

低湿耕地综合治理对土壤微生物生态影响 及大豆增产的研究*

王书锦 蔺继尚 薛德林 许广铭 (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

谭克辉 郝乃斌 戈巧英 (中国科学院植物研究所, 北京 100044)

郭 玉 (黑龙江八一农垦大学, 密山 158308)

王德明 (黑龙江省850农场, 虎林 158422)

【摘要】 本文报道了三江平原低湿耕地综合治理后对土壤微生物生态的影响及对大豆增产的明显效果。4年来开发试验研究的结果表明,低湿耕地经过综合治理并栽培大豆等作物以后,土壤中大豆根瘤菌数量及自生固氮菌的数量明显增加,低湿耕地综合治理后接种高效固氮大豆根瘤菌,经配对选优及结合施用启动氮的高光效高固氮大豆-根瘤菌共生固氮体系的生物技术措施,使大面积的大豆增产12.3%,达到接近岗平地耕作条件下生物技术措施的水平,对今后的生产实践或科学理论都具有重要意义。

关键词 低湿耕地 大豆根瘤菌 共生固氮体系 光合作用强度 综合治理

Effects of comprehensive reclamation of boggy bottomland on soil microbes and yield of soybean in Sanjiang Plain. Wang Shujin, Lin Jishang, Xue Delin, Xu Guangming (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015), Tang Kehui, Hao Naibin, Ge Qiaoyin (Institute of Botany, Academia Sinica, Beijing 100044), Guo Yu (Bayi Farmland Reclamation University, Heilongjiang Province, Mishan 158308). -J. Appl. Ecol., 1990, 1(2): 120—128.

The soybean yield has been increased to 1950—2100kg/ha from 982.5kg/ha since the comprehensive reclamation carried out on the boggy bottom and in Sanjiang Plain in 1986. The techniques of reclamation include: (1) Irrigation and water conservancy engineering; (2) Mechanical cultivation; (3) Biological techniques, especially the introduction of soybean breed with high abilities of photosynthesis and N-fixation. The activities of N-fixation of *Bradyrhizobium japonicum*, *Sinorhizobium fredii* and other N_2 -fixers and their populations sharply increased after the reclamation. Deep plough with machines benefits activities of the microbes and the development of root system and nodulation of soybean. More 3 good breeds of *G. max* with high photosynthesis rate and a strain of *S. fredii*, Sj8855, with high N_2 -fixation and tolerance the boggy bottomland and pesticide have been developed and used.

Key words: Boggy bottomland, *Sinorhizobium fredii*, Symbiotic association, Photosynthetic rate, Comprehensive reclamation.

* 参加本项研究工作的还有中国科学院沈阳应用生态研究所戚波、胡江春、邵军、李志伟,中国科学院植物研究所徐继、张玉竹、张国铮,黑龙江省850国营农场杨敦启、常开兴、翟崇高、李清瑞、隋少询、王悦,黑龙江省农垦设计院姚章村、黄春发,黑龙江省农科院大豆所杜维广。

本文于1990年2月13日收到。

1 前 言

三江平原低湿耕地总面积达 1.45×10^6 ha, 占全区耕地总面积的40%, 这些低湿耕地的地势平坦, 但微地形变化复杂, 碟形水线和鱼眼泡星罗棋布, 土质粘重, 透水性差, 土壤中有有机质含量虽然较高, 但由于土壤中有益微生物的生态环境不佳, 大豆根瘤菌和自生固氮菌数量很少, 因此土壤潜在肥力不能发挥作用, 而且土壤承载力差, 农业机械作业困难, 极易受洪涝灾害影响。当地有的农场虽也兴建了不少水利工程, 采用了各种不同耕作、栽培技术措施, 偶尔收到一定效益, 但由于对其科学规律基本不掌握, 治表不治本, 时好时坏, 并由于农田建设、土壤耕作和生物技术措施不配套, 抗灾能力差, 增产效果不佳, 粮豆单产不高, 总产不稳。据三江平原 850 示范区典型低湿耕地 14 队的统计, 1975 年到 1984 年的 10 年中粮豆平均产量为 1429 kg/ha, 最低的 1981 年粮豆单产仅 517.5 kg/ha, 最高的 1983 年粮豆单产为 2167.5 kg/ha, 低湿耕地治理前的大豆平均产量 982.5 kg/ha, 因此三江平原低湿耕地急需综合治理, 开发利用, 以提高粮豆的产量。

我们是从 1986 年起采取多学科、跨单位综合研究的形式参加“七五”三江平原低湿耕地综合治理的国家科技攻关的, 重点是解决影响低湿耕地农业发展的限制因素。“850”示范区由多单位共同攻关大豆, 具体采取(1)农田工程治理;(2)不同耕作栽培方式(以三垄耕作栽培技术为基础);(3)主要生物技术措施(以高光效高固氮大豆-根瘤菌共生体系配套技术为中心), 结合栽培、施肥、除草、精量点播及病虫害防治等有利技术措施而开展。4 年来为三江平原低湿耕地综合治理、大豆增产初步趟出了一条路子。

2 材料和方法

2.1 农田工程治理技术

主要采用黑龙江省农垦设计院的“干、支、斗、农、沟、管、洞、缝”的农田工程措施。

2.2 不同耕作栽培方法

主要采用八一农大的三垄耕作栽培技术措施, 结合黑龙江省 850 农场的平作(平播后起垄)为对照, 以及当地的垄作、垄作沟松、超深松等耕作栽培措施进行对比试验。

2.3 主要生物技术措施

在农田工程治理和不同耕作栽培的基础上采用中国科学院“六五”三江平原大豆攻关协作组的高光效高固氮大豆-根瘤菌共生体系配套技术为中心, 结合八一农大的大豆精量点播, 病虫害防治, 及当地栽培、施肥、除草等有利农业技术措施而开展的。

2.4 光合作用强度测定

按中国科学院上海植物生理研究所光合生理室方法进行测定^[1]。

2.5 大豆根瘤固氮活性测定

按中国科学院沈阳应用生态研究所微生物固氮与工程研究室方法进行测定。

2.6 土壤微生物数量测定

按《土壤肥力研究方法》所述方法进行测定。

2.7 大豆植株酰胺含量测定

按“大豆植株木质部汁液中酰胺(Ureide)测定的新方法”进行测定^[2]。

2.8 土壤游离氨基酸含量测定

采用 0.02M HCl 浸出, 微波处理抽提、浓缩, 然后上日立 835-50 型氨基酸自动分析仪进行测定。

2.9 大豆品种

选用当地高光合丰产好的合丰 25。

2.10 大豆根瘤菌剂及血清免疫测定^[8]

应用 Sj8855 高固氮、抗农药大豆根瘤菌。

3 结 果

3.1 农田工程治理对土壤微生物影响及大豆增产效益

农田工程治理, 以排为主, 旱涝兼治, 达到改善作物生长环境和易于农业机械化作业条件为主要目标。采用沟(开大、中、小排水沟)、管(埋暗管)、洞(拉鼠洞)等主要农田工程技术, 必要时结合喷灌。

低湿耕地综合治理后对土壤微生物生态的影响见表 1, 对大豆增产效益见表 2。

从表 1 可以看出, 在 1984 年治理前低湿耕

表 1 低湿耕地综合治理后对土壤微生物的影响

Tab.1 Effects of comprehensive reclamation on soil microbes in the boggy bottomland (1984—1989)

项 目 Item	细菌总数 No. of bacteria ($10^9 \cdot g \text{ soil}^{-1}$)		真菌总数 No. of fungi ($10^2 \cdot g \text{ soil}^{-1}$)		放线菌总数 No. of actino- myces ($10^4 \cdot g \text{ soil}^{-1}$)		自生固氮菌总数 Free living N_2 fixation bacteria		大豆根瘤菌 0.1% 土结 瘤数 Nodulation
	0—15cm	15—30 cm	0—15cm	15—30 cm	0—15cm	15—30 cm	0—15cm	15—30 cm	0—15cm
	低湿耕地治理前对照土壤 Before comprehensive recla- mation	8.0	0.6	30.0	25.0	10.0	0	8.0	7.0
低湿耕地一般开发对照土壤 Regular management boggy bottomland	15.0	4.0	10.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	6.0
低湿耕地综合治理后的模式区土壤 After comprehensive recla- mation	28.0	14.0	40.0	0.1	2.0	2.0	131.0	41.0	12.0
普通耕地(岗平地) Normal farmland	800.0	300.0	45.0	0.1	4.0	2.0	250.0	13.0	35.0

注: 三江平原850农场14队低湿耕地。

表 2 低湿耕地综合治理后对大豆增产的影响

Tab.2 Effect of comprehensive reclamation on the soybean yields in the boggy bottomland

项目 Item	大豆平均产量 Average soybean yield($kg \cdot ha^{-1}$)			
	1984年	1987年	1988年	1989年
治理前的低湿 耕地大豆田 Before reclamation	982.5			
低湿耕地一般开发田 Regular management boggy bottomland		1110.0	1255.5	1395.0
低湿耕地综合治理模式 田 After reclamation		1995.0	2100.0	1995.0
普通耕地(岗平地) Normal farmland	2473.5	2456.0	2625.0	2583.0

注: 850示范区, 大豆品种合丰25。

地的土壤中大豆根瘤菌、自生固氮菌的数量都很少, 经综合治理后都有明显的增加。经使用高效固氮大豆根瘤菌剂后, 土壤中大豆根瘤菌数量较治理前有明显的增加, 基本上接近普通耕地土壤中大豆根瘤菌的数量级, 同时经测定发

现, 治理后的低湿耕地还可以提高土地利用效率 5—20%。

从表 2 的试验结果可以看出, 低湿耕地综合治理后(如14队2⁰-1模式田), 大豆的产量较治理前翻了一番。综合治理前(1984年)大豆产量为982.5 $kg \cdot ha^{-1}$, 综合治理后(1988年)大豆产量达到2100.0 $kg \cdot ha^{-1}$, 综合治理模式田较一般开发田增产43%以上。低湿耕地综合治理后, 所以对土壤微生物的数量和质量有所影响, 对大豆增产有显著效果, 主要是由于综合治理后改变了土壤水的状况, 从而影响到土壤物理性状, 特别是春涝阶段, 在土壤承载能力上明显地反映出这一问题。如在1988年5月5日至6月5日的春涝阶段, 研究组对低湿耕地的综合治理模式区(三江平原850示范区14队2⁰-1地)与对照区(14队9⁰-2地)的土壤承载能力进行了测定, 结果证明, 综合治理后的模式区土壤承载力为5.42 $kg \cdot cm^{-2}$, 对农机作业无影响; 而对照区的土壤承载力则只有0.83 $kg \cdot cm^{-2}$, 排水能力很差, 对农机作业有影响, 有时甚至无法作业(田间机械化作业要求的土壤承载力临界值

为 $2.0\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

3.2 不同耕作栽培方式对土壤微生物的影响及大豆增产效益

不同耕作栽培方式, 在三江平原 850 示范区 14 队低湿耕地 607ha 方(万亩方)进行, 以三垄耕作栽培技术为基础(三垄耕作栽培指垄底深松、垄内分层深施肥、垄上双条精量点播), 以当地平作后起垄耕作栽培技术为对照, 并进行了垄作耕作栽培技术、垄作沟松耕作栽培技术、超深松耕作栽培技术的对比试验。几年来的试验结果表明, 一般情况下三垄耕作栽培技

术措施, 在低湿耕地与普通耕地一样具有增产优势, 大豆增产比较显著。三垄耕作栽培对土壤微生物的影响, 主要是由于深耕深松分层施肥的原因, 土壤中好气性微生物数量显著增加, 特别是耕作层下层 15—30cm 的土壤中细菌总数、大豆根瘤菌数量、自生固氮菌数量等, 较平作后起垄耕作栽培(对照)的耕作层土壤中要增加许多, 试验结果如表 3 所示。三垄耕作栽培技术对大豆生长发育及共生固氮的影响如表 4 所示。

从表 4 的结果可以看出, 在低湿耕地(14

表 3 三垄耕作栽培技术对土壤微生物的影响

Tab.3 Effects of mechanical cultivation techniques on soil microbes

项 目 Item	细 菌 No. of bacteria ($10^8\cdot\text{g soil}^{-1}$)		真 菌 No. of fungi ($10^2\cdot\text{g soil}^{-1}$)		放 线 菌 No. of actino- myces ($10^3\cdot\text{g Soil}^{-1}$)		自生固氮菌 Free living N_2 fixation bacteria No. ($10^6\cdot\text{gSoil}^{-1}$)		大豆根瘤数 Nodulation (Number/ Plant)
	0—15cm	15—30 cm	0—15cm	15—30 cm	0—15cm	15—30 cm	0—15cm	15—30 cm	0—15cm
	三垄栽培(试验) Mechanical cultivation	14.0	13.0	15.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0
平均后起垄(对照) Control	5.0	1.0	15.0	10.0	15.0	5.0	1.5	0.5	10.7

队 9 地)用三垄耕作栽培技术种植大豆, 对大豆的生长发育有良好的影响, 与当地平作比较, 有较明显的增产效益(增产大豆 17.4%), 生物量总和从 $37.58\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$ 提高到 $40.77\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$, 增加 8.48%; 大豆根瘤菌固氮酶活性从 $50.74\text{n mol C}_2\text{H}_4\cdot\text{g瘤}^{-1}\cdot\text{小时}^{-1}$ 提高到 $119.94\text{n mol C}_2\text{H}_4\cdot\text{g瘤}^{-1}\cdot\text{小时}^{-1}$, 增加 136.38%。

在试验过程中我们还对土壤中的游离氨基酸进行了测定, 发现三垄耕作栽培大豆根际土壤中的游离氨基酸有所增加。主要是苏氨酸和谷氨酸, 这与土壤中有益微生物数量的增多及其产生的代谢产物量的增加密切相关。

3.3 主要生物技术措施对大豆增产的影响

主要生物技术措施, 是在低湿耕地农田工程治理措施和不同耕作栽培技术措施(主要是三垄耕作栽培的)基础上, 在 850 示范区 14 队开

展的。

3.3.1 适应低湿耕地的大豆品种比较试验

几年来的大豆品种比较试验, 在 850 示范区 14 队低湿耕地土壤上, 认为以合丰 25、82-7799、密植 1 号、绥农 8 号和垦农 1 号等较有前途。它们的农艺性状与考种的结果如表 5 所示。

从表 5 的结果可以看出, 能适应低湿耕地栽培并能获得高产的品种除近几年已引种的合丰 25 以外, 82-7799 及密植 1 号大豆品种是较为理想和有发展前途的, 而绥农 8 号大豆品种产量虽高, 但是由于晚熟, 在低温寡照年份对大豆种子的成熟有一定影响, 故需要从中选择成熟较早的植株种子自然驯化繁殖, 以利今后大豆大面积生产栽培时的需要。

上述 5 个适应低湿耕地的大豆品种, 经接种 Sj8855 高效固氮大豆根瘤菌配对后, 其共生

表4 三垄耕作栽培对大豆生长发育及共生固氮的影响
Tab.4 Effects of mechanical cultivation on growth, development and symbiotic association of soybean

项 目 Item		三垄耕作 (试验) Mechanical cultiva- tion	平作后起 垄(对照) Control
株高 (cm) Plant height		58.9	55.2
主茎节数 (个) Node of stalk		14.8	11.6
生物量(干重) Biomass (gDW/ plant)	根 Root	4.5	3.5
	茎 Stem	18.8	16.9
	叶 Leaf	9.8	10.0
	种子 Seed	7.55	7.02
	根瘤 Nodule	0.12	0.08
总和 Total		40.77	37.58
荚数 (个·m ⁻²) No. of pod		439.2	376.8
粒数 (个·m ⁻²) No. of seed		979.2	751.2
粒重 (g·m ⁻²) Seed weight		181.2	168.5
根瘤固氮酶活性 Nitrogenase activity of nodules ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)		119.94	50.74
大豆产量 Soybean yield	g·m ⁻²	215.9	183.9
	%	117.4	100

固氮体系的根瘤固氮酶活性为密植1号360.2; 82-7799 300.2; 合丰25 258.9; 绥农8号 150.2; 垦农1号 71.3, 单位均为 $\text{n mol C}_2\text{H}_4\cdot\text{g瘤}^{-1}\cdot\text{小时}^{-1}$ 。试验结果说明适应低湿耕地的5个大豆品种, 除合丰25以外, 密植1号和82-7799两个品种共生固氮活性较高, 大面积生产栽培的前途较大。

3.3.2 适应低湿耕地的抗农药高固氮大豆根瘤菌液体菌剂的研制及其对大豆增产的影响
我们从野生大豆根瘤中分离筛选出的一批根瘤菌^[4], 经微波及电脉冲处理后, 选育出了一

株抗农药高固氮的大豆根瘤菌Sj8855。用深层通气培养制成液体菌剂, 应用到以低湿耕地为主的综合治理三江平原850示范区的国家科技攻关大豆示范推广试验上, 取得了大豆增产的良好效果, 其试验结果如表6所示。

从表6的结果可以看出, 抗农药高固氮大豆根瘤菌剂的应用, 起到了防治大豆立枯病和增产的作用, 而且菌剂在生产中应用简便, 受到了当地农民的欢迎。

3.3.3 低湿耕地高光效高固氮大豆-根瘤菌共生固氮体系配对选优的电子计算机数学模型农田最佳生态环境因子试验 结合低湿耕地607ha方攻关, 我们进行了电子计算机数学模型的微区试验, 其目的拟通过电脑的帮助, 用新的技术方法计算出在三江平原低湿耕地高光效高固氮大豆-根瘤菌共生固氮体系增产综合技术的最佳组合(包括大豆所需最佳的农田生态环境因子)^[3], 为大豆大面积生产栽培规范化模式的确定提供科学依据。经电算运算结合获得回归方程(全方程)如下:

$$\begin{aligned}
 y = & 308.5 + 12.1x_1 + 8.2x_2 + 8.3x_3 \\
 & + 2.4x_4 - 2.3x_5 + 8.6x_1x_2 + 2.5x_1x_3 \\
 & - 0.4x_1x_4 + 3.9x_1x_5 + 4.9x_2x_3 \\
 & + 4.2x_2x_4 + 8.2x_2x_5 - 4.8x_3x_4 \\
 & + 1.7x_3x_5 + 5.8x_4x_5 - 10.1x_1^2 \\
 & - 6.8x_2^2 - 14.4x_3^2 + 0.9x_4^2 - 0.9x_5^2
 \end{aligned}$$

根据回归方程预报, 在3125个组合试验中共有1554个组合的试验结果每公顷大豆产量超过3750kg(亩产大豆250kg), 大量的科学实验数据为低湿耕地高光效高固氮增产综合技术及大豆栽培规范化技术措施提供了有利的科学依据。

3.3.4 低湿耕地综合治理应用高效固氮大豆根瘤菌的增产效益 试验结果表明低湿耕地经过综合治理后, 大豆及根瘤菌高光效高固氮共生体系增产综合技术的作用, 与普通耕地一样具有较明显的增产优势, 并由于低湿耕地土壤中有效大豆根瘤菌数量很少, 因此在一般情况

表 5 在低湿耕地上不同大豆品种的农艺性状与考种结果

Tab.5 Agronomic characters and performances of different soybean cultivar on the boggy bottomland

项 目 Item	株高 (cm) Height of stalk (cm)	茎粗 (cm) Stalk diameter (cm)	主茎节数 (Number /plant) Node of stalk	有效荚数 (个· 株 ⁻¹) Fertile pod (Nu- mber/ plant)	分枝数 (个· 株 ⁻¹) Branch- ing (Nu- mber/ plant)	百粒重 100 Seed weight (g)	单株粒重 Seed weight per plant (g)	适宜株数 (个· m ⁻²) Suitable density (Num- ber/m ²)	成熟期 (日/月) Mature period (Date/ month)	根瘤固 氮活性 Nitroge- nase ac- tivity of nodule (n mol C ₂ H ₄ · g ⁻¹ ·h ⁻¹)	大豆产量 Soybean yield (g·m ⁻²)
合丰25 Hefeng25	71.8	0.52	15.7	37.4	0.1	18.5	6.47	26	25—28/09	258.9	168.2
82-7799	75.6	0.50	17.0	30.4	0	22.1	6.28	27	25—28/09	300.2	169.6
密植1号 Mizhi 1*	62.8	0.62	15.0	30.1	0.3	21.1	5.41	35	26—30/09	360.2	189.4
绥农8号 Suinong8*	73.5	1.05	19.7	60.9	2.7	20.8	9.77	20	6—8/10	150.2	195.4
垦农1号 Kennong1*	63.0	0.56	13.8	25.0	0.1	19.1	3.80	28	25—28/09	71.3	106.4

表 6 抗农药高固氮大豆根瘤菌Sj8855对大豆生长发育及增产的效果 (小区试验)

Tab.6 Effect of high nitrogen fixation *S.fredii* strain Sj8855 inoculation and pesticide on growth, development and yield of soybean

处 理 Treatment	株高 Stalk height (cm)	主茎节数 Node of stalk (个)	生物量 (g干重·株 ⁻¹) Biomass (gDW/plant)				根瘤数 (个) Nodula- tion	百粒重 100Seed weight (g)	大豆 立枯病 Damp- ing- off of soybean	产 量 Yield	
			根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根瘤 Nodule				(g·m ⁻²)	%
对照, 不接菌不用农药 Control	67.6	12.1	3.8	22.85	12.6	0.47	37.5	19.5	+++	229.8	100.0
单用农药(MBC) Pesticide only(MBC)	68.4	14.2	4.8	24.95	16.25	0.40	23.9	20.3	+	239.0	104.0
单用根瘤菌 Sj8855 Inoculation with Sj8855 only	72.6	17.8	7.2	40.6	25.0	0.65	40.3	20.1	++	275.8	120.0
试验农药(MBC) + 根瘤菌 Sj8855 Combination of ino- culation with Sj8855 and pesticide(MBC)	74.2	14.7	5.4	34.5	18.75	0.58	43.3	20.8	+/-	285.0	124.0

下应用高效固氮大豆根瘤菌剂的增产综合效果就更为显著。低湿耕地大区对比试验结果如表7所示。

从表7的结果可看出低湿耕地综合治理的模式区接菌的效果要比不接菌的对照区好。在低湿耕地综合治理后的配对选优, 高光效高固氮大豆-根瘤菌共生固氮体系增产优势象岗平地土壤中应用一样, 可以发挥很好作用, 获得大豆的增产。大豆增产的主要原因, 从表7可

看到是由于增加了大豆的光合作用强度和根瘤固氮酶活性, 从而使大豆植株木质部汁液中合成输向大豆种子的产物——酰脲(Ureide)含量由288 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ 增加到3866 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, 增加了10倍以上, 因此提高了大豆籽粒的产量, 与国际上一致^[7]。

大豆叶片的光合作用和根瘤的固氮作用, 由于它们在理论上及生产实践中的特殊重要性, 历来受到人们的重视。我们的试验再次证

表7 低湿耕地综合治理后应用高固氮大豆根瘤菌的增产效果

Tab.7 Effect of comprehensive reclamation combined with inoculation with high N₂-fixation *S. fredii* strain on soybean yield

项目 Item		株高 Stalk height (cm)	主茎节数 (个·株 ⁻¹) Node of stalk (Number/ plant)	光合作用强度 Photosynth- etic rate (mg dm ² ·h)	固氮酶活性 Nitrogenase activity (n molC ₂ H ₄ ·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	脲酶 Ureide (mg· ml ⁻¹)	大豆种子产量 Soybean yield	
							(g·m ⁻²)	%
综合治理模式区 Comprehensive reclamation plot	对照 Non-inoculated	46.3	12.1	2.5	2040	288	145.8	100.0
	接菌 Inoculated	53.9	14.4	7.5	4037	3866	194.9	133.6
对照区 Control	对照 Non-inoculated	46.4	12.8	—	860.1	—	125.6	100.0
	接菌 Inoculated	46.9	13.1	—	2334.5	—	159.7	127.1

注：大豆品种：合丰25。

实了“六五”科技攻关结论的正确性，低湿耕地与普通耕地一样，接种根瘤菌的大豆植株叶片净光合速率是不接种根瘤菌(或当地土著根瘤菌形成的根瘤)大豆叶片的两倍以上，这种光合作用强度的提高，当然与共生固氮氮素营养充足条件下光合机构的良好发育有关。譬如在我们试验中看到大豆叶绿素含量提高，气孔阻力减少，及在共生固氮的氮素营养充足条件下光合作用关键酶，即RuBP羧化酶含量的提高，都有密切的关系。但大豆叶片的光合作用对大豆根瘤固氮作用的影响是比较直接的，速度较快；而根瘤固氮作用对大豆叶片光合作用的影响是比较间接的，是先通过对光合机构发育的促进而影响到光合作用的，所以发生影响的速度比较缓慢，需3天以上才能看到有较明显的变化。而大豆叶片的光合作用对大豆根瘤固氮作用的影响则在当天就可十分明显地测定出来^[1]。不同大豆品种与根瘤菌经过人工的配对选优，选出一对亲合力强且具有高光效高固氮互促效应的大豆-根瘤菌共生体系，在大豆生产中应用以提高大豆的产量，确实是有重要理论意义和实际意义的^[1,6]。这在低湿耕地大豆增产综合技术的配套措施中，也是十分重要的措施。

3.3.5 以低湿耕地为主的大面积科技攻关对大豆的增产效益及低湿耕地面貌的更新 根据三江平原850示范区领导小组、专家组及850农场示范区三江攻关办公室1989年8月25日的总结汇报统计，1986—1988 3年中，以低湿耕地为主的科技攻关，大豆试验田的累计达1590 ha，平均产量2583kg·ha⁻¹，较攻关合同指标2250kg·ha⁻¹增产14.8%，较“六五”大豆平均产量1398.8kg·ha⁻¹增产84.7%，每公顷效益1071元，总效益达170.3万元，示范推广田面积4718ha，大豆平均产量为2229kg·ha⁻¹，比攻关合同指标产量1875kg·ha⁻¹提高18.8%，较“六五”的大豆平均产量1098kg·ha⁻¹增产76.5%，每公顷效益911.1元，总效益430万元。以上两项累计总效益为600.3万元。这是跨部门、多学科在低湿耕地对大豆进行联合科技攻关共同所取得的科技成果。

4 讨论

4.1 三江平原850示范区14队低湿耕地土壤中有益微生物数量很少，而作物病原菌较多，特别是草甸低湿地中，至今还没有发现大豆根瘤菌的存在，自生固氮菌的数量也极少。低湿耕地综合治理(模式田)4年后，大豆根瘤菌数量明显增加，模式田较低湿耕地一般开发田的大

豆根瘤菌多 5 倍以上，已接近当地岗平地的水平。

4.2 低湿耕地综合治理后主要解决了土壤中水的问题，因而改变了土壤理化性质和土壤微生物生态，综合地表现在(如1988年春涝阶段测定)土壤承载力上。模式田土壤承载力为 5.42 kg·cm⁻²，而一般开发的对照田仅 0.83kg·cm⁻²，前者能进行正常的农业机械化作业，而后者则无法进行，只能撂荒。

4.3 低湿耕地综合治理后，特别是农业机械化配套耕作措施和生物技术措施三结合技术的实现，充分地改善了低湿耕地土壤中理化性质，土壤微生物区系和大豆共生体系生长发育的生

境，从而促进了大豆叶片的光合作用强度的提高。耐低湿、抗农药、高固氮大豆根瘤菌固氮作用的发挥，产生了光合与固氮的互促效应，也由于低湿耕地大豆生长发育的生态环境因子的改善，促进了高光效高固氮大豆共生体系内部物质的良性循环与能量的合理转换，所以促进了大豆产量的提高。联系“六五”大豆攻关所取得的成果，我们认为低湿耕地综合治理用农田工程技术、农业机械化耕作(以深松深耕、三垄耕作为主)和生物技术措施(以高光效高固氮大豆共生体系配套技术为中心)三结合的调控相互关系，与促进大豆生产量关系如图 1 所示。

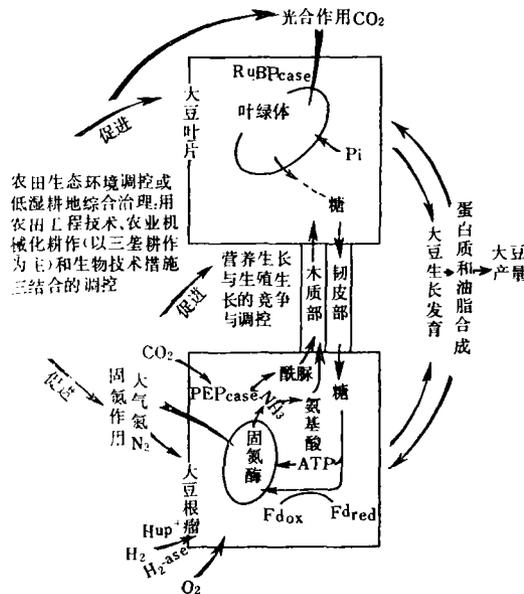


图 1 低湿耕地综合治理：用农田工程技术、农业机械化耕作(以三垄耕作为主)和生物技术措施(以光合作用与固氮作用相互促进理论基础为核心，以及精量点播、病虫害防治、化学灭草等)的三结合调控，促进大豆增产示意图

Fig.1 A scheme for comprehensive reclamation of the boggy bottomland: using the combination of field engineering, mechanizing tillage and biotechnological measures (based on the mutually improvement of photosynthesis and nitrogen fixation) to increase the yield of soybean.

4.4 “七五”期间突破了对耐低湿、抗农药、高固氮快生型大豆根瘤菌的选育与应用，使大豆产量大幅度地增加，并由于可与农药同时使用，不仅使用方便，而且做到既能防治大豆立

枯病又能促进大豆共生固氮和提高大豆产量。

4.5 选育出了能适应低湿耕地良好生长发育的高光效大豆新品种82-7799、密植1号和绥农8号等新品种，这对三江平原低湿耕地大豆产

量的提高将是很好的信息。

4.6 经电子计算机的帮助, 结合当地大豆生产的经验, 求得了大豆增产综合技术的数学模型, 并根据回归方程找到了产量 $3000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 大豆增产最佳组合和大豆栽培规范化农业新技术, 其核心的要点是:

秋起垄, 分层施肥 施氮肥(纯氮)
 垄底深松 \rightarrow 土壤耕层有机质 \rightarrow $45\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$
 $30-35\text{cm}$ 含量 $4-6\%$ P_2O_5 107.25
 施肥深度(种肥) 10cm $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

\rightarrow 种子处理, 在实验室可控条件下, 进行大豆-根瘤菌的配对选优基础上, 拌种每公顷用耐低湿、抗农药高固氮根瘤菌液 405ml ($3\times 10^8-8\times 10^8$ 个菌/ ml) 钼酸铵 210g , 农药按常规使用多福粉(2:1)进行拌种, 药量为种子重的 3% 。
 化学灭草(赛克+杜尔)

垄上双条播(精量点播) 苗期中耕
 \rightarrow 双条播行距 68cm , 每 \rightarrow 深松深度
 公顷保苗 46.5 万株 31cm

\rightarrow 病虫害防治, 及有关高光效高固氮共生体系光合与固氮互促作用的调控 \rightarrow 收获

4.7 低湿耕地综合治理后大豆增产效果明显, 经济效益显著, 对微地形变化复杂的哑巴涝低湿耕地, 可以“模式田”方式进行综合治理, 以提高粮豆的产量。

参 考 文 献

- 1 许大全、王书锦、沈允钢、张宪武。1989。大豆-根瘤菌共生体系光合与固氮关系研究。植物学报, 31(2): 103-109.
- 2 张红缨、王书锦。1987。大豆植株木质部汁液中脲脲(Ureide)测定的新方法。大豆科学, 6(1):60-61.
- 3 葛继尚、王书锦等。1985。生态环境因子对大豆共生固氮和增产影响的研究。生态学杂志, (5):1-6.
- 4 王书锦、傅沛云。1989。中国东北地区野大豆及其共生根瘤菌的生态分布与特性研究。微生物学杂志, 9(3):35-40.
- 5 王书锦、薛德林。1987。中国东北地区不同土壤类型中快生型大豆根瘤菌的生态分布及鉴定。微生物学杂志, 7(2增刊):18-26.
- 6 薛德林、侯立白。1988。大豆与快生型及慢生型根瘤菌配选优的研究。沈阳农业大学学报, 19(2):15-21.
- 7 Atkins, C. A. 1984. Ureide metabolism and the significance of ureides in legumes, in Subba Rao ed. *Advances in Agricultural Microbiology*. Oxford, 53-88.
- 8 Vincent, J.M. 1941. Serological studies of root-nodule bacteria I. Strains of *R. meliloti*. *Proc. Linn. Soc. (N.S.W.)*, 66:145-154.