

# 白浆土大豆结瘤及其固氮状况

汤 树 德

(黑龙江农垦大学)

黑龙江省是我国大豆主要产区,在国营农牧场中大面积机械化生产条件下,大豆的种植面积约占耕地面积的三分之一左右。一般认为,大豆与根瘤菌的共生固氮作用所固定的氮,能提供大豆整个生育过程中对氮素需要量的二分之一到三分之二。然而,在大田生产实践中,由于土壤类型、肥力水平、气候条件、前作、品种、施肥等因素的综合影响,使大豆在田间的共生固氮效率产生了很大的差异。

为了阐明外界因素对大豆共生固氮作用的影响,于1965—1973年在白浆土上布置了小区和大田试验,同时对生产田的大豆植株的共生固氮情况进行了调查。通过调查试验,进一步了解了植株的生育与共生固氮的关系,以及施肥、连作对大豆共生固氮的影响,为评价大豆栽培管理水平和制定大豆栽培技术措施提供科学依据。

## 一、调查研究方法

豆科作物根瘤的固氮效率与宿主作物的生育状况具有高度的相关性。根据这个原理,采用了田间植株调查的方法(胡济生、谢寿长,1964;谢寿长,1964),分别统计每一大豆植株根系上的有效瘤和无效瘤。部分资料进行生物学统计。除生产田采样调查外,还布置了小区和大田试验。试验的大豆品种为“东农一号”。试验土壤属岗地白浆土,土壤农业化学性状见表1。试验分为小区和大田试验。

表1 试验土壤(白浆土)的农业化学性状(1965年)

试验类别	前季作物	全氮(N%)	全磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	活性有机质(%)	水解性氮(N毫克/100克)	水解酸(毫克当量/100克)	速效磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 毫克/100克)
小区	小麦	0.150	0.150	3.19	4.78	3.07	1.50
大田	大豆	0.220	0.133	3.39	12.90	4.09	5.75
大田	二年大豆	0.153	0.155	3.27	4.65	2.81	4.27

小区试验:小区面积  $4.55 \times 10 = 45.5$  米<sup>2</sup>,五次重复,随机排列。处理有CK—无肥对照区;N—播种时每亩条施硫酸铵20斤;P—播种时每亩条施过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 19%)33斤;NP—N + P。

大田试验:试验地置于邻近小区试验地,试验处理为不连作(前作玉米)、连作二年和连作三年大豆的基础上每亩施用过磷酸钙33斤和微量元素钼肥(按100斤种子拌钼酸铵25克计算)。各处理面积约50—80亩,按当地一般水平管理。

## 二、结果及其讨论

### (一) 大豆结瘤状况同植株生育的相关性

1965 年对小区和大田试验所有处理区的 2250 株大豆植株进行了调查,发现大豆盛花期,有效根瘤鲜重与植株干重、株高皆有显著的正相关关系。前者相关程度比后者为高。

1973 年对我校农场不同的大豆生产田的地块调查结果,同样表现出上述规律(表 2)。由于地块的生态条件不同,上述相关性表现程度也不一样,结果表明,结瘤状况越好的地块,相关程度就越高。

表 2 不同地块大豆有效瘤鲜重同所附植株鲜重的相关性 (1973 年)

地 号	土壤类型	前 作	相关系数 (r)	显著性 (t) 测定		
				tr	t	P
1	岗地白浆土	玉 米	0.5091	7.506	2.601	<0.01
3	草甸白浆土	小 麦	0.7021	11.328	2.616	<0.01
4	草甸白浆土	大 豆	0.5931	6.712	2.638	<0.01
5	草甸白浆土	大 豆	0.7754	12.581	2.626	<0.01

注: 1. 每一地号调查株数为 10 (株) × 20

2. 所有地号在播种的同时每亩施用硝酸铵和过磷酸钙 (1:1) 20—25 斤

资料的统计分析证明,大豆生长发育和干物质的积累同该植株的结瘤状况有着密切的联系。但是,这种正相关关系,只能在大豆结瘤良好的植株(中级、优级)上才能明显表现出来。在结瘤状况处于劣级植株中,由于该类植株着生的根瘤,绝大多数属无效的寄生瘤。显然,不能期望寄生者给予寄主以良好影响 (Доросинский и др., 1960), 所以,上述相关性不显著(表 3)。

表 3 大豆劣级结瘤植株中有效和无效瘤鲜重同植株鲜重的相关性 (1973 年)

地号与土壤类型	前 作	根瘤性质	单株根瘤鲜重(克)		相关系数 (r)	显著性 (t) 测定		
			变异幅度	$\bar{x} \pm s$		tr	t	P
2 号地 岗地白浆土	大豆	有效瘤	0—0.70	0.116 ± 0.128	0.2251	2.289	2.008	>0.05
		无效瘤	0.10—1.25	0.331 ± 0.230	0.1745	1.465	2.008	>0.1

注: 在该地号的调查植株中有 22% 完全不着生有效性瘤

表 3 表明,该地块大豆植株无效瘤占优势,虽然同一植株上也着生有效瘤,由于数量不多,所以它们给予宿主植物的有益影响也就难以反映出来。

鉴于大豆根瘤固氮效率同宿主植物的生长发育有着高度的相关性,因此,有效共生体系植株与无效共生体系植株的生育状况的差异必然明显(表 4)。由于大豆植株同其根瘤菌的有效共生,不但提供了植株的部分氮素营养,而且还改变了植株体内的代谢机能(串

表 4 大豆有效和无效共生植株生育状况和体内氮磷含量的差异(盛花期, 1965 年)

试验类别	植株类别	株高 (厘米)	地上部 干重 (克/株)	根干重 (克/株)	有效瘤 鲜重 (克/100 株)	全氮(N%)			全磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)		
						根	茎	叶	根	茎	叶
小 区	无效植株	52.5 (100)	3.05 (100)	0.98 (100)	2.71 (100)	2.17 (100)	2.51 (100)	3.59 (100)	0.256 (100)	0.233 (100)	0.244 (100)
	有效植株	58.7 (112)	8.06 (265)	2.00 (204)	38.20 (1410)	2.25 (104)	2.71 (108)	3.76 (105)	0.283 (111)	0.292 (125)	0.375 (154)
大 田	无效植株	43.3 (100)	3.52 (100)	0.66 (100)	2.98 (100)	2.37 (100)	2.24 (100)	3.75 (100)	0.288 (100)	0.250 (100)	0.281 (100)
	有效植株	56.1 (130)	6.59 (187)	1.46 (221)	36.18 (1215)	2.76 (117)	2.48 (111)	4.28 (114)	0.350 (122)	0.316 (126)	0.350 (125)

注: (1) 差异显著性 (t) 测定: N-n = 20, t = 3.540, P < 0.01; P-n = 20, t = 7.747, P < 0.01

(2) 表中括号内为相对数值, 以下表内皆同

崎光男等, 1964), 促进了根系对土壤养分的吸收和利用。在生产实践中, 如忽视这一共生体系的有效性而采取不合理的农业措施时, 将不可能获得预期的经济效果, 而且无机氮肥也难以弥补根瘤给予宿主植株的效益 (Доросинский и др., 1962; Ратнер, 1964)。

## (二) 无机肥料对大豆结瘤状况及其固氮的影响

大豆栽培中, 如忽视了大豆的结瘤特性而采取了不合理的施肥措施, 则不仅不能获得预期的经济效应(包括固氮量和籽实产量), 甚至还要负占丧失共生固氮作用的收益。在生产实践中, 也往往见到增施无机氮肥而不增加籽实产量的现象。

田间小区试验表明, 在白浆土上亩施 20 斤硫酸铵作种肥时, 已完全阻抑了大豆根瘤的固氮作用。该试验区大豆植株全是劣级结瘤植株(表 5)。大豆苗期调查说明, 无机氮肥可强烈抑制根瘤的形成和发育, 施氮区单株结瘤个数和百株根瘤鲜重为 0.7 个和 0.15 克; 而无肥区则为 7.2 个和 1.60 克。但是, 施氮区的大豆植株鲜重比无肥区高 41.2%。

表 5 无机氮磷肥对大豆结瘤状况及其固氮作用的影响(小区试验, 1965 年)

小区处理	结瘤植株(%)			有效植株固氮率(%)		固氮指数	固氮量 (N斤/亩)
	优 级	中 级	劣 级	最 高	平 均		
CK	12.50	56.25	31.25	63.11	52.02	0.358	6.58
N	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.000	0.00
P	75.00	25.00	0.00	64.02	55.03	0.580	10.88
N + P	0.00	33.33	66.67	41.78	41.78	0.139	4.38

注: 1. 有效植株为优、中级结瘤植株

2. 固氮指数为有效植株百分率和有效植株平均固氮率的乘积

为了进一步证明无机氮肥对大豆结瘤的抑制作用, 于 1973 年在本校大豆品种试验地上进行了氮肥对大豆结瘤的影响试验。试验是在大豆播种时亩施 10 斤硝酸铵和 10 斤过磷酸钙, 分枝期又追施硝酸铵 10 斤的条件下进行。花期调查了 20 个品种, 每品种调查 10 株。结果表明, 20 个品种的调查植株着生的根瘤, 极大部分为无效或低效瘤, 很难找到优级瘤。但是, 在邻近未施氮肥的生产田中, 大豆(品种为“合交 6 号”)单株平均有效瘤达  $7.26 \pm 2.51$  个, 鲜重为  $0.327 \pm 0.113$  克。看来白浆土大豆根瘤的有效性受无机氮肥的

抑制作用较为敏感。

磷肥试验表明,在缺乏有效磷素的白浆土中,施用有效性磷肥能大大改善大豆结瘤及其固氮状况(表 5),着生优级瘤植株的数量有显著的增加(约 5 倍);小区固氮指数增高 34.1%,每亩增产纯氮约为 4.30 斤。此外,在施用无机氮肥的同时,施入有效磷肥虽能极大地减轻氮肥对大豆结瘤有效性的阻抑作用,但是,每亩固定的纯氮量比未施肥对照区损失约 2.20 斤。看来,无机氮对大豆结瘤及其固氮的阻抑程度,还取决于土壤的有效磷素水平。

磷肥对大豆生育的有利影响,在苗期就已显现出来,单株结瘤量的增加尤为明显,施磷区单株根瘤个数和根瘤鲜重比无肥对照区分别提高 47.2% 和 196.9%。就是在大豆连作三年、植株结瘤状况极度恶化的田块上施用磷肥,亦能获得显著效果(表 6)。在白浆土上施用过磷酸钙作为大豆种肥,在不连作情况下,能提高田间固氮指数达 0.222;在连作情况下,提高 0.187。施磷后,田间固氮量每亩增加纯氮约 3.4—4.3 斤,即每亩施 1 斤  $P_2O_5$  可增氮约 0.6—0.9 斤。

表 6 连作对大豆结瘤及其固氮的影响(大田试验,1965 年)

连作年次	施肥处理	结瘤植株(%)			有效植株固氮率(%)		固氮指数	固氮量(N斤/亩)
		优 级	中 级	劣 级	最 高	平 均		
一 年	磷 肥	50.40	34.30	15.30	68.13	54.44	0.461	8.63
二 年	无 肥	7.84	64.22	27.94	64.00	55.11	0.398	6.00
三 年	无 肥	0.00	14.41	85.59	36.00	36.00	0.052	0.98
	Mo	0.00	35.81	64.19	43.64	43.64	0.156	2.96
	Mo + P	0.00	69.67	30.33	47.81	47.81	0.343	6.36

注: Mo—钼肥, Mo + P—钼肥+磷肥,以下同

微量元素钼肥对豆科作物的增产效益早已肯定。在白浆土上钼对大豆的增产效应是显著的(朱洪等,1963; 邹邦基等,1965)。由于钼肥能提高土壤中根瘤菌对不利的生长条件(如干旱、酸性反应、活性铝离子高等)的抵抗力(Ратнер, 1964),从而提高了大豆植株的结瘤量,并促进根瘤形成和发育。所以在理化性状不良的白浆土中,更显出钼对大豆结瘤和生育状况的有利效应(表 6, 7)。例如,在大豆连作结瘤状况极度恶化的情况下,施钼后,大豆有效根瘤鲜重增加 87%,田间固氮指数提高 0.104,每亩增氮约 2 斤。

表 7 钼对大豆有效共生植株生育和氮磷含量的影响(大田试验,盛花期,1965 年)

处理	株高 (厘米)	地上部干重 (克/株)	根干重 (克/株)	有效瘤鲜重 (克/100株)	全 N(%)		全 $P_2O_5$ (%)	
					根	叶	根	叶
CK	49.8 (100)	3.48 (100)	0.92 (100)	11.5 (100)	2.45 (100)	3.99 (100)	0.275 (100)	0.275 (100)
Mo	51.1 (103)	5.58 (160)	0.95 (104)	21.5 (187)	3.84 (157)	4.22 (106)	0.400 (146)	0.325 (111)
Mo+P	55.7 (112)	6.39 (184)	1.62 (176)	25.7 (224)	—	—	—	—

微量元素钼肥和磷肥混合用作种肥,其效果更为显著,大豆有效瘤鲜重比对照增加124%;固氮指数提高0.291;每亩增加氮素约5斤,这充分证明磷钼混合施用的协同效应。由于钼肥能促进大豆对磷的吸收和利用(朱淇等,1963;Ретнер,1964),提高磷肥效果,只有在有效态钼存在下,才能发挥“以磷增氮”的生物学效应。从分析大豆有效共生植株生育状况的改善及其体内氮磷含量的增高(表7),也说明了钼在大豆营养生理中的重要地位。

通过上述资料的分析,我们认为,在当前生产水平下,大豆以磷、钼混合作种肥,是一种提高共生固氮效率的有效经济的施肥方法。

但是,在一般土壤中,单靠根瘤菌同大豆植株共生固氮作用所提供的氮素营养,显然是不能满足大豆籽实高产的需要。因此,在生产实践中,既要考虑到在不损伤而又最大程度发挥共生固氮作用的同时又能满足大豆高产对氮素的要求,乃是当前大豆栽培中尚待研究解决的重要课题。

### (三) 连作对大豆结瘤状况及其固氮的影响

大豆连作经常造成大幅度的减产,并随着连作年次增加,大豆产量急剧下降。为了了解大豆连作对植株结瘤和固氮状况的影响,我们设置了较大面积的田间试验,对大量植株进行了调查分析(表6,8)。

资料表明,在连作三年的地块中,已很难发现着生优级瘤的大豆植株,一般有效结瘤植株仅占14.41%,结瘤劣级的植株却增至85.59%,田间固氮指数也急剧下降至0.052。估计该地块大豆植株的氮素营养总量中约5%左右的氮素是由根瘤固氮所提供,所以单位面积固氮量仅在1市斤以下的水平。这种情况下施用磷、钼肥虽能大大改善结瘤和固氮状况,但仍然不能完全弥补连作所带来的损失。

通过对根瘤寿命及其组织切片的观察表明,连作三年的大豆植株,初花期时,多数根瘤开始衰败或完全衰败而干瘪,保留下来的少数有生活力的根瘤,多分布在二、三级侧根上,其根瘤剖面颜色为灰白、淡黄至青绿色,含菌细胞组织的体积明显小,约为有效瘤的二分之一—三分之一左右,据报道,这些多数是无效性瘤(陈华癸,1965)。

表8 连作年次对大豆生育和氮磷含量的影响(盛花期,1965年)

连作年次	株高 (厘米)	地上部干重 (克/株)	根干重 (克/株)	有效瘤鲜重 (克/100株)	全N(%)			全P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)		
					根	茎	叶	根	茎	叶
一年	63.4 (100)	9.09 (100)	2.31 (100)	62.3 (100)	2.53 (100)	2.64 (100)	3.42 (100)	0.375 (100)	0.350 (100)	0.450 (100)
二年	60.5 (95)	8.41 (92)	1.50 (65)	59.8 (95)	2.22 (88)	2.41 (91)	3.54 (103)	0.350 (93)	0.325 (93)	0.350 (78)
三年	49.8 (79)	3.48 (36)	0.92 (40)	11.5 (18)	2.45 (97)	2.40 (90)	4.00 (117)	0.275 (73)	0.275 (79)	0.275 (61)

植株分析(表8)表明,随着连作年次的增加,植株根、茎、叶中氮磷含量也随之降低。

资料分析说明,大豆连作引起结瘤状况急剧恶化,乃系植株生育恶化所致。而结瘤状况的恶化,必将对植株生育和籽实产量产生不利影响。当然,植株生育状况还受其它多种因素(如土壤营养条件、光合效率、病虫害等)影响,也直接或间接影响结瘤状况。总之,大

豆连作减产的原因是一个复杂的生物学问题,其因果关系尚待进一步研究。

#### (四) 生产大田的大豆结瘤及其固氮状况

近十多年来,在黑龙江省的大豆栽培中,几乎没有进行过根瘤菌剂的接种。在长年不接种的情况下,单凭土著根瘤菌的自然感染而形成根瘤,其结瘤状况如何? 共生固氮效率怎样? 是当前大豆栽培中需要了解的问题。

从前后相隔 7 年的两次调查所得资料(表 9) 说明, 生产大田的大豆有效共生固氮植株数量、固氮指数和固氮量, 在不同田块或地段上相差的范围很大, 有些田块(或地段)已完全丧失了共生固氮作用, 而个别田块固氮率虽可达到 50% (即固氮指数 0.500) 左右, 但由于大豆植株及其籽实产量很低, 所以单位面积固氮量最高的只有 10 斤左右。两次调查的平均资料, 田间固氮率为 28.3% (即固氮指数 0.283), 每亩固氮量折合纯氮 5.3 斤。在两次调查的全部大豆植株中, 近半数的植株氮素营养几乎完全来自土壤, 共生固氮作用已丧失殆尽。

表 9 生产大田大豆共生固氮田间调查统计

年份	田块或地段数	大豆籽实产量水平(斤/亩)	有效共生植株(%)		固氮指数		固氮量(N斤/亩)	
			变幅	平均	变幅	平均	变幅	平均
1965	9	94—157	0—100	53.5	0—0.580	0.276	0—10.88	5.17
1973	6	105—148	0—89.6	61.0	0.061—0.497	0.289	1.14—9.32	5.42

为了进一步了解植株的结瘤状况, 对两个地块上的植株进行了根瘤分级调查。表 10 说明, 单株不同瘤级的结瘤数量变化都很大, 其中级瘤的变化更为突出。着生优级瘤的植株仅占 10% 左右, 多数单株只有 1—5 个优级瘤。调查植株的 96% 都着生劣级(无效)瘤, 其个数远较优级瘤为多。

表 10 6号地大豆植株不同瘤级个数的分布(1973年)

级	单株结瘤个数		着生各级瘤数的植株百分数					
	变幅	$\bar{x} \pm s$	0个	1—5个	6—10个	11—15个	16—20个	21—30个
优	0—7	0.25±0.83	90.1	8.4	1.5	0.0	0.0	0.0
中	0—28	9.42±6.55	4.2	30.0	31.0	19.3	10.5	5.0
劣	6—19	5.09±4.13	4.0	45.5	27.2	9.3	9.0	5.0

注: 1. 调查 190 株, 品种“合交 6 号”

2. 表中着生各级瘤数的植株百分数数字系根据单株上不同瘤级根瘤个数分布统计的植株百分率

从另一田块的大豆植株上有效和无效瘤鲜重在单株上的分布情况(表 11) 表明, 该田块大豆植株以无效瘤着生占绝对优势, 其单株瘤鲜重为有效瘤的 2.85 倍。占调查植株 22.6% 的单株完全不着生有效瘤(包括优、中级瘤); 约占 40% 的植株着生有效瘤, 鲜重均在 0.1 克以下; 32% 的植株有效瘤的鲜重只有 0.15—0.30 克。无效瘤鲜重的分布恰相反, 100% 植株都着生无效瘤, 大部分单株无效瘤鲜重为 0.15—0.50 克; 17.7% 的植株其无效瘤鲜重可达 0.55—0.70 克。

从上述大田调查资料表明, 在白浆土地区大面积机耕作业条件下, 大豆植株的自然结

表 11 2号地块大豆植株不同瘤级鲜重的分布(1973年)

瘤 级	单株结瘤鲜重(克)		着生各级瘤鲜重的植株百分数				
	变幅	$\bar{x} \pm s$	0 克	<0.10克	0.15—0.30克	0.35—0.50克	0.55—0.70克
有效(优、中級)	0.00—0.70	0.116±0.128	22.6	40.0	32.1	3.5	1.8
无效(劣級)	0.05—1.25	0.331±0.230	0.0	13.1	39.2	30.0	17.7

注: 调查 50 株, 品种“合交 8 号”

瘤状况不是很好的, 远远没有发挥其共生固氮作用的效益, 有的甚至已完全丧失了共生固氮作用。我们认为, 改变大豆连作制, 适量施用氮肥, 增施有效磷肥和微量元素钼肥, 能明显的改善大豆植株的结瘤状况, 提高田间固氮率。

### 参 考 文 献

- 朱洪、梁之婉、陈恩凤, 1963: 不同土类上施用微量元素与大豆生长、发育、产量及品质的关系。土壤学报, 第 11 卷 4 期, 417 页。
- 邹邦基、朱洪、张玉英, 1965: 钼肥效应及与其它肥料施用的关系。中国科学院林业土壤研究所集刊, 第 3 集, 107 页。
- 胡济生、谢寿长, 1964: 应用大田简法调查豆科根瘤菌的有效性和固氮量。中国农业科学, 第 3 期, 44 页。
- 谢寿长, 1964: 豆科根瘤菌固氮效率大田调查法的简单介绍。中国农业科学, 第 8 期, 52 页。
- 串崎光男、石塚洞尔、赤松房江, 1964: 大豆的营养生理研究(第 1 报)根瘤菌的着生状况对大豆生育、产量和养分吸收的影响。日本土壤肥科学杂志, 第 35 卷 9 期, 319 页。
- 陈华癸编, 1965: 豆类—根瘤菌的共生关系及其农业利用。40 页, 138—140 页, 上海市科学技术编译馆出版。
- Доросинский Л. М., Лазарева Н. М. Шамин А. А., Шехонина Е. Н., 1960: Взаимоотношение люпина с активными и неактивными клубеньковыми бактериями. Тр. Всес. н.-и. института с.-х. микробиол., Том. 16: 94.
- Доросинский Л. М., Лазарева Н. М. и Емцев В. Т., 1962: Роль клубеньковых бактерий в азотном питании бабовых растений. Микробиология, Том. 31, №6, 1061.
- Ратнер Е. И., 1964: Молибден и проблема биологического азота в земледелии. Известия АН СССР, серия биол., № 2, 223.

## STUDY ON THE NODULATION AND NITROGEN FIXATION OF SOYBEAN IN LESSIVE SOILS

Tang Shu-de

(*Heilongjiang Agricultural College*)

### Summary

The results of experiments and investigations on the symbiotic nitrogen fixation of soybean in lessive region in Heilongjiang Province are summarized as follows:

1. In symbiotic system, the soybean nodulation showed a high positive correlation with the plant growth. Under different ecological conditions, the divergency in the correlation increased with the increasing rate of nodulation.

2. In the early stage of growth, nitrogen fertilizer showed sensitive inhibition effect on the nodulation for 20 soybean varieties, whereas phosphate fertilizer produced favorable effect on the growth, nodulation and the rate of nitrogen fixation of soybean. The application of phosphate fertilizer together with molybdate showed more favorable effect on the symbiotic system.

3. The intensive decline of the plant growth, the rate of nodulation and the yield of the soybean were resulted by the continuous cropping of this crop. Application of phosphate and molybdate fertilizers, although improved the rate of nodulation and nitrogen fixation, could not correct the unfavourable effect resulted from continuous cropping.

4. Under the condition of mechanized cultivation, a significant variation in the rate of natural nodulation of soybean appeared. In some fields, even no any symbiotic fixation of nitrogen took place, and in a few fields, the rate of nitrogen fixation reached 50 per cent. The highest amount of fixed nitrogen was about 0.33 kg/ha, with an average figure of 0.18 kg/ha from 15 scattered locations.