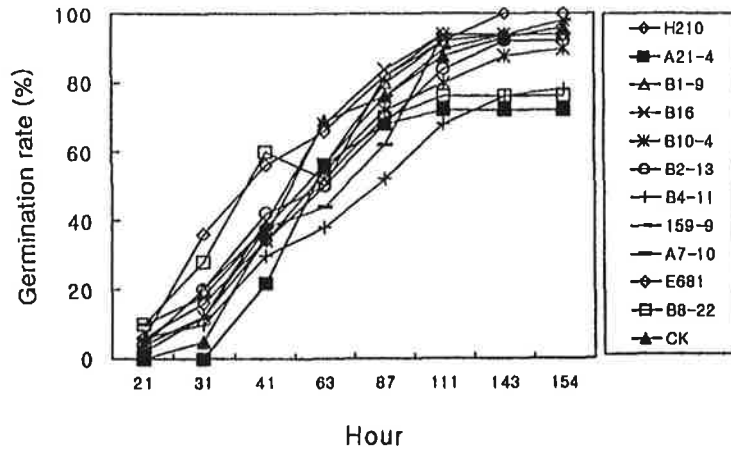


Fig. 5. Enhancement of germination rate of rice by treatment of bacteria in petri plate at 20°C.

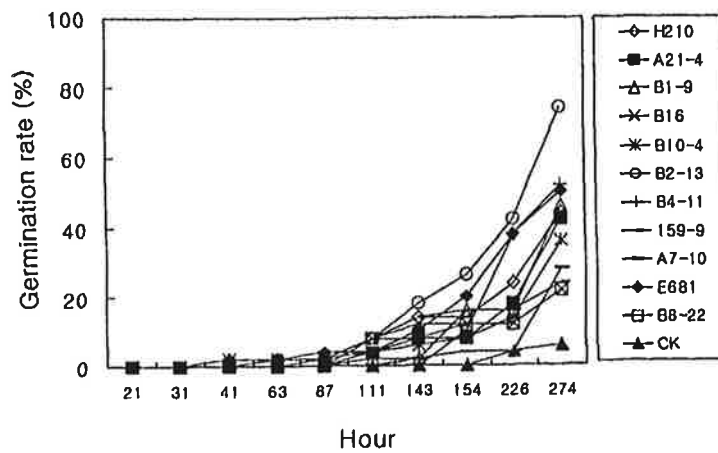


Fig. 6. Enhancement of germination barley of rice by treatment of bacteria in petri plate at 15°C.

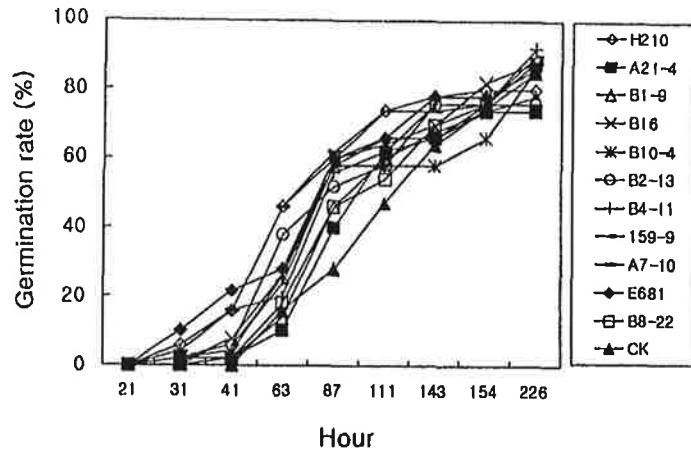


Fig. 7. Enhancement of germination rate of barley by treatment of bacteria in petri plate at 20°C.

2) Pot 실험

가) 벼

벼에 H210의 부동한 처리 방법에 따른 효과를 검증하기 위하여 bio-priming 한 것과 그냥 침지 처리하여 음건한 것을 비교하였을 경우 Priming 한 것은 88% 발아한 것에 비해 물priming은 60%, 무처리는 40% 발아하였다. 침지처리와 Bio-Priming처리를 비교한 결과 Bio-priming처리는 88%, 침지처리는 70% 발아효과를 보였다(Fig. 8).

나) 보리

보리에 E681의 부동한 처리 방법에 따른 효과를 검증한 결과 bio-Priming 한 것은 파종 24시간 후 12.5%, 침지처리는 2.5% 발아를 보였고, 3일 후에는 Priming처리는 82% 발아하여 침지한 것과 무처리 보다 20%나 빠른 발아효과를 보였다(Fig. 9).

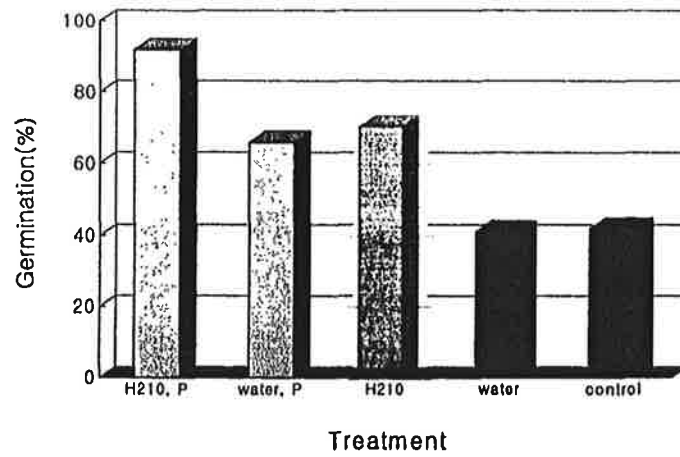


Fig. 8. Enhancement of germination rate of rice by treatment of bacteria in pot.

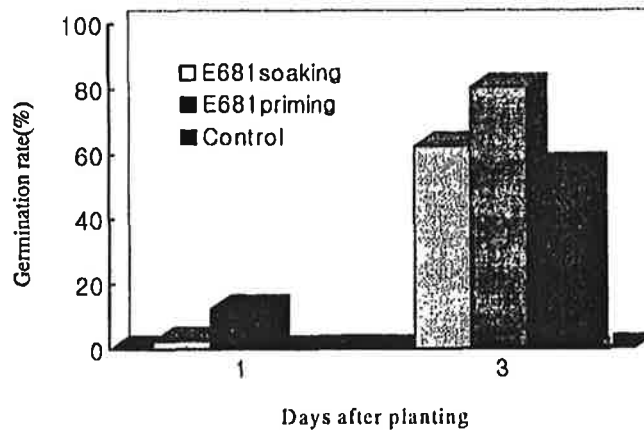


Fig. 9. Germination of barley after the bio-priming seed treatment with *Peaenibacillus polymyxa* E681

나. 미생물처리에 의한 월동기 맥류 성장촉진 효과

실제 보리, 밀을 재배하는 농가를 대상으로 하여 농가 수준에서 미생물 처리효과를 알아보았다. 초기 입모율은 미생물처리에 의해 촉진되어진 효과를 보여 주었다 (Table 6, 7). 1998년 1차년도에는 연구개시점이 이미 보리 파종시기에 임박하였기 때문에 농가포장 선정과 다량의 종자에 대한 미생물 처리 방법을 사전에 충분히 준비하지 못하여 최초 종자에 처리한 미생물의 밀도는 기존의 실험 결과 보다 훨씬 낮은 10^5 cfu/ml 밀도로 처리되었다. 미생물을 처리한 처리구에서 모두 무처리에 비해 초기 입모율을 향상시켰고 초기생육을 향상시키는 효과가 있었다. 특히, 벌교 및 고성 농가 포장에서 미생물 처리구의 입모가 무처리에 비해 빨랐으며 초기 성장 역시 빨랐다(Table 6). 사천시 장송과 하동군 옥종면 농가의 직파 포장에서는 전체적으로 생육이 늦어서 초기 입모와 성장을 비교하기가 어려웠다. 소규모의 종자처리 실험은 여러 차례 하였으나 한꺼번에 1000평 이상에 파종할 종자에 처리 기술이 미흡하여 전체적으로 미생물처리 밀도가 10^5 cfu/ml로 평상시 10^8 cfu/ml 에 비해 상당히 낮은 편이었다. 그 결과 포장에서 근권정착 밀도가 매우 낮았다. 1999년 2차년도에 경상남도 농업기술원에 파종한 보리, 밀 뿌리에 정착한 처리세균의 밀도는 파종 40일 과 90일 후에도 정착하고 있었으며 초기 입모율과 생장이 무처리에 비해 향상된 효과가 있었고 출수기는 대체로 1~2일 정도 앞당길 수 있었지만, 보리 생육에 크게 영향을 끼칠 수 있는 봄의 기온이 높아서 미생물의 처리효과를 크게 볼 수 없었다(Table 7).

Table 6. Enhancement of seedling establishment of barley by treatment of with effective bacterial isolates in field assay (/m²)

Area	Treatment		
	E681	B16	Control
Ko-sung	543 ^{***a}	500 ^{**}	340
Ha-dong	130	186 ^{**}	128
Beol-gyo 1	706 ^{**}		350
Beol-gyo 2	550 ^{**}		433
Beol-gyo 3	830 ^{**}		440
Sa-cheon	1074 ^{**}		828

^aMeans within each column marked with asterisks(**) were significantly higher than the untreated control (* :P=0.05, ** :P=0.01)

Table 7. Effective bacterial isolates in barley growth in Gyeongnam RDA experimental field

Variety	Treatment	Emergency %	Max. Tiller /m ²	No. head /m ²	heading Date	yield kg/10a
Oworl barley	G157	74.0	1286.3	908	4/19	700
	E681	66.0	1322.0	761	4/19	671
	B16	56.0	1166.7	725	4/20	648
	Control	55.0	1314.0	730	4/21	640
Jinyang barley	G157	76.7	1816.7	1,011	4/24	505
	E681	73.7	1563.7	1,041	4/24	557
	B16	76.3	1542.0	1,100	4/24	483
	Control	79.0	1380.3	989	4/26	459
Olgru mil	G157	46.0	1201.0	792	4/26	546
	E681	30.0	1316.7	717	4/26	483
	B16	47.3	1214.0	675	4/26	447
	Control	24.7	1030.3	678	4/26	482
LSD (5%)	Varety	15.7	NS	85		65
	Bacteria	NS	259.6	NS		50
	Varety × Bacteria	NS	NS	NS		87

다. 미생물처리에 의한 뿌리 발육 향상 효과

유용미생물 처리에 따른 유묘기 벼의 초장 근장 건물중의 변화를 조사하기 위하여 벼 품종별 실험을 수행하였다(Table 8). 초기 초장은 처리에 의한 차이보다 품종 특성으로 인한 차이가 크게 나타났다. 일반 장려품종이 직파 품종보다 컸으며, 일반 장려품종 중에는 금오벼 2호가 컸고 직파 장려 품종은 대산벼가 컸다. 미생물 처리간 비교는 일반 장려 품종의 경우 B16 처리구의 초장이 컸으며 직파 장려 품종의 경우 남천벼는 B16 처리구가 컸으나 대산벼와 동안벼는 H210 처리구의 초장이 길었다. 생육초기 근장은 일반 장려 품종인 일미벼가 가장 길었고 남천벼가 가장 짧았다. 생육초기의 근장 차이는 처리에 의해서가 아니라 품종의 특성으로 생각되어지며 2주 뒤 조사에서는 품종별 차이가 없었지만, 그 중 금호벼 2호와 대산벼가 길게 나왔고 다른 품종들 간의 차이는 없었다. 미생물 처리에서도 초기 근장은 처리간에 차이가 없었지만 2주 뒤 조사에서는 품종에 따라 처리간의 차이를 보였다. 금오벼2호, 동진벼, 남천벼, 동안벼등 4품종이 B16처리구에서 다른 처리구에 비해 뿌리의 생육이 좋았으며 일미벼는 H210에서 좋았다. 대산벼는 처리구와 무처리구 간의 차이가 인정되지 않았다.

초장과 초기 생장은 품종에 의한 차이가 인정되었지만 미생물에 의한 효과는 인정되지 않았다. 후기 초장에서 미생물의 효과가 인정되는 것으로 보아 초기에는 배유에 의한 성장을 함으로 뿌리의 역할이 없어서 효과가 인정되지 않았지만 후기 뿌리가 발달하면서 효과가 인정된 것으로 사료된다. 뿌리의 생장도 초장의 생장과 비슷한 경향을 보였다. 뿌리의 발달이 후기에 미생물에 의한 차이가 인정되므로 미생물에 의해 유묘의 초장이 영향을 받았다는 것을 뒷받침 해주고 있다. 건물중은 초기와 후기에 미생물과 품종간에 유의성이 인정되었다. 품종간에 다소 차이가 있지만 초기 건물중 보다 후기 건물중이 미생물에 의한 효과가 크게 나타나 초장 근장 건물중 변화가 일관된 결과를 보여주고 있다.

Table 8. Plant height, root length and dry weight of rice cultivars as affected by treatment of beneficial bacteria.

Strain	Plant height		Root length		Dry weight		
	15Jun	29Jun	15Jun	29Jun	15Jun	29Jun	
Gumobyeo#2	B16	33.6	53.6	12.8	23.4	140	554
	H210	34.1	55.7	16.2	24.4	160	939
	CK	32.6	52.5	15.3	23.1	152	632
	Mean	33.4	53.9	14.8	23.6	150.9	708.2
Dongjinbyeo	B16	32.9	53.6	12.2	22.1	160	718
	H210	31.2	49.9	16.3	23.7	164	801
	CK	33.4	50.4	15.1	20.8	175	476
	Mean	32.5	51.3	14.5	22.2	166.1	664.9
Ilmibyeo	B16	32.1	49.8	15.0	22.5	157	602
	H210	31.9	56.7	14.5	23.7	171	638
	CK	30.6	52.4	15.3	22.5	120	553
	Mean	31.5	53.0	14.9	22.9	149.3	597.8
Namcheonbyeo	B16	26.4	45.7	13.2	22.7	167	568
	H210	25.3	46.7	14.2	21.4	161	674
	CK	22.9	45.9	12.1	21.2	91	538
	Mean	24.9	46.1	13.2	21.8	139.5	593.1
Dacsanbyeo	B16	30.8	51.8	14.4	22.5	140	625
	H214	35.0	53.1	14.2	23.7	175	575
	CK	32.0	50.5	14.8	23.7	145	430
	Mean	32.6	51.8	14.5	23.3	153.6	543.4
Donganbyeo	B16	31.6	51.2	15.4	22.5	153	612
	H210	32.8	54.2	13.8	21.7	187	661
	CK	33.1	47.7	14.7	19.9	165	429
	Mean	32.5	51.0	14.6	21.4	168.4	567.5
Cultivar	**	**	ns	**	**	**	
Strain	ns	**	ns	**	**	**	
Cultivar × Strain	**	**	*	ns	**	**	

ns, Not significant; *, **, significant at the 0.05 and 0.01 probability respectively

라. 미생물 처리에 의한 분얼 향상과 출수기 단축효과

1) 미생물 처리에 의한 생육촉진 효과

건답직파 재배체계에서 유용미생물 처리에 따른 금오벼2호와 동진벼의 입모수는 동진벼가 금오벼2호와 비교했을 때 높았다. Pot시험의 결과와는 달리 포장시험의 결과 입모수는 많은 차이를 보였으며 이는 Pot라는 한정된 공간과는 달리 환경적인 조건을 많이 받는 포장시험에서 품종 각각의 특성 발현이 큰 것으로 사료되어 지며 동진벼는 그 특성이 높음을 알수 있다. 미생물 처리간 비교는 금오벼2호의 경우 대조구와 비교하여 H210, B16 및 4-10 처리구의 입모수가 많았고, 동진벼는 대조구와 비교하여 88-7-2와 H210 처리구의 입모수가 많았다. 공통적으로 H210 처리구의 입모수가 많았다(Table 9). 초장은 분얼기와 유수형성기 모두 금오벼2호와 비교하여 동진벼가 긴 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다. 미생물 처리간 역시 유의적인 차이는 없었으나 금오벼2호의 경우 분얼기는 4-10과 B16 처리구의 초장이 길게 나타났고, 유수형성기는 88-7-2와 H210 처리구의 초장이 길게 나타났다. 동진벼는 분얼기의 경우 88-7-2와 H210 처리구의 초장이 길었다(Table 9). 건물중은 분얼기의 경우 동진벼가 무거웠으며, 유수형성기는 유의적인 차이가 없었다. 그리고 완전 출수기는 금오벼2호가 무거웠다. 이는 분얼기의 경우 입모와 유묘 생장이 좋은 동진벼가 높은 건물중의 증가를 보인 것으로 사료되어지며 유수형성기는 초기 입모와 생장이 떨어졌던 금오벼2호가 많은 분얼과 생장을 하여 건물중이 비슷한 수준이 된 것으로 그리고 완전 출수기는 금오벼2호의 지속적인 증가로 건물중이 높은 것으로 사료된다. 미생물 처리간의 비교는 금오벼2호의 출수기에 4종류 미생물 처리구가 대조구와 비교하여 무거웠고, 동진벼의 출수기는 B16과 H210 처리구의 건물중이 무거웠다(Table 10). 이삭수는 금오벼2호와 비교하여 동진벼가 많았다. 이는 초기의 동진벼가 충분한 입모수를 확보하였기에 후기의 이삭수가 많았음을 알수 있다. 이삭당 낱알수는 금오벼2호가 많았다. 초기에 입모수를 확보한 동진벼의 경우 수수형으로 발달하여 이삭당 낱알수가 적고 금오벼2호는 상대적으로 이삭이 수수형으로 발달하여

이삭수당 낱알수가 많은 것으로 사료된다. 미생물 처리간 비교는 이삭수에서 유의적인 차이를 보이며 금오벼2호의 경우 이삭수는 88-7-2, B16 및 H210 처리구의 이삭수가 많았고, 동진벼의 경우 이삭수는 H210, 88-7-2 및 4-10 처리구가 많았다. 품종과 미생물의 상호관계는 이삭수에서만 유의적인 차이를 보였으며 금오벼2호와 동진벼 모두 H210 처리구의 이삭수가 많았다(Table 9).

Table 9. Effects of beneficial bacteria-treatment on the number of established seedlings and yield component of Gumobyeo#2 and Dongjinbyeo in direct-sown dry paddy system

Cultivars	Strain	NO. of established seedling/m ²	Panicles/m ²	Spikelets/Panicle
Gumobyeo#2	4-10	120.2	350.5	133.6
	88-7-2	112.5	525.6	135.9
	B16	127.9	521.0	128.1
	H210	146.4	613.2	133.2
	CK	101.7	432.2	121.5
	Mean	121.7	488	130.4
Dongjinbyeo	4-10	231.2	653.8	76.6
	88-7-2	255.9	708.5	82.8
	B16	223.5	514.8	84.2
	H210	283.6	734.1	76.3
	CK	228.1	563.2	76.3
	Mean	244.4	634	79.2
Cultivar		**	**	**
Strain		**	**	ns
Cultivar × Strain		ns	**	ns

ns, Not significant; *, **, significant at the 0.05 and 0.01 probability, respectively

Table 10. Plant height and dry weight of Gumobyeo#2 and Dongjinbyeo as affected by beneficial bacteria treatment in direct-sown dry paddy system

Cultivars	Strain	Plant height		Dry weight	
		24Jun.	27Jul.	24Jun.	27Jul.
Gumobyeo#2	4-10	18.5	61.4	0.26	3.3
	88-7-2	15.7	63.6	0.16	2.4
	B16	19.1	61.7	0.26	2.9
	H210	16.1	64.7	0.21	3.1
	CK	14.8	59.4	0.18	2.5
	Mean	16.8	62.1	0.22	2.8
Dongjinbyeo	4-10	16.2	60.1	0.22	2.4
	88-7-2	19.1	63.2	0.31	2.9
	B16	18.1	59.8	0.26	2.9
	H210	17.2	63.5	0.26	2.7
	CK	16.6	59.9	0.30	2.9
	Mean	17.4	61.3	0.27	2.7
Cultivar		ns	ns	**	ns
Strain		ns	ns	ns	ns
Cultivar × Strain		ns	ns	**	**

ns, not significant; *, **, significant at the 0.05 and 0.01 probability, respectively.

2) 미생물 처리에 보리의 생육촉진 효과

1999년 문산면 금곡리 농가 포장에서 E681처리에 의한 생육촉진 효과를 보면 월동전, 월동중에 E681처리구에서 무처리에 비하여 입모수가 많고 초장이 길었고, 월동후에도 E681처리구가 무처리에 비하여 월동하게 길었다 (Fig. 10, 11).

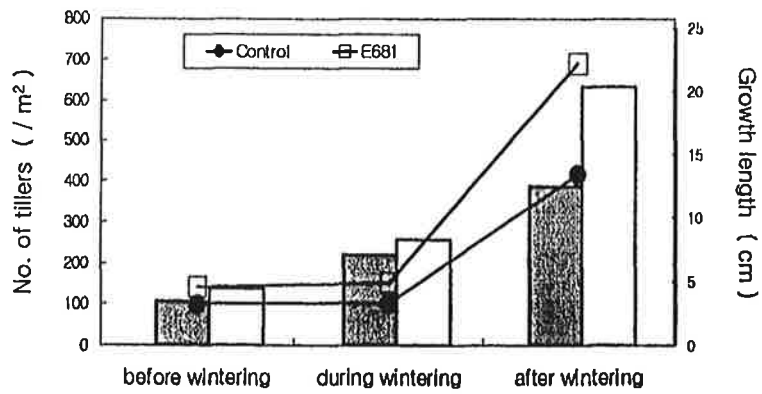


Fig. 10. Enhancement of tillering and growth of barley by treatment bacteria in farmer's field.



Fig. 11. Accelerating of heading and maturity maturing of barley by treatment of bacteria in farmer's field.

마. 품종에 따른 미생물 처리 효과

1) 벼의 품종에 따른 미생물 처리 효과

미생물과 품종간 상호관계를 보면 유묘기의 초장은 B16에서 금오벼2호, H210에서 대신벼, 무처리에서 동진벼가 가장 크게 나타났다. 초장의 증가는 B16에서 대신벼, H210에서 일미벼, 무처리에서 남천벼가 가장 많이 증가하였다(Fig. 12).

건물중은 H210이 가장높게 나타났으며, 무처리가 가장 낮게 나타났다. 건물중 변화는 B16에서 동진벼 H210과 무처리에서 금오벼2호가 가장 많이 증가를 하였다. 처리의 전체에서 H210의 금오벼 2호가 가장 많이 증가를 한 것으로 나타났다(Table 11).

미생물의 밀도 변화는 품종간 미생물 처리간 다소 차이는 있었지만 벼의 생육에 영향을 줄 정도로 차이는 보이지 않았고, 어느정도의 미생물이 뿌리에 서식하는 것으로 나타났다. 본 시험의 결과로 유용미생물의 처리가 벼 초기 생육에 효과가 있는 것으로 나타났으며 앞으로 직파재배시 유용미생물을 처리하여 초기 생장을 촉진시키면 잡초와의 경합에서 유리 할 것으로 사료된다(Fig. 13).

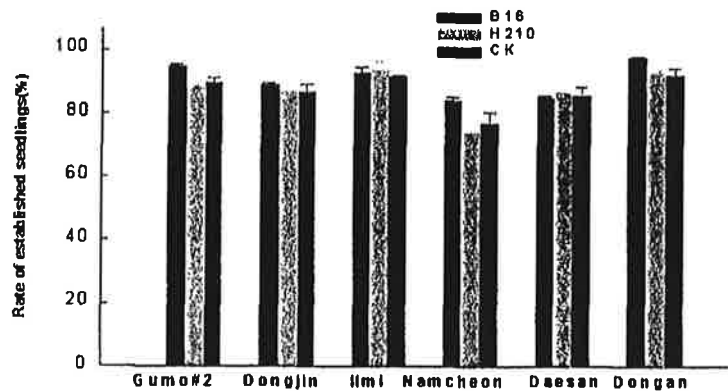


Fig. 12. Rate of established seedlings of rice that treated with bacteria or non treated in different cultivar

Table 11. Effects of seed treatment of beneficial bacteria on plant height and dry weight in different cultivar.

Treatment	Cultivar	height		dry weight	
		21days	35days	21days	35days
B16	Gumobyeo#2	33.6±1.46 [*]	53.6±2.64	140±13.7	454±28.6
	Dongjinbyeo	32.9±0.36	53.6±1.12	160±19.8	718±63.9
	Ilmibyeo	32.1±0.70	49.8±0.29	157±10.2	602±69.4
	Namcheonbyeo	26.4±0.15	45.7±0.82	166±11.9	568±69.7
	Daesanbyeo	30.8±1.39	56.8±2.10	140±22.9	625±98.8
	Donganbyeo	31.6±0.62	51.2±1.08	153±6.8	612±79.1
H210	Gumobyeo#2	34.1±1.55	55.7±2.46	160±12.4	939±113.9
	Dongjinbyeo	31.2±2.00	49.9±1.96	164±10.5	801±140.5
	Ilmibyeo	31.9±1.69	56.7±3.15	171±12.9	038±60.2
	Namcheonbyeo	25.3±0.74	46.7±2.50	161±9.9	674±94.4
	Daesanbyeo	35.0±0.99	53.1±0.87	175±4.1	575±103.6
	Donganbyeo	32.8±1.22	54.2±2.42	187±16.5	661±78.5
CK	Gumobyeo#2	32.6±0.99	52.5±0.58	152±24.4	632±93.1
	Dongjinbyeo	33.4±0.58	50.4±2.15	175±7.5	400±79.7
	Ilmibyeo	30.6±1.13	52.4±2.06	120±12.2	553±41.4
	Namcheonbyeo	22.9±1.76	45.9±2.96	91±19.4	538±155.1
	Daesanbyeo	31.9±1.45	50.5±1.40	145±19.6	430±56.0
	Donganbyeo	33.1±2.04	47.7±0.33	164±25.6	385±60.3

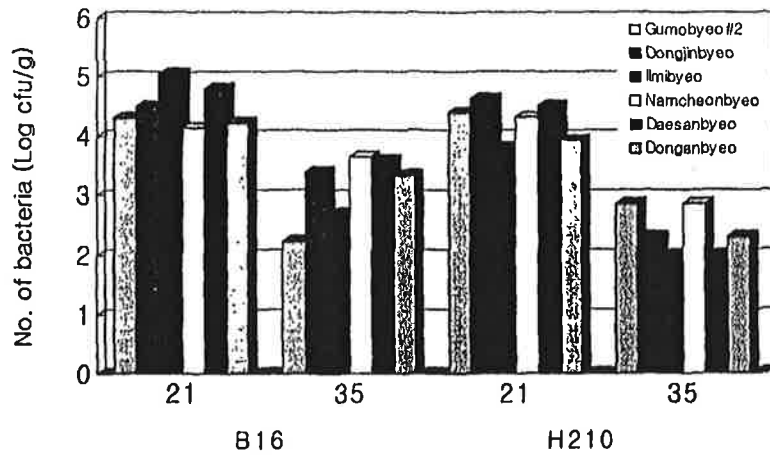


Fig. 13. Population densities of B16 and H210 colonized on the rice root after seed treatment in different rice cultivar

2) 보리의 품종에 따른 미생물 처리 효과

1999년 11월 24일에 진양보리 외 10품종의 보리 또는 밀에 *Paenibacillus polymyxa* E681과 *Pseudomonas fluorescens* B16을 종자 처리하여 파종하였다. 월동 전, 중, 후의 분얼수와 길이 생장 그리고 출수기 등의 보리생육을 조사하였다. 미생물 처리효과는 맥류의 품종간에 약간의 차이를 보여 주었는데 진양보리, 흰찰쌀보리, 큰알보리에서 무처리에 비교해서 분얼수, 길이생장에 항상 효과를 보여 주었다(Fig. 14, 15).

1999년 맥류 미생물 처리효과가 인정되었던 흰찰쌀보리를 선정하여 2000년 경상대학교 부속농장에 미생물처리가 흰찰쌀보리의 생육에 미치는 영향을 알아보았다. 보면 생육중기의 초장과 분얼수 간장에서는 처리간에 유의성 차이를 나타내지 않았지만 입모수는 처리간에 유의적인 차이를 나타내어 E681, B16, H210처리가 무처리에 비하여 많았고, 수확량에서도 미생물 처리가 무처리에 비하여 많았다(Table 12).

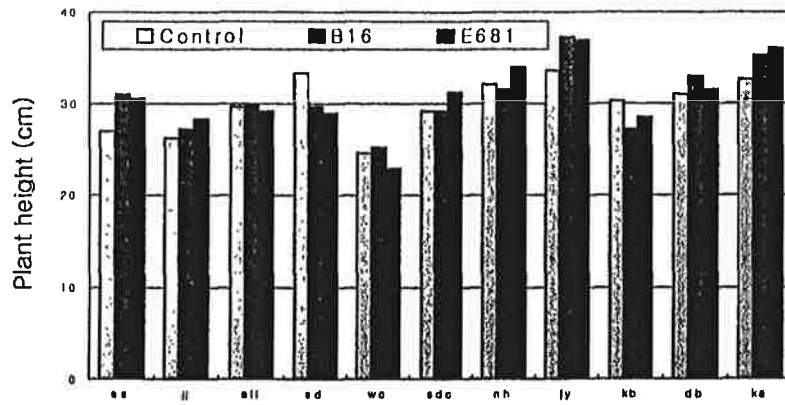


Fig. 14. Enhanced growth of barley by treatment of bacteria in different barley cultivar

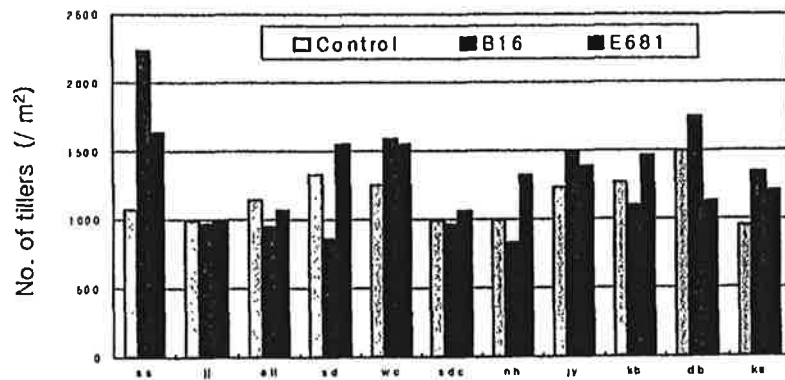


Fig. 15. Enhancement of tillering of barley by treatment of bacteria in different barley cultivar.

Table 12. Effect of bacterial seed treatment on the growth of ssalbori

Treatment	Emergency(%)	Height	No. Tillers	Stem length(cm)	Yield(kg/10a)
E681	84.33	8.61	6.80	52.57	78.70
B16	88.67	9.37	7.00	51.83	83.90
H210	82.33	8.63	6.33	52.80	80.33
CK	68.33	8.70	7.07	53.13	73.87
LSD 0.05	2.57	ns	ns	ns	0.87

바. 간척지에서 미생물처리에 의한 입모 확보 및 초기 성장촉진 효과

염도가 비교적 높고 혐기적 환경에서 벼의 입모 확보에 어려움이 있는 서포 간척지 는 토양을 수집하여 pot에 담고 선발한 미생물을 종자처리 (0.1M MgSO₄ 용액에 10⁸ cfu/ml의 미생물 처리 밀도)하여 pot에 파종하였다. H210, B11-11등은 무 처리에 비해 간척지 토양에서 입모율을 향상시키는 효과를 보여 주었다(Fig. 16).

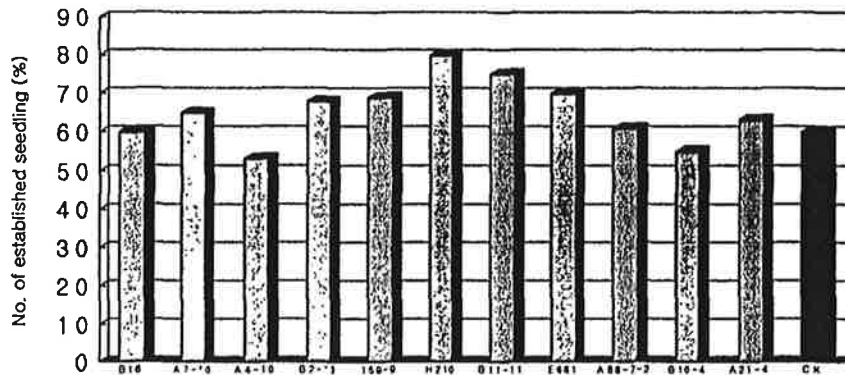


Fig. 16. Established number of rice seedlings treated with bacteria in Scopu paddy soil.

3. 벼, 맥류 이모작 체계에서 미생물 처리 효과

가. 보리에 처리한 미생물의 보리 수확 후 밀도 변화와 후작물 벼의 생육

보리에 처리한 미생물이 보리 수확 후 다음 작기의 벼의 생육에 미치는 영향을 조사하였다. 전작 보리에서는 E681과 B16처리가 무처리에 비하여 초기 생육에는 유의적 차이가 없었으나 수확량은 무처리에 비하여 유의적인 차이를 보였다. 이는 2000년 겨울 날씨가 따뜻하여 초기 생육에 있어서 미생물의 효과가 뚜렷하게는 나타나지는 않았지만 미생물의 효과가 조금씩 축적이 되어 수확량에서 나타난 것으로 사료된다. 보리 수확후 전작처리미생물들의 후작물 벼의 생육에 미치는 영향을 보면 전작처리 미생물이 보리수확과 동시에 모두 없어져 후작 토양이나 벼 뿌리에 아무런 영향을 주지 않았고, 또 후작의 생육이나 수확에 아무런 영향을 주지 않았다. 그러므로 전작 한번 처리로 후작에 까지 성장촉진 효과를 주지 못하였고, 또 환경적인 요인에서 볼 때 전작처리 미생물이 전작 작물의 수확과 동시에 없어짐으로써 생태계에 아무런 영향도 주지 않아 우리가 기대하던 바와 동일하였다(Table 13, 14).

Table 13. Effects of bacterial seed treatment on the growth of barley

Treatment	Emergency (%)	Height	No. Tillers	No. head	Stem length (cm)	Yield (kg/10a)
E681	89.7	9.5	2.5	224.0	64.0	71.2
B16	108.3	10.1	1.8	244.0	63.7	94.4
CK	92.7	9.2	1.8	220.3	68.6	82.7
LSD 0.05	ns	ns	ns	ns	ns	3.76

Table 14. Effect of residual bacteria on the growth of rice that cultivated of the barley

Treatment	Emergency (%)	Head lenth (cm)	Stem lenth (cm)	No. head	Grain No.	Total wt (g)	Total grain wt (g)
E681	25.3	20.9	74.1	93.3	113.8	1076.0	869.3
B16	25.0	97.3	70.9	101.3	112.2	1128.7	890.7
Ck	27.0	51.1	70.1	111.7	97.8	1142.0	896.3
LSD 0.05	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

나. 미생물의 종자처리 후 근권에서 미생물 밀도

1) 벼 종자처리 후 근권에서의 미생물 밀도

미생물을 종자 처리하여 실제 포장에 파종한 후 근권에서의 그 밀도 변화를 추적하여 보면 벼에서 B16과 H210 모두 파종 70일까지도 10^4 cfu/ml의 밀도를 유지하였다. B16은 초기 밀도가 H210보다 높았지만 시간이 경과함에 따라 밀도가 떨어지는 경향을 보였고, H210은 근권에서 일정한 밀도를 계속 유지하였다(Table 15).

Table 15. Population density of bacteria colonized on the rice root after seed treatment (cfu/g)

Strain	Bacteria	Days after sowing			
		27	42	57	72
B16	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	2.84×10^4	7.20×10^4	9.50×10^4	2.00×10^2
H210	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	5.40×10^2	6.00×10^4	3.55×10^4	1.60×10^4

2) 보리 종자처리 후 근권에서의 미생물 밀도

미생물을 종자 처리하여 포장에 파종한 후 근권에서의 그 밀도 변화를 추적하

여 보면 보리에서 B16은 초기 밀도가 E681보다 조금 높았지만 일정한 시간뒤에는 그 밀도가 급격히 떨어졌지만 E681은 일정한 정도의 밀도를 꾸준히 유지하고 있어 월동후에도 뿌리에서 계속 살아 남을 수 있었다(Fig. 17).

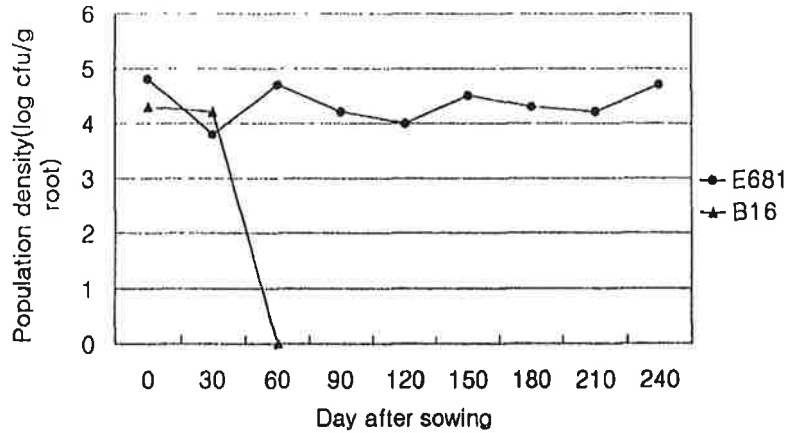


Fig. 17. The population density of E681 and B16 on barley root after seed treatment in field condition.

다. 보리 파종 시기별 미생물 처리 효과

경상대학교 부속 농장 포장에 1999년 10월 26일, 11월 6일, 11월 16일, 11월 26일의 파종간격을 두고 파종하였다. 파종후 월동전, 월동중, 월동후에 보리의 발아, 입모, 초기 보리 생장을 조사하였다(Table 16, Fig. 17). 일찍 파종한 10월 26일 파종구 부터 길이 생장과 입모에서 조금씩 차이가 나기 시작하여 11월 16일 파종한 처리구에서 분얼수의 차이가 많이 났다. 그리고 4월 중순부터 출수하기 시작하였는데 미생물 처리구에서 하루정도의 차이를 보이면서 출수를 하였고 11월 16일 파종구에서는 5일 일찍 출수되는 차이를 보여주었다. 2000년 10월 25일 파종구에서는 미생물 처리간에 유의성 차이가 없었다. 11월 4일 파종

구에서부터 미생물처리가 무처리에 비하여 입모수, 초장, 간장, 및 수확량이 증가하였고 전체적으로 보면 B16처리가 더욱 효과적이었다. 그리고 파종일과 미생물간의 상호관계를 보면 초기생육에 있어서 유의적인 차이를 보였다(Table 17).

Table 16. Growth of barley after treated with bacteria in different seeding date

Treat	seeding date	length of plant (cm)			tiller number (No./m ²)			heading date
		BW	DW	AW	BW	DW	AW	
E681	Oct. 26	11.7	9.8	24.6	439	452	922	April 13
	Nov. 06	8.4	7.8	21.7	425	562	1210	April 15
	Nov. 16	4.7	7.1	20.2	373	285	903	April 18
	Nov. 26	-	5.8	16.9	-	234	669	April 22
Control	Oct. 26	10.3	9.6	24.6	482	428	272	April 14
	Nov. 06	7.8	7.0	20.3	411	382	897	April 16
	Nov. 16	4.3	7.3	19.5	264	171	554	April 22
	Nov. 26	-	5.6	16	-	192	496	April 22

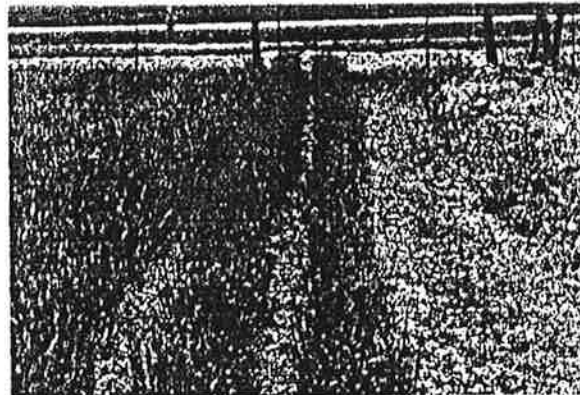


Fig. 18. The growth promotion of barley seedlings induced by E681 in different seeding date, 26. Oct; 5. Nov; 15. Nov; 25. Nov in GSNU experimental field.

Table 17. Growth of barley after treated with bacteria in different seeding date

Seeding date	Treatment	Emergency (No./m ²)	Plant height	No. Tillers	Stem length	Yield (kg/10a)
Oct. 25	E681	117.7	13.8	7.0	59.0	139.4
	B16	104.7	11.6	8.5	53.1	132.2
	Cont	113.0	13.2	6.4	54.3	119.0
	LSD.05	ns	ns	ns	ns	ns
Nov. 4	E681	58.0	9.4	6.0	50.9	61.1
	B16	75.7	9.8	5.4	48.8	79.2
	Cont	44.3	7.7	7.0	45.9	70.4
	LSD.05	8.29	1.46	ns	3.21	16.81
Nov. 17	E681	27.7	6.5	2.2	42.7	56.3
	B16	45.7	6.3	2.8	41.1	67.8
	Cont	37.7	7.7	2.2	40.3	53.1
	LSD.05	8.93	1.15	ns	ns	ns
Nov. 25	E681	14.3	5.0	1.5	45.0	46.2
	B16	32.0	5.1	1.3	42.2	62.5
	Cont	24.7	5.5	1.2	38.5	49.1
	LSD.05	16.9	ns	0.52	4.46	15.36
day		**	**	**	**	**
mor		ns	ns	ns	**	ns
day*mor		**	**	ns	ns	ns

4. 미생물의 대량 배양

가. 미생물 대량 배양 시험

E681의 성장곡선을 보면 BHI와 TSB의 배양 12시간에는 PDB와 PDK배지에 비하여 빨랐으나 24시간때에는 배지간에 큰차이를 나타내지 못하였다. PDB와 PDK에서 다른 배지에 비하여 내생포자가 빨리 형성되고 또 많이 형성되었다. 그리고 전 배양중에서 배지간에 pH가 많이 변화하였지만 균 성장곡선에는 배지간에 별로 큰 영향을 주지 않았다(Fig. 19, 20).

위 실험에서 내생포자 형성이 빠르고 많은 PDB와 PDK배지를 선발하여 부동한 온도에서의 성장율을 조사하였다. 그림3 에서 보면 12시간에는 37℃에서 28℃에 비하여 성장속도가 느리고, 48시간만에는 생장이 거의 차이가 없었다. 하여 E681배양에 있어서는 균이 에너지 소모가 많은 37℃의 높은 온도가 아니라 28℃가 더욱 적합하다(Fig. 21).

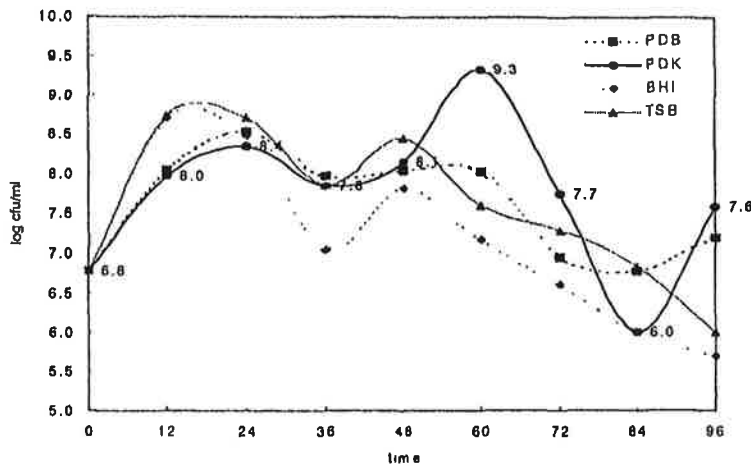


Fig. 19. Growth curves of E681 in the different kinds of media

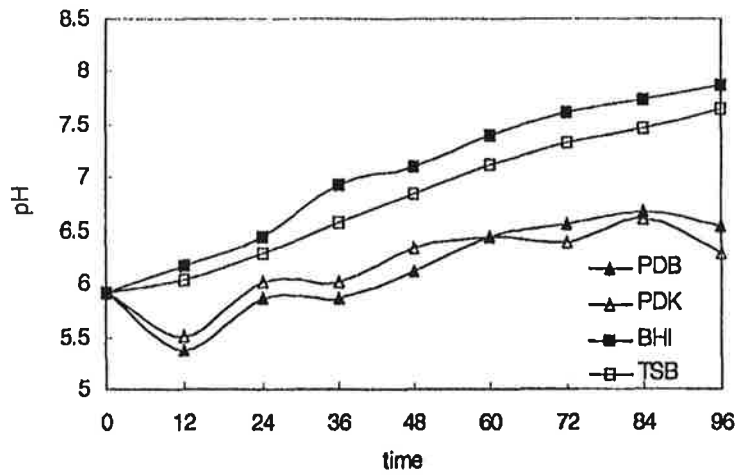


Fig. 20. Changes of pH during the proliferation of E681 in different media

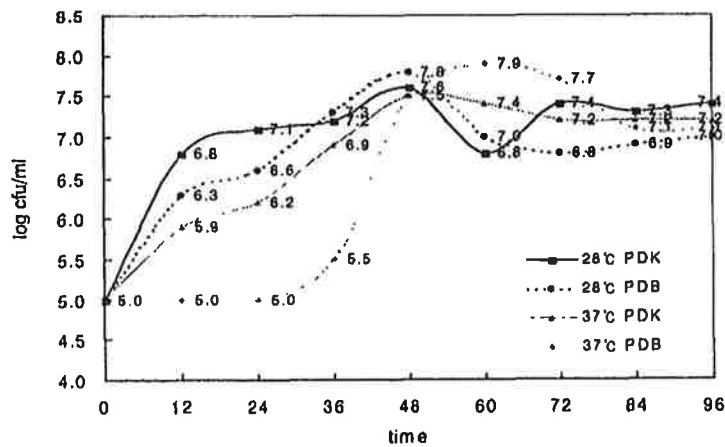


Fig. 21. Growth curves of E681 in PDK and PD broth media at different growth temperature

제4절 참고문헌

Acharaya, C. N. 1935b. studies on the anaerobic decomposition of plant mateIII. comparison of the course of decomposition of rice straw under anaerobic conditions. Biochem. J. 29p. 154.

Ahmed, M., M. Shahjahan, H. Rahman, M. Kalimuddin, and M. Hossain. 1986. Effect of different levels of tillage on the yield and economic performance of bore rice in barind soil. Proceedings of the 14th Annual Bangladesh Science Conference, P. 81.

Alabouvette, C. 1990. Biological control of Fusarium wilt pathogens in suppressive soils. in : Biological control of soil borne plant pathogens D. Hornby and R. J. Cook eds CAB International pp. 27-44.

Allison, F. E. 1966. The fate of nitrogen applied to soils, Adv. Agron. 18 : 219-258

Bae, Y. S., Kim, H. K., and Park, C. S. 1990. An improved methods for rapid screening and analysis of root colonizing biocontrol agents. Korean J. Plant Pathology 6 : 325-332

Baker, K. F. 1987. Involving concepts of biological control of plant pathogens. Ann. Rev. Phytopath. 25 : 67-85.

Bashan, Y., Ream, Y., Leavanony, H., and Sade, A. 1989. Nonspecific responses in plant growth, yield and root colonizing of noncereal crop plants to inoculation with *Azospirillum brasilense* Cd. Can. J. Bot. 67 : 1317-1324

Blevins, R. L., G. W. Thomas, and F. L Conelius. 1977. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. Agron J. 69 : 383-386.

Blevins, R. L., G. W. Thomas, M. S. Mith, W. W. Frye, and P. L conelius. 1983. changes in soil properties after 10 years no-tilled and conventionally tilled corn. soil and Tillage Res. (In press).

Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. In A. L. Page et al. (ed) Methods oil analysis, Part 2. 2nd ed. Agronomy 9 : 595-624.

Brooks P. C., J. F. Kragt, D. S. Powlson, and Jeabinson D. S. 1985a Chloroform fumigation and the release of soil Biology and Biochemistry in, 831-835.

Choe. Z. R., J. B. Kim and Y. S. Cho. 1998. Practices of sustainable agriculture in Korea with references for the development of sustainable rice production systems. Proceedings Korean Society of Crop Science, Korean Breeding Society Symposium for 50th anniversary Gyeongsang National University : 288-312

Cook, R. J., and Baker, K. F. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. APS. St. Paul, MN. 539pp.

Cook, R. J. 1984. Biological of root pathogens : New technologies and the potential for impact on crop productivity. pp. 206-214. In : Soil borne crop disease in Asia, Food and fertilizer technology center for the Asian and Pacific region, Taiwan, China.

DeDatta, S. K. and P. Nantasomsaran. 1991. Status and prospects of direct seeded rice in tropical Asia. In Direct Seeded Flooded Rice in the Tropics. Selected Papers from the Int. Rice Res Institute Conference. pp. 1-15. P. O. Box 933, Manila, Philippines.

Dhugga, K. S. and J. G. Waines. 1989. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and drum wheat. Crop. Sic. 29 : 1232-1239.

Gamliel, A., and Katan, J. 1992. Chemotaxis of flurescent Pseudomonads towards seed exudates and germinating seeds in solarized soil. Phytopathology 82 : 328-332.

Halverson, L. J., Clayton, M. K., and Handelsmsn, J. 1993. Population biology of *Bacillus cereus* UW85 in the rhizosphere of field-grown soybeans. Soil Biology and Biochemistry 25 : 485-493.

Handelsman, J., and Stabb, E. V. 1996. Biocontrol of soilborne plant pathogens. The Plant cell : 1855-1869.

Hidaka, K., Mineta, T., Takahashi, S. 1996. Experiment of row input sustainable rice cultivation with legumes living mulch and no-tillage, under a condition of no usage of pesticide and fertilizer. ACSA, 362-363.

Ishikawa, M. 1963. Studies in the enhancement of fertilizer effect of Chinese milk vetch as green Manure to paddy rice. Rep. Toyama Agr. Bxp. Sta. 5 : 1-140.

畑中哲哉. 1987. 寒地畑作における耕の意義と効果. 日本農業技術 42(6) : 251-256.

Kang, J. H., and Park, C. S. 1997. Colonization pattern of fluorescent pseudomonads on the cucumber seed and rhizoplane. Korean J. Plant Pathology 13 : 160-166.

김장용, 김태성, 최용조, 최경배, 이유식, 황홍도, 강재태, 김후근. 1989. 어린 모 기계이앙 재배법 구명시험. 경남농촌진흥원 시험 연구 보고서 : 32-43.

Kim, J. W., Choi, O. H., Kang, J. H., Ryu, C. M., Jeong, M. J., Kim, J. W. and Park, C. S. 1998. Tracing of some root colonizing *Pseudomonas* in the rhizosphere using *lux* gene introduction bacteria. Korean J. Plant Pathol. 14 : 13-18.

Kim, J. Y., et al, 1993. Effects on straw management at combine harvest on the physicochemical properties of soil and rice grain yield and yield component technology in Asia 93-104, KSCS, Korea.

Kim, J. Y., K. P. Hong, H. S. Lee., J. K. Ha, and Z. R. Choe. 1993. Effects of straw management at combine harvest on the physicochemical properties of soil and rice grain yield and yield component in no-tillage paddy rice system. Crop Production and Improvement Technology in Asia, KSCS, Korea : 97-104.

金田吉弘. 1991. 低濕重粘土水田におけるイネの不耕起移植栽培の特徴. 技術と普及.

李殷雄, 趙成岩, 南相用. 1988. 벼品種들의直播栽培와移秧栽培에서의分蘖特性에 관한研究. 農試論文集(農業産學協同篇) 31 : 279-288.

Kirchner-MJ ; Wollum-AG; King-LD. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil-Science-Society-of- America-Journal*, 1993. 57(5) : 1289-1295.

Klopper, J. W., and Beauchamp, C. J. 1992. A review of issues related to measuring colonization of plant roots by bacteria. *Can. J. Microbiol.* 38 : 1219-1232.

Klopper, J. W., Schroth, M. N., and Miller, T. D. 1980. Effects of rhizosphere colonization by plant-growth promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Phytopathol.* 70 : 1078-1082.

Lal, R. 1985. A soil suitability guide for different tillage systems in the tropics. *Adv. Agron. Soil and Till. Res.* 5 : 179-196.

Lee, H. J., 1998. Consequence and reflection of high-input and high-yield technology in rice Culture. *Proceedings Korean Society of Crop Science, Korean Breeding Society Symposium for 50th anniversary Gyeongsang National University* : 210-232.

이 인, 김희권, 윤봉기, 김병호, 김용웅. 1997. 벼 재배지에서 1회 파종한 자운영의 지속적 이용에 관한 연구. *전라남도 농촌진흥원 시험연구 사업보고서*. p.613-620.

李英烈. 1986. 논 耕耘方法別 所要에너지와 벼 收量에 관한 研究. *圓光大學校 博士學位論文*. P.52.

林善旭. 1993. 土壤微生物과 土壤健全性. 環境保全型 農業을 위한 土壤管理 심포지엄 : 83-91.

Mew, T. W. 1997. Managing microbial diversity for rice disease control. in *Advances in Biological Control of Plant Diseases*. 341-346. China Agricultural Press, Beijing, China.

문병주, R. W. Schneider, 박현철. 1996. 벼 답수직파재배에서 *Pythium arrhenomanes*에 의한 벼모썩음병의 생물학적 방제. *Korean J. Pathol.* 12(4) : 407-414.

Park, C. S., Paultz, T. C., and Baker, R. 1988. Biocontrol of *Fusarium* wilt of cucumber resulting from interaction between *Pseudomonas*

putida and nonpathogenic isolates of *Fusarium oxysporum*. *Phytopathol.* 78 : 190-194.

Rovira, A. D. 1956. A study of development of the root surface microflora during the initial stages of plant growth. *J. Appl. Bacteriol.* 19 : 72-79.

Ryu, Choong-min and Park, Chang seuk. 1997. Enhancement of plant growth induced by endospore forming PGPR strain, *Bacillus polymyxa* E681 Growth. In *Plant Growth Promoting Rhizobacteria present status and future prospects* 209-211. Proceedings of the Fourth International Workshop on Plant on Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Japan-OECD joint Workshop.

Ryu, C. M. 1998. Nature of root colonizing *Bacillus polymyxa* E681 and its effects on the growth of barley and sesame. Ms. D. Thesis. Gyeong sang National Uni. Korea.

水本順敏, 中根健, 小泉滿. 1989. 湛水土壌中直播栽培における出芽・苗立ちの安定と省力施肥法. 關東東海農業試験研究推進會蔵水田農業技術部會議資料.

Thomashow, L. S., and Weller, D. M. 1995. Current concepts in the use of introduced bacteria for biological disease control : mechanisms and antifungal metabolites. Pages 187-235 in : *Plant-microbe Interactions*. G. Stacey and M. T. Keen, eds International Thomson Publishing, New York.

Thomashow, L. S., and Weller, D. M. 1988. Role of a phenazine antibiotic from *Pseudomonas fluorescens* in biological control of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *J. Bacteriol.* 170 : 3499-3508.

Weller, D. M. 1988. Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Annu. Rev. Phytopathology* 26 : 379-407.

제 3 장 벼-맥류 무경운 직파재배 체계에서 유용미생물의 활용

제 1 절 서론

수도작은 우리 농업의 근간으로서 농지의 61%가 쌀 생산에 이용되고 있으며, 농가의 대부분이 수도작 경영에 종사하고 있다. 또한 수도작은 담수라는 물 이용상의 특성으로 환경보전적 농업일 뿐만 아니라 국민의 주식을 생산하는 산업으로 쌀농업 발전을 위한 지속적인 연구·개발이 필요하다.

최근 우리나라의 농업은 국가산업의 공업화전략에 따라 농촌노동력의 도시유출에 의한 노동력의 급격한 감소와 질적 저하, 그리고 임금상승 등으로 매우 어려운 실정에 놓여 있다. 현 영농비용에서 가장 큰 부분을 차지하는 것이 토지용역비로서 43%, 그 다음이 인건비로서 27%를 차지하고 있다. 쌀 생산비에서 가장 큰 투입요인인 인건비는 앞으로도 계속 늘어날 것으로 예상되어 앞으로의 벼농사에서 인력을 감소시키는 생력화 영농법이 확립되어야 한다.

현재 우리나라에서의 벼 직파재배는 옥묘와 이앙작업의 생략으로 노동력을 증묘 이앙재배보다 30%정도 절약할 수 있는 획기적인 생력화 저비용 생산 기술로 개발되고 있다. 이러한 직파재배는 파종 후 입모율과 초기 생장이 매우 중요하다. 직파재배는 그 특수성으로 초기 입모율과 초기 생장이 해결되지 않으면 보파와 잡초와의 경합이 생기는 문제점을 가진다. 초기의 입모율 확보에 영향을 주는 요인으로는 여러 물리적인 요인과 함께 유해한 미생물의 작용이 영향을 미친다.

본 연구의 목적은 벼 건답직파 재배체계에서 문제시되고 있는 입모율의 확보와 초기생육의 부진을 해결하고자 유용미생물을 종자처리하여 유묘기 생육의 촉진, 수량과 수량 구성요소에 미치는 영향을 검토하여 건답 직파재배체계 확립을 위한 기초자료를 얻고자 실시하였다.

제 2 절 연구내용 및 방법

1. 토양 조건(토성)별 벼 생육촉진 미생물 기능평가

본시험은 경상대학교 농과대학 pot 시험장에서 1/2000a pot를 사용하여 수행되었다. 토양은 서부경남 일대에 넓게 분포하는 토양을 선정하여 현지에서 pot에 채워 사용하였다.

종자처리 방법은 미생물 균주를 증류수에 희석하여 침종 하였다. 이때 미생물의 밀도는 10^8 cfu/l 가 되도록 하고 침종 시간은 5시간 침종 온도는 실온으로 하였다. 침종 후 종자는 통풍이 잘되는 실내에서 3시간 정도 건조 후 pot에 파종하였다.

공시 토양통은 단성통 시레통 감곡통 비곡통 서산 간척지 토양이다.

- 1) 단성통 : 식양질계, 적황색토, fine loamy, mesic family of Typic Dystrochrept
- 2) 시레통 : 식질계 적황색토, fine mesic family of Typic Hapludalfs
- 3) 감곡통 : 식양질계 퇴적토, fine loamy, mixed, mesic family of Fluventic Dystrochrepts
- 4) 비곡통 : 식양질계, 적황색토, fine loamy, mixed, mesic family

of Aquic Dystrochrepts

5) 서 산 : 인공적으로 만들어진 간척지 토양

공시미생물은 H210, 88-7-2, B16, 4-10을 처리하였다.

H210 : *Paenibacillus polymyxa* H210, 보리의 근권에서 분리한 그람 양성 혐기성 세균이다. 주요 토양 병균에 강한 길항 효과를 나타내고 근권 정착능력이 우수하다.

88-2-7 : *Paenibacillus polymyxa* 88-2-7, 보리의 근권에서 분리한 그람 양성 혐기성 세균이다. 주요 토양 병균에 강한 길항효과를 나타내고 근권 정착 능력이 우수하다.

B16 : *Pseudomonas fluorescens* B16, 초본의 뿌리에서 분리한 그람 음성 호기성 세균이다. 근권 정착능이 우수하며 생장 촉진 효과가 있다.

4-10 : *Pseudomonas putida* 4-10, 보리의 근권에서 분리한 그람 음성 호기성 세균이다. 항진균성 물질을 분비하며 근권 정착능력이 우수하다.

Pot는 파종5일 전에 담수하여 일반 포장 상태에 가깝도록 만들었다. 파종량은 pot당 100립씩 7월 13일에 파종하였다. 시비량은 N-PO₅-K₂O, 5.5-7-4 kg/10a로 환산하여 전량 기비로 주었다. 파종 후 물관리는 점적 관수 장치를 이용하여 표면이 마르지 않도록 관리하였다.

파종후 21일째 입모수와 유모의 초장과 근장을 조사하였고, 14후 생육 조사를 실시하였다. 초장은 줄기의 기부에서 잎의 선단까지 측정하였으며 근장은 줄기의 기부에서 뿌리군의 끝까지 측정하였다. 건물중은 초장과 근장을 조사한 후 80℃에서 48시간 건조시켜 측정하였다.

2. 벼-자운영 무경운 직파재배 체계에서 미생물의 기능평가

본 시험은 자운영이 자라는 포장(경상대학교 농과대학 대곡부속농장, 사질답)에서 실시하였다. 유용미생물을 처리한 종자를 자운영 군락속에 파종하였다. 미생물 균주는 앞의 시험과 동일한 종류를 사용했다.

미생물 현탁액에 볏씨를 5시간 침지 후 실온에서 옮긴하여 7kg/10a을 5월 26일 파종하였다. 파종은 손 뿌림으로 건답 직파를 하였으며 조파로 파폭 10cm 휴폭 30cm 였다.

공시품종은 대산벼를 사용하였다. 대산벼의 특징은 직파적용 양질미 품종으로 등록이 되어 있을 뿐 아니라 농가에서 직파재배시 가장 많이 이용되는 품종이라 선택을 하였다. 파종당시 자운영은 꼬투리가 절반정도 완전히 성숙한 상태이며 줄기의 윗쪽은 꼬투리가 아직 여물지 않은 상태이다. 따라서 포장의 답수는 가능한 입모가 완전히 끝난 뒤에 실시하였다.

시비량은 $N-PO_5-K_2O$, 11-7-8 kg/10a으로 시비를 하였다. 질소시비는 기비, 분얼비, 수비를 각각 5:3:2로 분시 하였고 인산은 전량 기비로 주었으며, 칼리를 기비와 수비를 5:5 로 나누어주었다. 기타 다른 재배관리는 진흥청 표준재배법에 따랐다.

입모는 파종후 21일에 조사하였다. 무경운 포장에서 수분의 부족으로 발아 및 입모가 늦어져서 입모 조사시기를 늦추었다. 생육조사는 초장, 분얼수를 측정하였다. 수확후 수량 및 수량구성요소를 조사하였다.

파종후 건조에 의한 수분스트레스 시험은 유용미생물의 벼 종자 처리 및 파종량과 파종방법은 벼-자운영 무경운 직파와 동일한 방법으로 하였다.

시험 설계는 관개과 무관개를 주구로 피복과 무피복을 세구로 나누어 3 반복으로 실시하였다.

유용미생물의 밀도는 파종후 21일부터 37일까지 조사하였다. 미생물 조사방법은 벼의 뿌리를 채취하여 토양을 살짝 털어내고 뿌리를 잘라 살균수 1ml에 갈아 희석하여 선택성 배지에 접종, 배양하여 조사한다.

제초제 사용 시험은 건조 수분스트레스와 같은 방법으로 종자를 파종하고 기작이 서로 다른 두가지 제초제를 살포하였다. 미생물의 밀도 조사는 앞의 방법과 동일하게 하였다.

3. 맥류와 벼의 최적 2모작 재배조합 규명

본 시험은 경남농업기술원 답작포장(청원통)에서 수행하였다. 포장은 보리수확 후 최소경운(표면만 로타리작업) 을 실시하였다.

종자 처리는 앞의 방법과 동일하게 실시하였으며 공시품종은 금오벼2호와 동진벼를 사용하였다. 금오벼2호는 만식재배에 적합한 품종이며 동진벼는 양질미며 직파적응성이 높은 품종이다.

미생물 균주는 경운과 무경운에서 미생물의 효과를 검정하기 위해 벼-자운영 무경운 직파에 사용된 동일한 균주를 사용하였다.

파종량과 파종방법은 벼-자운영 무경운재배와 동일하게 하였으며 경운 조건에서는 토중직파를 하였다. 파종일은 6월 10일로 전년도 자운영포장보다 2주정도 늦게 파종하였다.

물관리는 입모가 된 후 담수하여 이앙재배와 같은 방법으로 하였다. 잡초방제는 입모 후 선택성 제초제(손노리)를 사용하여 방제를 하였다. 이외의 재배관리는 농촌진흥청의 표준재배법에 따랐다.

입모수는 파종후 21일에 활착한 개체만 조사하였으며, 건물중은 sample을 채취하여 80℃에서 48시간 건조하여 조사하였다.

엽색도는 엽색도계 (SPAD502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다. 엽색의 측정위치는 완전히 전개된 최상의 엽의 끝에서 2/3과 3/4 사이에서 측정하였다.

엽면적 지수는 엽면적 측정기 (LAI2000, LI-COR, USA)를 사용하여 측정하였다.

질소함량은 Kjeldhal 분석법으로 분석하였다. 시료 150mg을 Kjeldhal 플라스크에 농황산8ml과 촉매제 황산염 분말 1g을 넣고 380℃에서 분해 (Tecator 2020 Digestor)하여 증류장치(Tecator 1002 Distilling Unit.)에서 증류하여 0.01N 의 황산용액으로 적정하였다.

근활력은 α -naphthyl amine 방법으로 근활력을 측정하였다. 근활력은 뿌리가 상하지 않게 흐르는 물에 세척 후 뿌리(2g)를 잘라 α -naphthyl amine 용액 50ml에 넣고 4시간 동안 반응을 시켜 분광광도계 (Spectronic 20 Genesys, USA)에서 510nm로 측정하였다.

근활력은 다음식에 따라 계산하였다.

$$N = [(최초의 시료 검출액 중의 \alpha\text{-naphthyl amine 산화량} \mu\text{g} \times 25) - \\ (\text{반응 후 시료 검출액 중의 } \alpha\text{-naphthyl amine 산화량} \mu\text{g} \times 25)] - \\ [(최초 \text{ blank 검출액 중의 } \alpha\text{-naphthyl amine 산화량} \mu\text{g} \times 25) - \\ (\text{반응 후 blank 검출액 중의 } \alpha\text{-naphthyl amine 산화량} \mu\text{g} \times 25)]$$

$$\text{근활력} = N(\mu\text{g}) / [\text{뿌리량(건물 g)} \times \text{반응시간(h)}]$$

뿌리 1g에 대한 시간당 α -naphthyl amine 산화량(N)으로 근활력을 표시하였다.

맥류의 미생물 균주 접종은 벼에서 사용된 방법과 동일한 방법을 사용하였다. 맥류품종은 오월보리 진양보리 올그루밀이 사용되었다.

맥류파종은 벼 수확 후 10월 27일 15kg/10a을 파폭 10cm 휴폭 30cm로 파종하였다.

시비는 기비는 복합 21-17-18 20kg/10a, 월동후 요소 10kg/10a을 살포하였다.

입모수는 벼와 동일하게 파종후 21일에 조사하였다. 최고 분얼수는 4월부터 3일 간격으로 분얼수가 증가하지 않을 때까지 조사하였다. 수량 및 수량 구성요소는 수확후 조사하였다.

4. 벼-맥류 품종 조합에 의한 안정적 2모작 재배체계 개발

경남기술원 포장(청원통)을 임대하여 보리 종자를 선발된 미생물 E681, B16로 앞의 시험과 동일한 방법으로 처리하여 11월 4일 파종하였다. 파종량은 15kg/10a, 파종방법은 손으로 줄뿌림을 하였다. 파폭 10cm, 휴폭 40cm 로 파종후 복토 하였다.

시비는 유기물 40포(20kg/포, 남해화학)/10a를 파종 전에 살포하고 이듬해 2월 27일 요소 10kg/10a을 추비로 살포하였다.

입모수는 파종후 21일에, 월동율은 이듬해 추비 시기에 조사하고 수확기에 수량을 조사 하였다.

벼는 B16과 H210을 금오벼 2호에 종자 처리하여 최소경운 직파재배와 같은 방법으로 파종하였다. 시비량은 N-PO₅-K₂O, 6-5.5-4 kg/10a으로 표준시비량 보다 적게 주었다. 기비와 분얼비는 사용하고 생육후기의 미생물의 효과를 알아보기 위해 수비는 사용하지 않았다.

입모수를 조사하고 출수 20일 후 도복저항성을 측정하고 수량 및 수량 구성요소를 측정하였다

5. 뿌리 발육 향상과 도복방지 기술개발

도복저항성은 출수 20일경에 지상에서 30cm 위치에 벼의 줄기를 경사가 30° 까지 기울도록 힘을 가하여 측정하였다. 밀어서 측정할 수 있는 도구를 대신해서 반대로 당기는 용수철 저울을 사용하였다. 이렇게 도복 저항성을 측정하고 줄기를 잘라 지상 10cm의 줄기 내경과 외경을 버니어캘리퍼스로 측정하였다.

6. 간척지에서 미생물처리효과 검증

본 시험은 간척지(사천시 서포면)에서 유용미생물의 기능을 평가하고자 1999년 6월 18일, 2000년 5월 5일, 간척지에 담수 직파를 하였다. 이때 사용된 미생물 균주는 앞서 언급한 4가지 균주를 사용했다. 종자처리 및 파종방법은 앞의 시험들과 동일한 방법으로 하였으며 상시담수조건을 취하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 토양 조건(토성)별 벼 생육촉진 미생물의 효과

가. 입모율

토양통별 미생물 균주 처리에 의한 입모율에서는 토양통별 미생물의 유용성이 큰 차이를 보였다(fig 1). 토양통별로 시례통은 H210과 B16이 비곡통은 H210, B16이 단성통은 88-7-2, B16과 4-10이 감곡통은 H210과 88-7-2가 간척지

토양인 선산은 H210, B16과 4-10가 무처리에 비해 밀모수가 많았다. 미생물 별로는 B16 처리가 입모율이 가장 높았고 H210은 단성토를 제외하고는 모든 토양에서 고른입모를 보였다. 그리고 88-7-2과 4-10은 토성별로 입모율의 변이가 심하게 나타나서 별로 안정적이지 못했고 토성에 따라 미생물처리의 효과가 다르게 나타난 것은 토양속에 들어 있는 미생물과 외부에서 도입된 미생물과 서로 상보적인 관계 때문으로 사료된다. 따라서 미생물 선발에 가장 중요한 것은 기존의 미생물과 외부에서 투입된 미생물과의 관계에서 서로 보완적이거나 최소한 외부에서 투입된 미생물이 기존의 미생물에 영향을 받지 않고 안정적이어야 한다. 그런 점에서 미생물 B16과 H210은 입모율에서 다른 미생물에 비해 상당히 안정적임 것으로 사료된다.

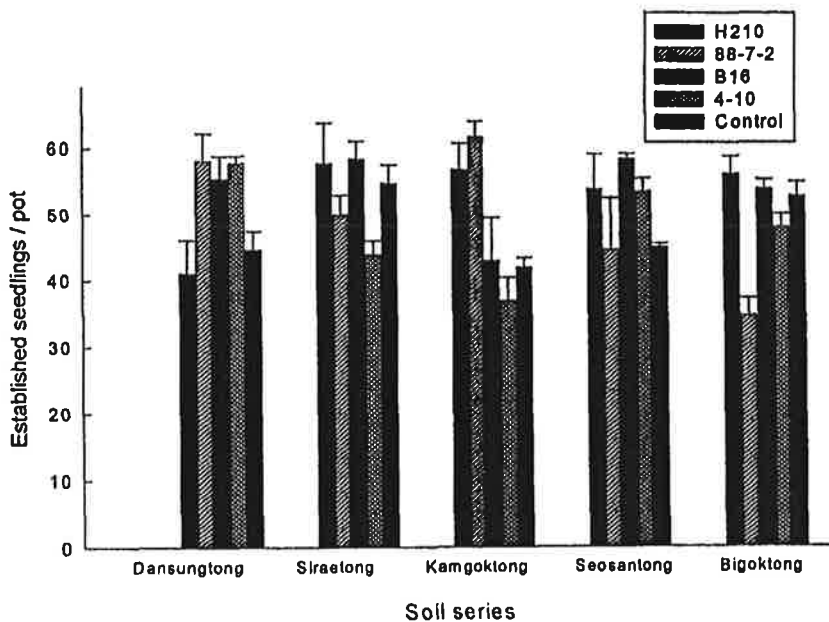


Figure 1. Effects of seed treatment of beneficial bacteria on establishment of rice in different type of soil texture.

다음 table 1은 토양통별 유용미생물의 처리에 따른 초장, 근장 및 건물중의 변화를 나타낸 것이다.

초장, 근장 그리고 건물중에서 토양통 x 미생물의 상호작용은 유의적인 차이가 없었다. 따라서 각각의 토양통에 특이적으로 효과적인 미생물은 없었다.

토양통별 초장은 단성통과 감곡통이 컸다. 미생물 처리간은 단성통의 경우 H210, 88-7-2 및 B16 처리구가 초장이 컸다. 시레통과 감곡통은 H210 및 B16 처리구의 초장이 컸으며 비곡통은 B16 처리구가 컸다. 토양통별 처리는 미생물 처리구중 B16 처리구가 공통적으로 초장이 컸다. 초장은 미생물의 처리에 따른 고도의 유의성이 인정되었다.

토양통별 근장은 단성통과 시레통이 길었다. 미생물 처리간은 단성통의 경우 88-7-2 처리구가 근장이 컸다. 토양통별 처리는 미생물 처리구중 88-7-2 처리구가 공통적으로 근장이 길었다. 근장의 경우는 8월 4일 조사한 결과 미생물의 처리에 따른 유의성이 인정되지 않았지만 8월 18일은 고도의 유의적인 차이가 인정되었다. 토양통별 건물중은 단성통과 감곡통이 무거웠다. 미생물 처리간은 단성통의 경우 88-7-2와 B16 처리구가 건물중이 무거웠다. 시레통은 H210과 88-7-2 처리구의 건물중이 무거웠다. 감곡통과 비곡통은 H210 처리구의 건물중이 무거웠다. 토양통별 처리는 미생물 처리구중 단성통을 제외한 다른 통들은 H210 처리구가 건물중이 무거웠다. 건물중은 8월 4일의 경우 고도의 유의적인 차이가 인정되었다.

이상의 결과는 초장의 경우 미생물의 효과가 파종 후 21일 이후부터 근장은 8월 18일 즉 파종 후 35일부터 미생물의 효과가 인정된다고 할 수 있다. 따라서 근권미생물이므로 입모 후 뿌리로 영양을 흡수하면서 미생물이 기능을 한다고 판단할 수 있다.

2. 벼-자운영 무경운 직파재배 체계에서 미생물의 활용

가. 입모율

Fig. 2. 는 무경운 자운영포장의 입모수를 나타낸 것이다. 무처리와 H210, B16, 4-10은 입모수에서 차이가 나지 않았지만 88-7-2는 다른 미생물 군주에 비해 입모수가 적었다. 입모조사는 파종후 21일째 조사를 하였는데 입모 조사 후 늦게 까지 발아하여 입모가 되는 것을 관찰 할 수 있었다. 그 이유는 미생물로 코팅이 되어 종자의 수분 흡수가 지연되어 발아가 늦어지는 것으로 사료된다. 앞의 결과에서도 알 수 있듯이 초기 발아는 미생물 처리가 늦게 되지만 생육 중·후기에는 미생물 처리구의 생육이 무처리구 보다 좋았다. 그래서 무경운 자운영 포장의 시험에서도 입모 조사 당일에 입모수는 무처리구가 다른 미생물 처리보다 조금 높게 나타났다. 자운영포장의 미생물 처리 효과가 입모에서 나타나지 않았다. 하지만 미생물 처리구와 무처리구의 단위면적당 입모수는 충분히 확보 한 것으로 판단된다.

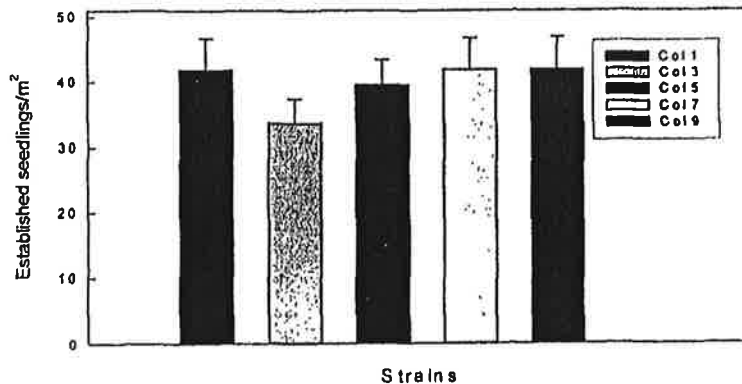


Fig. 2 Numbers of established seedlings as affected by seed treatment of bacterial strains in direct-sown rice-vech cropping systems. Vertical bars indicate mean \pm S.E.

Table 1. Effects of seed treatment of beneficial bacteria on plant height, root length and dry weight in different soil series

	Strain	Plant height		Root length		Dry weight	
		4 Aug.	18 Aug.	4 Aug.	18 Aug.	4 Aug.	18 Aug.
		cm				mg/plant	
Dangsungtong	H210	37.5	51.0	11.5	17.5	91.3	915
	88-7-2	38.4	50.4	12.1	23.2	134.6	1156
	B16	37.0	46.7	11.4	18.7	102.8	1050
	4-10	37.9	43.1	8.6	17.9	95.0	947
	Check	34.5	43.2	12.2	14.2	109.5	1097
	Mean	37.0	46.9	11.1	18.3	106.6	1033
Siraetong	H210	37.1	43.3	10.1	21.1	114.1	870
	88-7-2	36.0	45.7	10.8	20.2	106.3	982
	B16	38.1	47.4	13.1	19.0	104.4	761
	4-10	34.7	41.1	11.2	19.3	91.0	604
	Check	31.6	42.0	11.1	15.5	82.8	960
	Mean	35.5	43.9	11.2	19.0	99.7	835
Kamgoktong	H210	39.7	42.7	12.2	18.6	124.0	743
	88-7-2	37.6	44.6	11.0	17.4	96.6	858
	B16	40.4	46.9	13.5	17.0	97.4	960
	4-10	35.5	42.6	9.6	17.9	86.6	706
	Check	36.5	39.2	11.5	15.8	119.9	985
	Mean	37.9	43.9	11.8	17.3	104.9	850
Bigoktong	H210	33.0	43.1	10.1	16.3	87.5	619
	88-7-2	34.1	44.0	10.5	17.4	66.8	726
	B16	36.0	46.9	11.8	14.4	70.0	809
	4-10	35.3	43.1	11.4	16.7	70.0	705
	Check	33.7	41.2	11.6	15.2	62.1	661
	Mean	34.4	43.6	11.0	16.0	71.2	704
Soil series		*	**	**	**	ns	ns
Strain		**	*	ns	**	**	**
Soil series x Strain		ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns, not significant; *, **, significant at the 0.05 and 0.01 probability, respectively.

나. 생육

유용미생물의 종자 처리에 따른 초장의 변화는 Fig. 3과 같다. 초기 유모기의 초장은 미생물 처리간에 거의 비슷한 값을 나타내었다. 이것은 앞의 연구 결과에서 나타냈듯이 품종 적인 특성이 다른 처리보다 영향을 많이 받기 때문이다. 생육중기와 후기에는 조금씩 차이가 났지만 역시 유의 수준이 인정 될 정도는 아니다. 수잉기의 초장이 80cm 전후로 관행재배에 비해 초장이 적은 편이다.

직파재배에서 초장이 적은 것은 생육 후기에 도복과도 관계되므로 매우 중요한 인자로 작용할 수 있다. 따라서 직파재배에 적합한 조건은 조기 생장을 촉진시켜 잡초와의 경합에 유리하게 하고 생육 후기에는 길이 생장보다는 건물중을 증가시켜 식물체를 튼튼하게 하는 것이다.

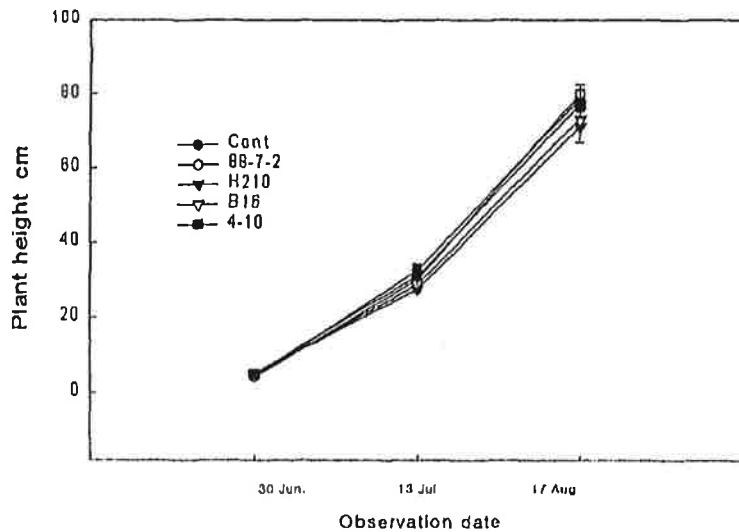


Fig. 3. Changes in plant height of rice as affected by seed treatment of bacterial strains. Vertical bar indicates \pm SE.

Fig. 4는 단위면적당 입모수에서 분얼수 변화를 나타낸 것이다. 초기 입모율은 거의 차이가 없었지만 생육중기의 분얼수는 H210과 88-7-2 미생물 처리구가 다른 처리구에 비해 낮게 나타났다. 하지만 수잉기의 분얼수는 미생물 처리간에 차이가 없었다. 생육중기에 분얼수가 낮았던 H210은 생육후기에 가장 높게 나타났다.

이것은 H210의 활동이 생육초기가 아닌 후기에 왕성하게 일어난 것으로 사료된다.

다. 수량 및 수량구성요소

벼-자운영 무경운 직파재배 체계에서 수량 및 수량구성요소를 살펴보면 초기 입모수는 충분히 확보하였지만 일반 관행재배에 비해 수량이 크게 감소하였는데 그 원인을 수량구성요소에서 살펴보면 단위면적당 이삭수가 크게 떨어진다(table 2). 여기에 대한 원인은 생육초기 잡초와의 경쟁에서 벼가 불리했기 때문에 단위면적당 이삭수가 많이 줄었다. 종자에 미생물 처리로 인해 입모 초기 제초제 처리를 할 수 없어서 제조제로 잡초 방제를 할 수 있는 시기를 놓쳤다. 사람이 직접 손으로 제조작업이 가능하지만 그렇게 하면 많은 인건비의 비용이 증가하여 생산비가 증가하게 된다. 그렇게 되면 본 연구의 목적이 사라지게 되므로 잡초 방제를 위해 다른 시험을 하게 되었다. 무경운에서 가장 효과적인 방제 적기는 파종직후 제초제 처리이다. 그래서 파종 직후 제초제 처리가 유용미생물에 미치는 영향을 평가하였다. 그 결과 초기 제초제 처리가 종자의 미생물에는 아무런 영향이 없는 것으로 판명되어 직파재배에서 유용미생물의 효과를 한층 더 기대 할 수 있을 것으로 사료된다.

위의 시험으로 무경운직파에 대해 안정적인 미생물은 H210과 B16을 선발하였다. 나머지 미생물은 조건에 따라 변이가 심하고 불안정하여 계속 사용하기에는 무리가 있다고 판단된다.

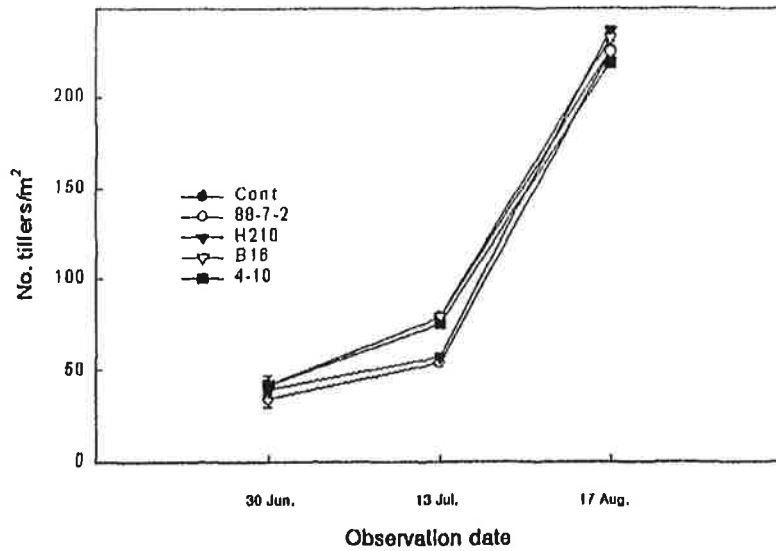


Fig. 4. Changes in tillering numbers of rice as affected by seed treatment of bacterial strains. Vertical bar indicates \pm SE.

Table 2. Effects of seed treatment of beneficial bacteria on yield and yield component in direct-sown rice-vech cropping systems. Means \pm S.E.

	Established seedlings/m ²	Panicles/m ²	Spikelets/Panicle	Ripened grain ratio (%)	1000-grain weight (g)	Grain yield (kg/10a)
Cont	41.9 \pm 4.78	170 \pm 9.2	105.0 \pm 5.00	89 \pm 3	23.8 \pm 0.57	361 \pm 23.9
88-07-02	33.7 \pm 3.72	178 \pm 3.8	95.0 \pm 2.35	91 \pm 2	24.7 \pm 0.47	368 \pm 50.6
H210	39.5 \pm 3.90	185 \pm 12.8	111.0 \pm 1.00	90 \pm 1	23.4 \pm 0.33	381 \pm 25.7
B16	41.9 \pm 4.78	190 \pm 4.6	98.0 \pm 2.30	87 \pm 1	25.2 \pm 0.26	392 \pm 16.8
4-10	41.9 \pm 4.93	159 \pm 5.4	102.0 \pm 4.23	91 \pm 1	23.9 \pm 0.17	357 \pm 27.9

라. 근권 미생물

벼-맥류의 2모작 무경운 재배체계에서 포장의 수분관리가 근권미생물의 생존에 어떤 영향을 미치는지 시험을 수행한 결과는 표 3과 같다. 본 시험의 근본 목적은 무경운 직파 후 건조한 날씨가 계속 이어져 종자의 발아 및 입모가 지연될 경우 종자 내 유용미생물의 생존 여부를 평가하기 위해서이다. 종자에 접종된 미생물은 포장의 수분 조건이나 전작물의 피복과는 별다른 영향을 받지 않고 일정 수 이상의 밀도를 유지하였고 이 밀도는 벼의 생육에 충분히 영향을 미칠 수 있는 수치로 판명된다. 작물 생육에서 입모수는 관수구에 비해 무관수구가 떨어졌으며 초기생육의 정도 역시 떨어지는 경향을 보였다. 이것은 발아초기의 수분부족에 의한 것으로 판명된다.

현재 농업에서 잡초방제를 위한 제초제의 사용은 필수적이다. 특히 벼 직파재배에서는 제초제의 사용량이 점점 증가하고 있으며 이런 관계로 미생물 처리된 종자 파종 후 제초제의 사용이 미생물에 영향을 미치는가를 확인하기 위해 본시험을 수행하였다. 시험수행의 결과는 table 4와 같다.

Table 3. Population densities of bacteria colonized on the rice root after seed treatment (CFU/g)

Irrigation	Mulching	Strain	Days after sowing		
			21	29	37
Irrigation	Non-mulching	B16	2.03×10^4	2.5×10^3	2×10^2
		H210	2.5×10^4	2.4×10^3	8×10^2
	Mulching	B16	6.22×10^4	5×10^2	3.8×10^3
		H210	3.23×10^4	9×10^2	1×10^2
Non-Irrigation	Non-mulching	B16	3.09×10^4	1.8×10^3	2.5×10^1
		H210	4.26×10^4	3.8×10^3	2×10^2
	Mulching	B16	1.66×10^4	2.1×10^3	2.3×10^1
		H210	8.4×10^4	3.2×10^3	2×10^2

미생물은 H210, B16이 사용되었으며 제초제는 가장 많이 사용되는 침투 이행형인 근사미와 경엽처리제인 벤타존을 사용하였다. 세 처리구의 입모율은 유의적인 차이가 인정되지 않았지만 대조구가 다른 구에 비해 낮게 나타났다. 그 이유는 입모 초기 대조구와 잡초의 경합 때문인 것으로 판단된다. 미생물별 입모수는 차이가 없었다. 근권의 미생물 밀도에서는 모든 시험구에서 차이가 인정되지 않았다. 따라서 유용미생물을 사용한 벼 직파 재배에서 제초제를 사용해도 미생물에 아무런 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며, 파종 후 제초제 처리를 하면 잡초와의 경합관계에서 우위를 점하여 오히려 입모율이 증가하는 것으로 나타났다.

3. 맥류와 벼의 최적 2모작 작부체계에서 미생물의 활용

가. 입모율

품종별 미생물 균주에 의한 차이는 인정되지 않았지만 두 품종간에는 유의적인 차이를 보였다(fig. 5). 품종간 입모수는 금오벼2호 보다 동진벼가 높았으며, 금호벼2 호의 미생물 처리는 H210, B16과 4-10이 무처리 보다 높게 나타났으며 88-7-2는 무처리와 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 4-10의 미생물 균주는 앞의 pot 시험에서 와 같이 반복간의 변이가 심하게 나타났다. 비록 평균적인 입모수는 많았지만 실증시험에 적용하기에는 불안한 점이 있다. 동진벼는 미생물 균주 처리와 무처리간에 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 동진벼와 금오벼2호의 미생물에 의한 입모율의 효과는 금오벼2호가 좋았다. 동진벼는 양질미 직파적용 품종으로 대체로 환경적응 폭이 넓어 입모가 잘되는 품종이지만 금오벼2호는 환경 적응변이가 적어 미생물의 반응에 효과를 보인 것으로 사료된다.

Table 4. Effect of bacterial seed treatment on the seedling establishment of rice and colonizing cell densities on the roots in the condition of different herbicide application

Type of Herbicide	Bacterial strain	Established seedlings/m ²	Root colonized cell density
Systemic Herbicide	B16	118±21.8	2.67×10 ⁴
	H210	130±35.4	1.47×10 ⁵
	CK	120±35	
Direct contact Herbicide	B16	123±17.4	1.77×10 ⁵
	H210	155±11.5	2.2×10 ⁵
	CK	146±19.2	
Control	B16	105±15.3	1.6×10 ⁴
	H210	100±2.9	1.8×10 ⁴
	CK	120±23.6	

나. 생육

생육시기별, 부위별 도체내 질소 함량(Table 5)에서 유묘기 상태에서 금오벼2호는 H210 균주 처리구에서 가장 높게 나타났지만 다른 미생물 처리구와의 유의성은 인정되지 않았다.

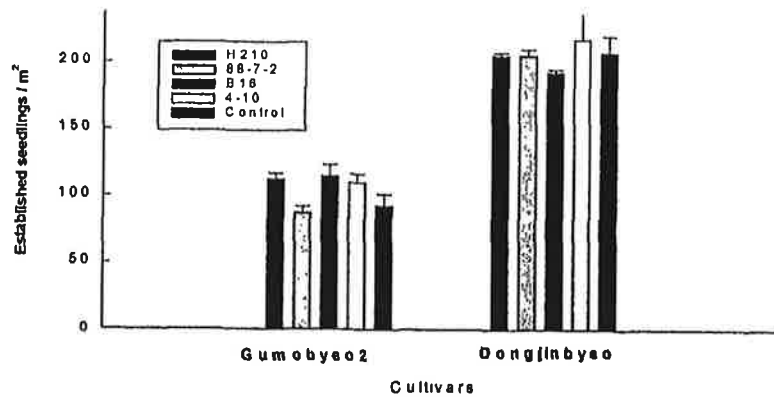


Figure 5. Numbers of established seedlings as affected by seed treatment of bacterial strains in direct-sown rice. Vertical bars indicate mean \pm S.E.

Table 5. Nitrogen content in foliage parts of paddy rice at tillering stage and panicle initiation stage. Mean \pm SE

Cultivars	strain	Tillering stage		Panicle initiation stage	
		shoot (%)	leaf blade (%)	culm (%)	leaf+culm (%)
Gumho byeo2	H210	3.0 \pm 0.15	3.5 \pm 0.17	1.4 \pm 0.20	4.9
	88-7-2	2.8 \pm 0.26	3.5 \pm 0.14	1.5 \pm 0.10	5.0
	B16	2.7 \pm 0.10	3.3 \pm 0.10	1.4 \pm 0.03	4.6
	4-10	2.8 \pm 0.13	3.3 \pm 0.23	1.5 \pm 0.21	4.8
	Control	3.0 \pm 0.06	3.3 \pm 0.19	1.4 \pm 0.14	4.7
Dongjin byeo	H210	2.6 \pm 0.02	2.9 \pm 0.15	1.1 \pm 0.10	4.1
	88-7-2	2.5 \pm 0.08	2.7 \pm 0.12	1.1 \pm 0.03	3.7
	B16	2.1 \pm 0.06	2.9 \pm 0.17	1.3 \pm 0.16	4.2
	4-10	2.6 \pm 0.38	2.9 \pm 0.26	1.2 \pm 0.12	4.1
	Control	2.4 \pm 0.12	3.0 \pm 0.18	1.3 \pm 0.14	4.3

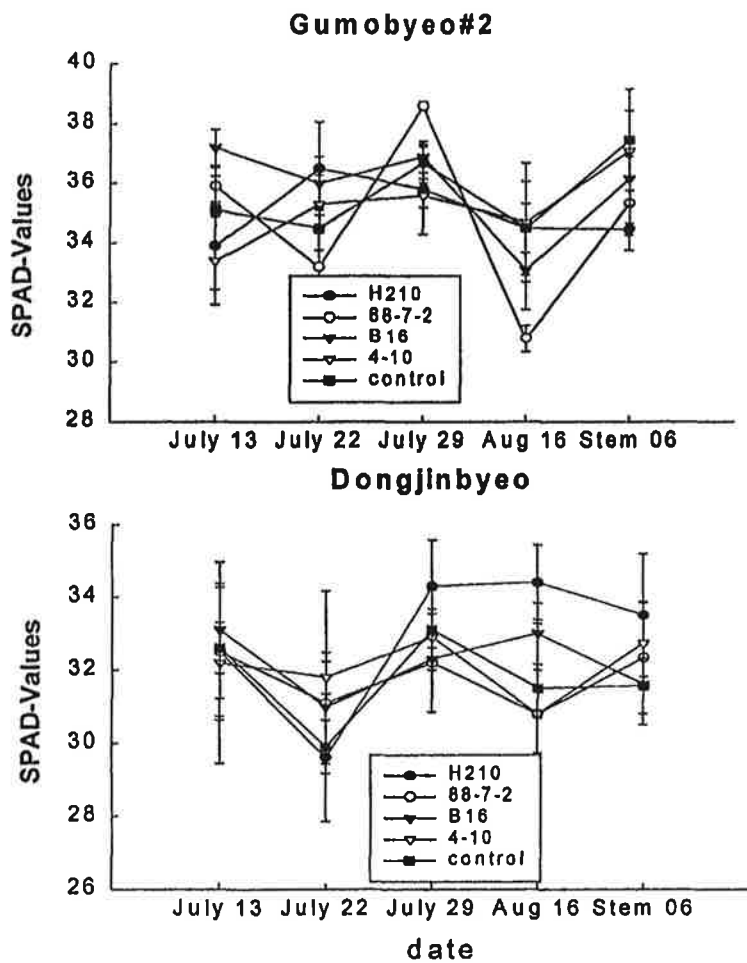


Fig. 6. Changes of chlorophyll contents in the top fully expanded leaves of tillering stage rice with response of microbial treatment.

동진벼에서는 B16 미생물 균주 처리구가 가장 낮았고, H210과 4-10이 가장 높았지만 처리간의 유의성은 인정되지 않았다. 유수형성기 도체내 질소 함량에서 대체로 3% 정도가 되어야 벼의 영양상태가 양호하다고 한다. 그런 의미에서 금오벼2호는 3%가 약간 넘었고 동진벼는 88-2-7 미생물 균주 처리구가 다른 처리구에 비해 낮게 나타났다. 반면 금오벼2호에서는 88-7-2 미생물 균주 처리구가 다른 처리구에 비해 높게 나타났다. 동진벼의 유수형성기 도체내 질소함량은 미생물 처리구 보다 무처리구에서 가장 높게 나타났으나 통계적인 유의차는 인정되지 않았다.

미생물 처리에 따른 금오벼2호와 동진벼의 주기별 엽색도 변화(fig. 6)에서 유수형성기 엽색도는 금오벼2호에서 88-7-2 미생물 균주 처리구가 가장 높게 나타났다.

이 결과는 유수형성기의 엽의 질소함량과 일치한다. 따라서 엽색을 측정하여 벼의 생육 중 영양을 진단할 수 있다.

생육후반기 금오벼의 엽색은 미생물의 처리에 따라 다소 차이가 있지만 8월16일 이후 증가하는 경향을 나타내었다. 동진벼에서는 H210 미생물 처리구는 유수형성기부터 8월 16일까지 가장 높은 값을 유지하였고 B16 미생물 처리구는 H210 미생물균주 처리구 보다 높지는 않았지만 엽색도가 감소하지는 않았다. 9월 6일 엽색도는 H210과 B16이 8월 16일에 비해 감소하는 같은 경향을 보였고 다른 미생물처리는 증가하는 경향을 보였다. 생육후기 금오벼 2호와 동진벼의 엽색도는 금오벼2호가 높게 나타났으며 수량(table 6)도 금오벼 2호가 높게 나타나서 금오벼2호가 동진벼 보다 광합성능력이 높은 것으로 사료된다. 동진벼의 출수기 이후(9월 6일) 엽색과 수량(table 6)과 유사한 값을 나타내어 출수 후 엽색과 수량이 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

미생물 처리에 따른 초장의 변화(figure 7)에서는 품종간 미생물 처리

간에 전혀 차이가 없는 것으로 나타났다.

엽면적 변화 (fig. 8)에서 품종간 미생물 처리간에 차이를 보였다. 금오벼2호에서는 생육후반기 엽면적에서 미생물처리구가 무처리구 보다 낮게 나타났다. 특히 4-10 미생물 균주 처리구가 가장 낮았다. 동진벼에서는 후반기 엽면적에서 미생물 처리구가 무처리구 보다 높게 나타났으며 무처리구와 4-10 미생물 처리구에서는 하위엽의 고사로 인한 엽면적이 감소하는 경향을 보였다.

Table 6. Effects of seed treatment of beneficial bacteria on yield, yield component and harvest index of Gumobyeco#2 and Dongjinbyeco in direct-sown dry system

Cultivar	Strain	Panicles /m'	Spikelets /Panicle	Ripened grain ratio (%)	1000-grain weight (g)	Grain yield (kg/10a)	Harvest Index
Gumobyeco#2	H210	550.5	133.6	96.1	24.5	532	0.51
	88-7-2	525.6	135.9	95.4	24.3	520	0.53
	B16	521.0	128.1	95.1	24.4	547	0.52
	4-10	613.2	133.2	94.4	24.3	525	0.51
	CK	432.2	121.5	94.9	22.8	523	0.54
	Mean	488	130.4	95.1	24.0	529	0.52
Dongjinbyeco	H210	653.8	76.6	95.0	26.1	472	0.47
	88-7-2	708.5	82.8	95.6	25.6	484	0.44
	B16	514.8	84.2	96.5	26.6	494	0.46
	4-10	734.1	76.3	97.3	26.3	464	0.44
	CK	563.2	76.3	96.8	26.1	476	0.45
	Mean	634	79.2	96.2	26.1	478	0.45
Cultivar		**	**	*	**	**	**
Strain		**	ns	ns	*	ns	ns
Cultivar x Strain		**	ns	ns	ns	ns	ns

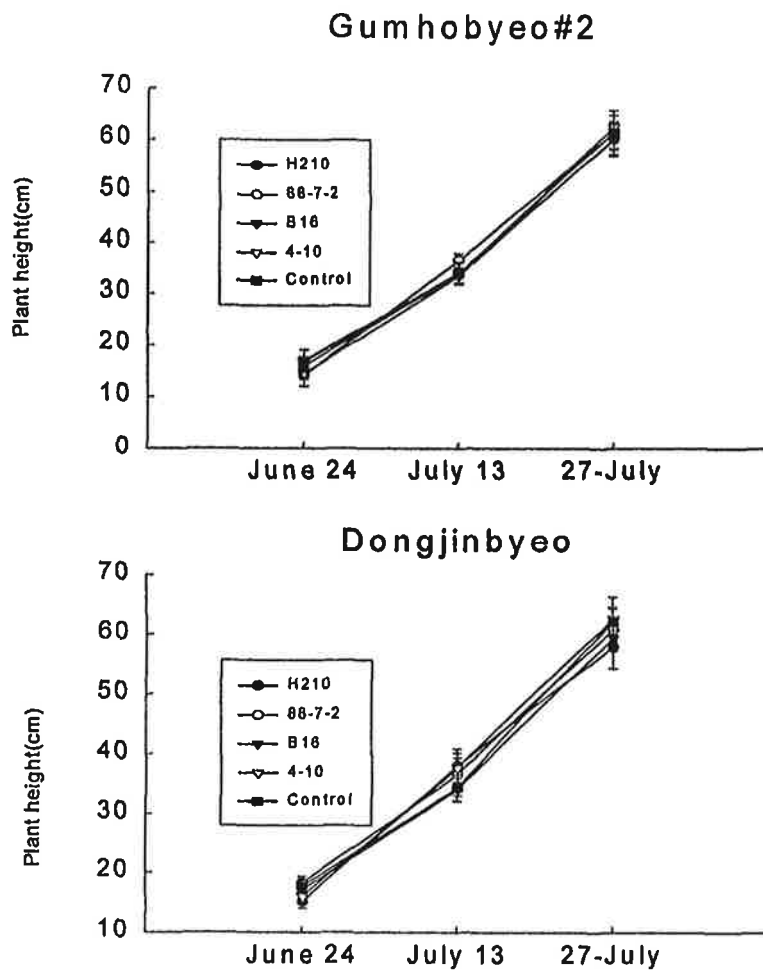


Fig. 7. Changes in plant height as affected by seed treatment of bacterial strains. Vertical bar indicates \pm S.E.

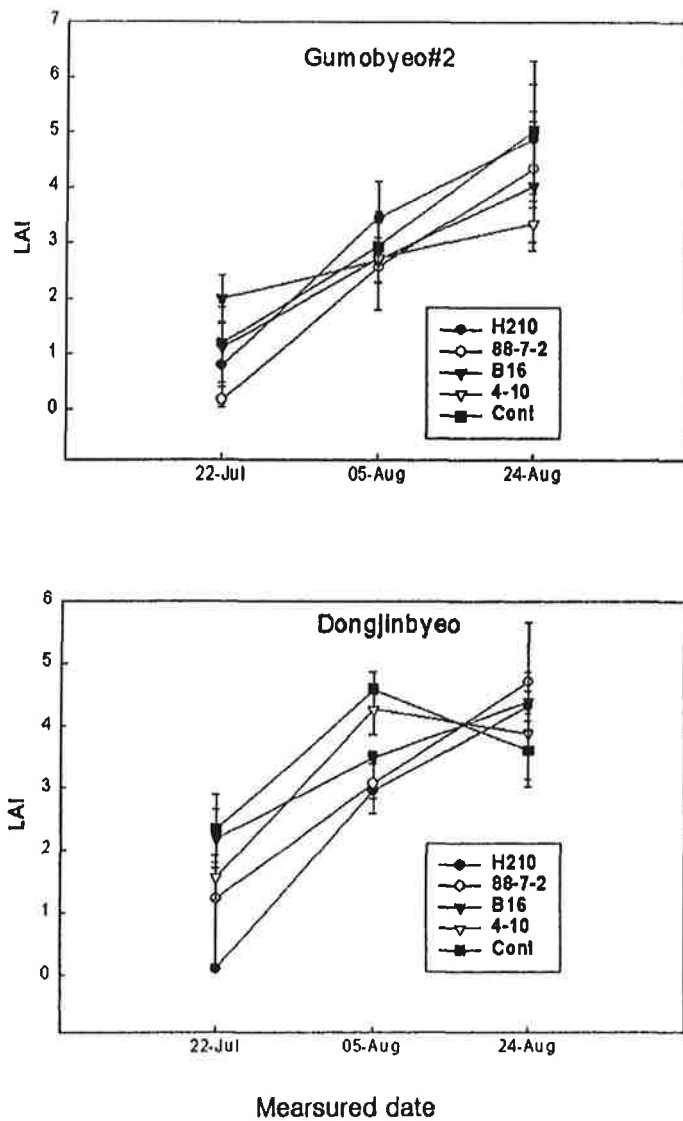


Fig. 8. Changes in leaf area index (LAI) of rice plant as affected by seed treatment of bacterial strains. Vertical bar indicates mean \pm S.E

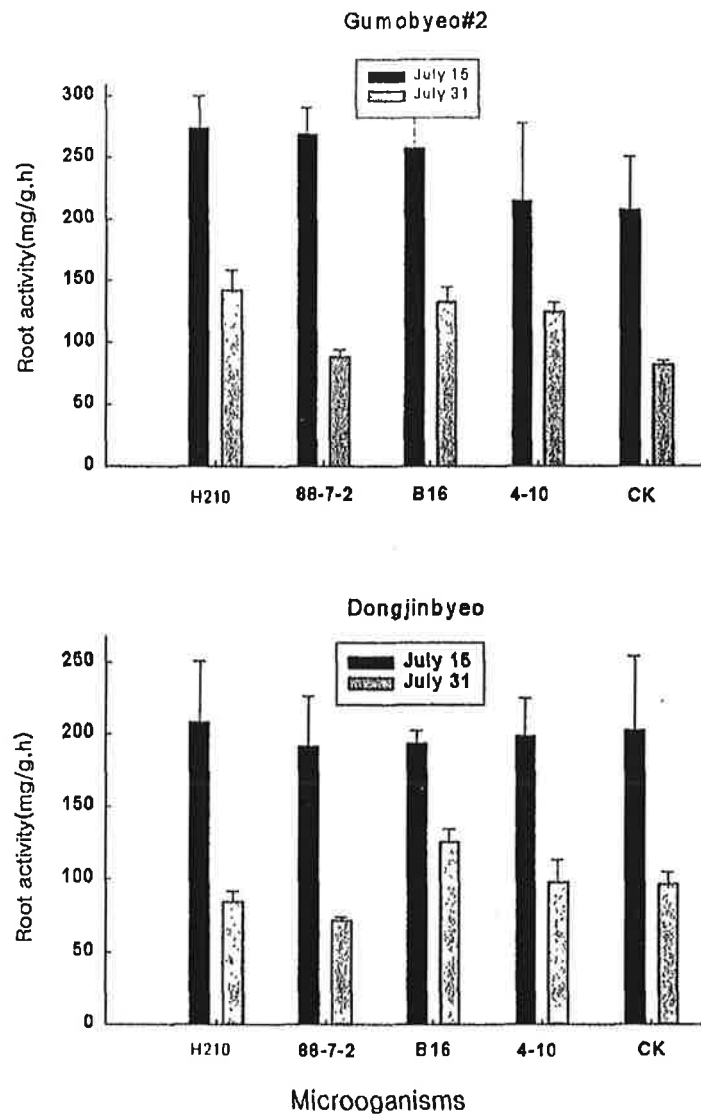


Fig. 9. Effects of microbial treatment on the root activities of different rice cultivars.

α -naphthylamine법을 사용하여 측정한 분얼기와 유수형성기의 근활력은 fig.9와 같다. 두 품종 모두 분얼기 근활력은 미생물 처리간 차이가 인정되지 않았다. 유수형성기 품종간 근활력은 차이가 인정되지 않았지만 미생물 처리간 차이를 보였다. 금오벼2호에서는 H210과 B16 미생물 처리구에서 무처리구 보다 높게 나타났고 동진벼에서는 B16 미생물 처리구가 무처리구 보다 높게 나타났다. 따라서 앞의 연구결과에서 나타났듯이 다른 미생물 균주는 초기생육에 작용하고 H210과 B16은 생육후기까지 벼의 생육을 좋게 하는 것으로 사료된다.

다. 수량 및 수량 구성요소

Table 6은 벼-보리 건답직파제배 체계에서 유용미생물 처리에 따른 금오벼 2호와 동진벼의 수량과 수량구성요소를 나타내고 있다.

이삭수는 금오벼2호와 비교하여 동진벼가 많았다. 이는 초기의 동진벼가 충분한 입모수를 확보하였기에 후기의 이삭수가 많았음을 알 수 있었다. 이삭당 낱알수는 금오벼가 많았다. 초기에 입모수를 확보한 동진벼의 경우 수수형으로 발달하여 이삭당 낱알수가 적고 금오벼 2호는 상대적으로 이삭이 수수형으로 발달하여 이삭당 낱알수가 많은 것으로 사료된다.

등숙율과 천립중은 동진벼가 높게 나타났다. 이삭이 크게 발달한 금오벼 2호는 상대적으로 이삭이 적은 동진벼에 비해 등숙율이 떨어지고 천립중도 역시 같은 이유로 사료된다. 동진벼가 초기 입모율의 확보로 충분한 이삭수를 확보하였으나 이삭당 낱알수의 큰 차이로 금오벼2호의 수량이 많았다.

미생물 처리간 이삭수와 천립중이 유의적인 차이를 보이며 금오벼 2호의 경우 이삭수는 88-7-2, B16 및 4-10 처리구의 이삭수가 많았고, 천립중은 미생물처리구가 대조구에 비해 무거웠다. 동진벼의 경우 이삭수는 H210, 88-7-2, 및 4-10 처리구가 많았다. 천립중은 88-7-2, B16 및 4-10 처리구가 무거웠다. 품종과 미

생물의 상호 관계는 이삭수만 유의적인 차이를 보였으며 금오벼2호와 동진벼 모두 4-10 처리구의 이삭수가 많았다.

수량은 미생물처리간에 유의성은 인정되지 않았지만 미생물 처리구가 무처리구보다 높은 경향을 보였다.

Table 7은 유용미생물 균주를 벼 후작물인 보리에 접종하여 생육에 미치는 영향을 평가한 결과이다.

품종별 출현율은 진양보리가 가장 높았으며 울그루밀이 가장 적게 나타났다. 단위면적당 최고 분얼기의 분얼수는 품종간에 유의성이 인정되지 않았지만 수수는 출현율이 높았던 진양보리가 가장 높았다.

출수기는 오월보리가 울그루밀과 비교해 약 2주정도 빨리 출수 했으며, 진양보리 보다는 1주일이 빨랐다. 미생물 처리간에는 오월보리에서 미생물 처리구가 5일 빨랐으며 진양보리에서는 1일 빨랐고 울 그루밀은 출수기의 차이가 없었다. 출수기의 결과로 보리와 밀의 수확시기를 결정할 수 있을 뿐 아니라 벼의 파종시기도 결정된다. 오월 보리는 5월 중순경에 벼를 파종할 수 있으나 밀의 경우 6월 초가 되어야 벼 파종이 가능해진다. 따라서 밀을 재배할 경우 벼의 파종을 하루라도 빨리 하기 위해서는 무경운 수확 동시직파를 실시하는 것이 유리하다.

수량은 울그루밀 보다 두 보리 품종이 많았으며 미생물 처리간에는 유의성이 인정되지 않았다. 두 보리 품종 중 진양보리가 오월보리 보다 수량이 높았으며 미생물 처리에 따른 수량성은 미생물 처리한 것이 유의성은 인정되지 않았지만 무처리보다 높게 나타났다.

벼-보리 2모작을 위한 최적의 조합은 금오벼와 진양보리다. 미생물은 벼에서는 H210과 B16, 보리는 E681과 B16이며, 벼 품종은 만식적용성이 높아 보리 수확후 직파를 해도 안전하게 출수 할 수 있고 일장에 둔감해 불시 출수를 하지 않는 품종을 선택하고

보리는 조생종이나 만생종보다 중생종이 좋을 것으로 사료된다. 보리에서 조생종은 생육기간이 짧아 수량이 적고, 만생종은 수량은 많으나 벼의 파종시기를 늦추어 벼의 수량을 감소시킴으로 중생종을 선택하는 것이 가장 이상적인 것으로 판단된다.

4. 벼-맥류 품종 조합에 의한 안정적 2모작 현장실증 시험

가. 벼의 입모율

Fig. 10은 벼-보리 2모작 직파재배 체계에서 벼의 입모율을 나타낸 것이다.

보리수확 직후 최소경운으로 벼를 파종하였다. 전체 입모율에서는 유의적인 차이가 없었지만 미생물 처리구가 무처리구 보다 변이의 폭이 작았다. 따라서 미생물을 처리하면 포장 전체에 고른 입모수를 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 7. Effect of seed treatment of bacterial isolates on barley growth in Gyeongnam RDA experimental field

Cultivars	Strain	Emer- gence%	Maximum tillers/m ²	No. panicle/m ²	Heading date	Yield kg/10a
Owol barley	E681	68.7	1322.0	813.7	4.11	655
	B16	71.0	1166.7	661.3	4.11	621
	Control	59.7	1314.0	716.7	4.13	556
Jinyang barley	E681	73.7	1563.7	1096.3	4.17	753
	B16	76.3	1542.0	1264.0	4.17	756
	Control	79.0	1380.3	1027.7	4.18	701
Oglu weat	E681	30.0	1316.7	725.3	4.24	590
	B16	47.3	1214.0	714.0	4.24	566
	Control	24.7	1030.3	594.7	4.24	563
LSD.05	Cultivar	12.81	ns	189	ns	43
	Strain	2.34	ns	ns	ns	ns
	Cultivar × strain	ns	ns	ns	ns	ns

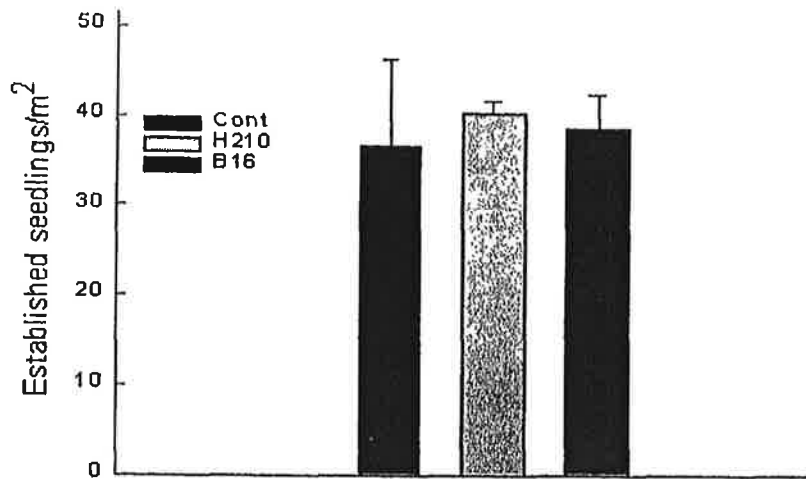


Figure 10. Numbers of established seedlings as affected by microorganisms in direct-sown rice-barley cropping systems. Vertical bars indicate mean \pm S.E.

나. 벼의 수량 및 수량구성요소

수량은 H210 처리구에서 가장 높게 나타났지만 미생물 처리간에 유효성이 인정되지 않았다(table 8). 보리에서는 수량 변이가 무처리에서 가장 크게 나타났지만 벼에서는 B16이 무처리보다 높게 나타났다. 단위면적당 이삭수는 B16처리구의 변이가 심하게 나타났다. 간장과 수장은 미생물처리구가 무처리구 보다 높았는데 특히 간장의 길이 도복과 관련이 있다. 하지만 본 시험에서 미생물 처리구의 간장의 길이는 관행재배의 길이보다 짧아서 도복에 영향을 줄 정도는 아니었다.

Table 8. Effects of seed treatment of beneficial bacteria on yield and yield component in direct-sown rice-barley cropping systems

	Grain yield kg/10a	HI	Spikelets/ Panicle	Ripened grain ratio %	Panicles/ m'	Culm length cm	Panicle length cm
B16	673 ± 91.9	50 ± 2.2	115 ± 4.7	98 ± 1.7	105 ± 15.7	74 ± 1.90	21 ± 0.3
H210	699 ± 63.1	49 ± 0.8	135 ± 12.5	98 ± 1.1	90 ± 3.2	73 ± 0.11	21 ± 0.3
Cont	593 ± 63.6	46 ± 1.0	112 ± 12.3	99 ± 1.2	77 ± 5.1	71 ± 1.60	20 ± 0.6

다. 보리의 입모율

보리종자에 유용미생물을 처리하여 입모수와 월동후 밀도(m^2)를 조사한 결과 아래의 fig. 11과 같다. 입모율은 B16 처리구가 가장 높았고 무처리구가 가장 낮았다. 월동 후 보리의 밀도는 E681이 가장 높았다. 이 시험의 결과로 유용미생물 중 E681은 저온에서 식물을 잘 자라게 하고 식물의 생육에 긍정적 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

본 시험의 보리 파종시기가 늦어 한겨울 동해를 예상했으나 미생물 처리구에서는 오히려 개체수가 더 증가하는 경향을 보였다.

따라서 보리에 유용미생물 처리를 하면 월동율을 높여 수량증대를 할 수 있을 것으로 사료된다.

라. 보리의 수량 및 수량 구성요소

미생물 처리에 따른 보리 수량은 table 10과 같다.

단위면적당 평균이삭수는 많았지만 미생물 처리구와 통계적인 유의차는 없

었다(table 9). 오히려 미생물 처리구가 변이 폭이 좁아 무처리구보다 고른 성장을 나타낸 것을 알 수 있다. 수량은 미생물중 E681 처리구가 다른 미생물 처리구보다 높게 나타으며 B16처리구는 무처리구와 비교해 유의성이 인정되지 않았다. 그리고 무처리구의 수량은 이삭수에서 처럼 변이의 폭이 커서 안정적인 수량을 기대하기가 어려울 것으로 사료된다.

유용미생물을 처리 따른 수량성적은 2000년도 보다는 못했지만 미생물을 이용한 수량증대는 년차간 변이에서 유사한 경향을 얻었다. 따라서 벼-보리 직파 2모작 재배 체계에서 미생물 H210, E681 및 B16을 사용하면 수량을 증대시킬 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 직파재배로 인한 생산비절감과 수량증대로 농가소득을 한층 높일수 있을 것으로 기대된다.

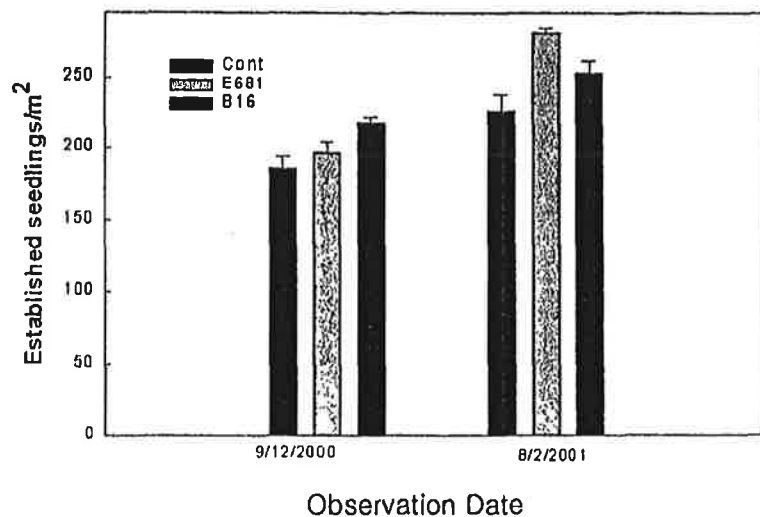


Fig. 11. Established seedling and density of barley after over winter as affected by seed treatment of microorganisms. Vertical bar indicates mean \pm S.E.

Table 9. Effects of seed treatment of beneficial bacteria on yield and yield component of rice in direct-sown rice-barley cropping systems.

	Panicles/m'		Total yield kg/10a		Grain yield kg/10a		HI %	
B16	630	± 13.4	995	± 3.6	468	± 5.5	47	± 1
E681	637	± 28.9	1081	± 15.6	519	± 18.4	48	± 2
Check	610	± 56.8	950	± 30.1	456	± 26.7	48	± 3

Table 10. Effects of seed treatment of beneficial bacteria on yield and yield component of rice in direct-sown rice-barley cropping system 2000, 2001 years

Cultivar	Strain	Panicles /m'	Spikelets /Panicle	Ripened grain ratio(%)	1000-grain weight (g)	Grain yield (kg/10a)	Harvest Index
Gum obye o#2	H210	550.5	133.6	96.1	24.5	532	0.51
	2000 B16	521.0	128.1	95.1	24.4	547	0.52
	CK	432.2	121.5	94.9	22.8	523	0.54
	H210	270	135	98	27.5	669	0.49
	2001 B16	315	125	98	28.2	673	0.50
	CK	231	112	99	27.1	593	0.46

Table 10은 2000년과 2001년의 수량성적을 나타낸 것이다. 2000년도 시비량은 표준시비였고 2001년도 시비량은 감비를 하였다.

2000년과 2001년의 수량을 비교하면 2001년의 수량이 2000년의 수량보다 높았다. 그 원인은 2001년의 기상이 좋았기 때문으로 사료된다. 수량구성요소를 살펴보면 이삭수는 2001년이 2000년도 보다 적었지만 등숙율과 천립중에서 2001년도 성적이 좋았다.

2000년도 미생물별 수량성적은 대조구와 거의 비슷한 수준이었지만 2001년의 수량성적은 대조구 보다 많았다. 수량구성요소는 단위면적당 이삭수와 천립중에서 차이를 보였다.

2000년 표준시비 조건에서는 차이를 보이지 않았지만 2001년 감비구 조건에서는 미생물 처리구가 무처리구에 비해 수량이 높게 나타나서 미생물을 이용한 직파재배에서 질소비료의 감비 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

5. 미생물을 활용한 도복방지 효과

도복저항성과 관계 있는 요인은 뿌리의 발육정도와 줄기의 지상부 10cm 굵기와 두께이다. 도복 저항성은 figure 12에서 나타내는 바와 같이 B16과 H210 처리구가 무처리구보다 높게 나타났다. 지상 10cm 높이의 위치를 잘라 내경과 외경을 측정한 결과는 table 11과 같다. 도복 저항성과 같이 미생물 처리구의 외경은 차이가 인정되지 않았지만 무처리구와는 유의적인 차이가 인정되었다. 내경은 무처리구와 B16간의 차이가 인정되지 않았지만 무처리와 H210과는 유의적인 차이가 인정되었다.

외경과 내경의 차이에 의한 벽의 두께는 미생물 처리와 비교해 무처리구가 가장 얇았고 미생물 처리간에는 차이가 인정되지 않았다. 따라서 미생물을 사용해서 직파재배를 하면 도복문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

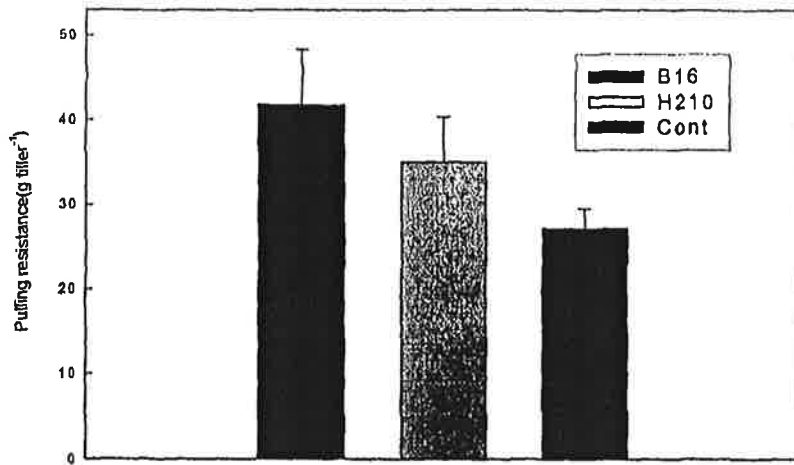


Fig. 12. Differences of pulling resistance of rice that treated with beneficial bacteria under the direct-sown rice-barley cropping system. Vertical bar indicates mean \pm S.E.

Table 11. Culm diameters of rice at harvesting time that treated with beneficial bacteria under the direct-sown rice barley cropping systems. Mean \pm S.E.

Strains	Culm diameter		
	Outer	Inner	Outer-Inner
	----- mm -----		
B16	5.5 \pm 0.21	2.6 \pm 0.19	2.9 \pm 0.26
H210	5.7 \pm 0.31	2.8 \pm 0.17	2.9 \pm 0.21
Cont	4.9 \pm 0.37	2.5 \pm 0.18	2.5 \pm 0.31

6. 간척지 유용미생물의 효과

입모수는 처리간 유의성은 인정되지 않았지만 미생물 처리구가 무처리구에 비해 입모수가 높게 나타났다. 초장은 무처리구가 높게 나타났으며 지상부 건물중은 88-7-2가 가장 높았고 H210과 B16이 가장 적었다. 지하부 건물중은 4-10이 가장 높게 나타났다.

간척지의 시험은 2년간 연속해서 이루어졌지만 별 연구성과가 없었다. 그 원인은 기상과 시설의 악조건 때문인 것으로 분석되었다. 99년 입모까지는 성공하고 그 뒤 계속되는 폭우로 인해 간척지 전체가 침수되어 벼가 녹아버렸고 2000년도에는 앞의 시험을 거울삼아 파종을 일찍 하였다. 그런데 그해 봄가뭄이 심해 입모 될 당시 농업용수 부족으로 인한 심각한 염해로 대부분 고사하였다.

2년동안 간척지 시험을 통해 얻은 결론은 간척지 직파재배시 가장 중요한 것이 담수의 확보이다. 이앙재배의 경우 다소 염분이 있어도 생육이 늦어질 뿐 고사하지는 않는다. 하지만 직파의 경우 그 피해가 이앙 보다 훨씬 심각하다고 할 수 있다.

Table 12. Effects of beneficial bacteria-treatment on established seedlings and growth of rice seeding in reclaimed soil

Strains	Established seedlings/ m ²	Plant height (cm)	Root length (cm)	Shoot dry weight (g)	Root dry weight (g)
Control	95.3	30.3	6.4	0.50	0.34
88-7-2	110.3	27.7	6.5	0.63	0.33
H210	123.8	26.8	6.1	0.46	0.33
B16	108.0	26.7	7.9	0.46	0.33
4-10	114.8	27.8	5.3	0.53	0.40

제 4절 참고문헌

- Chapin III, F. S., A. L. Bloom, C. B. Field, and R. H. Waring. 1987. Plant responses to multiple environmental factors: Physiological ecology provides tools for studying how interacting environmental resources control plant growth. *Bioscience* 37 : 49-57.
- Cho, Y. S., B. J. Lee, and Z. R. Choe. 1999. Nitrogen translocation and dry matter accumulation of direct seeded rice in no tillage rice-vetch cropping. *Korean J. Crop Sci.* 44(1) : 44-48.
- Cho, Y. S. 1999. Development of no-till direct-sown sustainable rice-vetch/wheat cropping systems based on crop residue management. Ph. D thesis, Gyengsang National Univ.
- Harwood, R. R. 1990. A history of sustainable agriculture systems". Edited by Edwards, C.A., L.P. Madden, R.H. Miller and G. House. Soil and Water Conservation Society. Iowa, Ankeny, U.S.A.
- Hong, K. P., J. Y. Kim., D. J. Kang., N. D. Kang., and Z. R. Choe. 1997. Effects of different vetch sward treatments on soil and rice growth in no-till direct-sown rice-vetch interrelaying cropping systems. *Korean J. Crop Sci* 42(5) : 564-570.
- Kim, J.Y., K.P. Hong, H.S. Lee, Y.S. Lee, J.K. Ha, and Z.R. Choe. 1993. Effects of straw management at combine harvest on the physicochemical properties of soil and rice grain yield and yield component in no-tillage paddy rice system. *Crop Production and Improvement Technology in Asia, KSCS, Korea* : 97-104.
- Lal, R. 1985. A soil suitability guide for different tillage systems in the tropics. *Adv. Agron. Soil and Till. Res.* 5 : 179-196.
- National Research Council. 1989, Alternative agriculture. National Academy Press. Washington D.C., U.S.A.
- Park, H. K., S. S. Kim., N. H. Back., S. J. Suk., G. H. Park., and S. Y. Lee. 1996. Rice growth and yield at different cultural methods under no-tillage condition. *Korean J. Crop Sci.* 41(4) : 420-428.

Rodale R. 1990. Sustainability: an opportunity for leadership. In: Edwards C.A., Lal. R. Madden P. Miller R.H. and House C. (eds.) Sustainable Agricultural Systems, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, U.S.A

Schnier, H. F., M., Dingkuhn, S. K. Dingkuhn., Mengel, K., and J. E. Faronilo. 1990. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs transplanted rice. I. Nitrogen uptake, photosynthesis, growth and yield. *Crop Science* 30 : 1276-1284.

강수용, 권진혁, 정부근, 박창석. 1995. 건답직파 벼논에서 *Rhizopus* sp.에 의한 모마름 병 발생과 감염정도가벼 후기생육에 미치는 영향. *한국식물병리학회지* 11(1) : 94-97.

김광식, 김용웅, 박재우, 김영일. 1993. 원예작물 생육에 미치는 미생물 제제의 이용연구. *농업과학논문집* 35 : 129-140.

김광식, 김용웅, 박홍재. 1991. 원예작물 생육에 미치는 미생물 제제의 이용연구I. *농사시험연구논문집* 34 : 139-148.

김상수, 최민규, 석순중, 이선용, 박근용, 조동삼. 1994. 벼 무논골뿌림 재배에서 파종방법과 파종후 답수시기가 입모 및생육에 미치는 영향. *한국작물학회지* 39(5) : 495-501.

김용웅, 김광식. 1984. 벼짚시용이 논토양의 미생물상에 미치는 영향 (2) 유기물 대사에관여하는 미생물과 유기물의 분해. *한국토양비료학회지* 17(2) : 289-298.

김장용, 김태성, 최용조, 최경배, 이유식, 황홍도, 강재태, 김후근. 1989. 어린 모 기계이앙 재배법 구명시험. *경남농촌진흥원 시험연구보고서* : 32-43.

김희진. 1999. 벼 무경운 직파재배체계에서 물관리와 피복처리가 벼 입모율 증진에 미치는 영향. *경상대학교 대학원 농학 석사학위 논문*.

문병주, R. W. Schneider, 박현철. 1996. 벼답수 직파재배에서 *Pythium arrhenomanes*에 의한 벼모썩음병의생물학적 방제. *한국식물병리학회지* 12(4) : 407-414.

문병주, R. W. Schneider. 1996. 벼담수 직파재배에서 벼 모썩음병에 관련된 Pythium속 균의 병원성. 한국식물병리학회지 12(4) : 402-406.

박재성, 박성규, 윤홍재, 홍성택, 지재준, 정인명, 조동삼. 1997. 벼 건답직파 재배시 범씨예조와 복토심이 출아와 초기생육에 미치는 영향. 식량작물연구논문집 39(1) : 19-28.

박재성, 박성규, 윤홍재, 홍성택, 지재준, 정인명, 조동삼. 1997. 벼 건답직파 재배시 파종기와 범씨예조가 출아와 초기생육에 미치는 영향. 식량작물연구논문집 39(1) : 19-28.

서장선, 김광식. 1996. 토양미생물 Biomass에 의한 인산염 가용화균 접종효과에의 평가. 한국토양비료학회지 29(2) : 181-189.

서장선, 신제성. 1997. 논토양 서식 미생물의 다양성에 관한 연구. 한국토양비료학회지 30(2) : 200-207.

송동석, 김용재, 이성춘. 1996. 벼 담수표면 직파재배에서 파종기가 도복에 미치는 영향. 한국작물학회지 41(2) : 157-167.

송동석, 김용재. 1996. 벼 담수표면직파재배에서 파종량과 성장조절제 처리에 따른내도복성과 수량성. 한국작물학회지 41(1) : 123-130.

송영주, 권석주, 황창주. 1994. 벼 무논골뿌림재배 파종방법 및 담수시기. 한국작물학회지 39(3) : 205-210.

水本順敏, 中根健, 小泉滿. 1989. 湛水土壤中直播栽培における出芽・苗立ちの安定と省力施肥法. 關東東海農業試験研究推進會議水田農業技術部會議資料.

원종건, 최충돈, 이외현, 김철룡, 이상철. 1997. 벼 건답직파 재배시 심수관개가 생육과 수량에 미치는 영향. 한국작물학회지 42(2) : 166-172.

원종건, 최충돈, 이외현, 이상철, 김철룡, 최부술. 1997. 벼 담수토중직파 재배시 종자분의 재료에 따른 입모향상 효과. 한국작물학회지 42(3) : 286-291.

이상복, 최윤희, 이경보, 유철현, 이경수. 1995. 유기물 연용담 토양에 있어서 미생물상의 계절적 변화. 한국토양비료학회지 28(4) : 356-362.

이성춘, 김진희, 정춘화. 1996. 벼, 보리, 밀 종자의 PEG 처리가 종자 활력과 포장출아에 미치는 영향. 한국작물학회지 41(2) : 145-156.

李英烈. 1986. 논 耕耘方法別 所要에너지와 벼 收量에 관한 研究. 圓光大學校 博士學位論文. P.52.

이영한, 윤한대, 하호성. 1996. 식물생육촉진 세균 분리 동정과 고추에 대한 처리효과. 한국토양비료학회지 29(1) : 67-73.

이외현, 최충돈, 원증건, 김철용, 최부술, 여수갑. 1998. 벼 무경운 재배시 생육특성 및 잡초발생. 식량작물연구논문집 40(1) : 1-6.

李殷雄, 趙成岩, 南相用. 1988. 벼 品種들의 直播栽培와 移秧栽培에서의 分蘖特性에 관한 研究. 農試論文集(農業産學協同篇) 31 : 279-288.

이인원, 김용국. 1991. 길항미생물 생산 항균성 물질의 분리 및 정제에 관한 연구 -PESUDOMONAS속이 생성하는 고추 역병균에 대한 항균성 성질. 농사시험연구논문집 34 : 247-256.

이호진, 서준한, 이정삼, 정영상, 박정근. 1996. 벼 직파재배 노동력 투입 및 에너지 효율성 비교. 한국작물학회지 41(1) : 115-122.

林善旭. 1993. 土壤微生物과 土壤健全性. 環境保全型 農業을 위한 土壤管理 심포지엄 : 83-91.

조흥기, 신용규, 김동완, 오남기, 박정근. 1996. 벼 직파재배 농가의 영농경력별 경제적 효과분석. 농업과학논문집 38(2) : 32-38.

최원영, 김상수, 신현탁, 조수연, 최선영. 1997. 벼 직파재배 유형에 따른 생육 및 수량. 한국작물학회지 41(1) : 14-21.