

一年生豆类作物固氮力及后效的研究

王留方 王立祥 付增光 范芳强

(西北农业大学农学系)

摘 要

利用“差量法”研究了八种一年生豆类作物的固氮力,结果表明:花期后固氮率达60—70%,增施氮肥降低固氮率,增施磷肥提高固氮率。在瘠薄的土壤上,一年生豆类作物植株总氮量约1/3来自土壤,2/3来自空气;但地力高时则相反,2/3来自土壤,1/3来自空气;地力更高时,则全部来自土壤,即使氮磷合理配合,来自空气的最多不超过1/3。种植一年生豆类作物后,土壤氮量较种豆前减少,靠根茬氮的返还不能补偿这一亏损,表明种豆后的茬地土壤肥力有所降低,茬地后效生物学检验证实了这一结论。一年生豆类作物由于根瘤菌的共生固氮作用,固氮量可达10斤/亩以上。

关键词 豆类作物;固氮率;差量法;茬地土壤肥力;氮返还率;生物固氮;生物学检验

各国学者对豆类作物的固氮作用开展了广泛的研究,由于研究的条件和手段不同,所得结果差异甚大。因此进一步探查豆类作物的固氮能力,正确评价豆类作物在现代农业中的作用,有着重要的理论意义和实践价值。为此,我们自1979—1985年,利用盆栽法,对不同豆类作物的固氮作用及后效进行了较系统地研究。

材料与方 法

豆类作物固氮率的测定,采用“差量法”,即播种前取土样测得基础含氮量,收获后取土样,仔细拣除根茬,测得残留氮量,并设空白对照。收获取土后,冲洗根系,连同地上部分放入烘箱烘至恒重,准确称量植株各部分(包括生长期间拣拾的落叶、落花等)干重,并分析测得含氮量,用以下公式求得固氮率^[注]:

$$\text{固氮率(\%)} = \frac{\text{植株总氮量} - (\text{土壤基础氮量} - \text{土壤残留氮量})}{\text{植株总氮量}} \times 100$$

后效测定是在与固氮率测定相同处理的另一组盆栽试验中进行。豆类作物收获后,随即将根茬剪碎翻入试盆,适量浇水,夏季休闲,秋季播种小麦,测定小麦产量,并确定后效。

*冯宝荣、李天林参加了部分工作。

本文于1985年12月4日收到。

〔注〕固氮率指豆类作物因根瘤菌的共生固氮作用,从空气中固定的氮素占植株总氮的百分数。

试验设以下处理:

1. 不同生育时期固氮率

分苗期、蕾期、花期和成熟期四期。苗期指夏播豆类作物生长30天左右;蕾期指现蕾期;花期指开花期;成熟期至种子完熟。

2. 土壤氮水平与固氮率

分低氮,即不施氮肥;中氮,每盆施尿素3克,折每亩施纯氮26斤;高氮,每盆施尿素6克,折每亩施纯氮52斤。前者代表瘠薄土壤不施氮肥的水平,中间代表目前较高施氮水平,后者代表过量施氮水平。

3. 土壤磷水平与固氮率

分低磷,即不施磷肥,代表瘠薄土壤不施磷的水平;中磷,每盆施三料过磷酸钙2克,折每亩施 P_2O_5 17斤,代表目前较高施磷水平;高磷,每盆施三料过磷酸钙4克,折每亩施 P_2O_5 34斤,代表过量施磷水平。

4. 土壤氮磷配合水平与固氮率

不同氮磷配合处理见表1。

试验采用盆栽土培法,重复三次,在西北农业大学盆栽试验场进行。供试土样采自“西农”农作一站大田除去表土的下层土壤,过筛后充分混合均匀,摊薄风干。装盆前再次充分混合,边装盆边取土样,混合后作为基础土样(表2);同时取样测定基础土样的含水量。采用 30×30 cm(直径 $\times$ 高)的瓷盆,每盆装土45斤。装盆后多次浇水,使土壤自然下沉及充分吸水,待水分完全下渗、表土无积水时,播种并覆土。出苗后及时定苗(每盆留苗3株),认真进行管理,随时拣拾落叶、落花,准确计量重量。收获时每盆分三点取全土层土样,仔细拣除根茬,置室内摊薄阴干,磨碎过筛,装瓶备用。取土后收获地上部分,并仔细冲洗根系,放入烘箱先以 $105-110^\circ\text{C}$ 半小时杀死组织,后用 $50-60^\circ\text{C}$ 温度烘至恒重,连同生长期间拣拾的落叶、落花一并粉碎过筛,装瓶备用。采用开氏法测定土壤及植株各部分含氮量。

试验结果及分析

(一) 固氮率及固氮量测定

1. 不同生育期固氮率

生育期固氮率测试(表3)表明:一年生豆类作物苗期不固氮,蕾期除苧麻外其余仍不固氮,花期固氮率增至 $50-70\%$,至成熟期固氮率仍有提高,但增长甚少。

2. 土壤氮磷配合水平与固氮率

土壤氮磷施用量及配合水平,对一年生豆类作物固氮率显示出规律性的影响(表4): (1)在不施磷的情况下,固氮率随土壤氮的增加而下降,呈现规律性的变化。以不施氮肥的固氮率最高,达 $60-70\%$,八种豆类作物平均为 68.7% 。随着氮量增加,固氮率明显下降。中氮处理下降为 $30-40\%$,平均 33.4% 。至高氮处理一般不固氮。显然,

表1 不同氮磷配合处理

处 理		氮		磷	
		尿 素 (克/盆)	折纯氮 (斤/亩)	三料过磷酸钙 (克/盆)	折 P_2O_5 (斤/亩)
低 氮	低 磷	0	0	0	0
	中 磷	0	0	2	17
	高 磷	0	0	4	34
中 氮	低 磷	3	26	0	0
	中 磷	3	26	2	17
	高 磷	3	26	4	34
高 氮	低 磷	6	52	0	0
	中 磷	6	52	2	17
	高 磷	6	52	4	34

表2 各年基础土样氮磷有机质含量

年 份	全 氮 (%)	全 磷 (%)	有机质 (%)
1979年夏播豆类固氮力	0.0496	0.128	0.5635
1980年夏播豆类固氮力	0.0511	0.130	0.5567
1980年秋播豆类固氮力	0.0492	0.127	0.6311
1981年夏播豆类固氮力	0.0798	0.143	0.9918
1981年秋播豆类固氮力	0.0784	0.143	0.9467
1982年豌豆固氮力	0.0532	0.145	0.6762
1983年秋播豆类后效测定	0.0631	0.142	0.8114
1984年夏播豆类后效测定	0.0714	0.140	0.9129

表3 不同生育期固氮率

作 物	苗 期	蕾期	花期	成熟期
绿 豆	0	0	62.7	63.4
小 豆	0	0	69.0	71.6
大 豆	0	0	56.8	72.8
黑 豆	0	0	62.2	70.3
豇 豆	0	0	68.4	71.0
桤 麻	0	47	65.9	70.9
花 生	0	0	49.1	58.8
平 均	0	0*	62.0	68.4
变动范围	0	0—47	49—69	59—73

●不含桤麻

表 4
氮磷配合水平与固氮率

作物	低						中						高					
	低			中			中			高			低			中		
	低氮		固氮率	中氮		固氮率	低氮		固氮率	中氮		固氮率	低氮		固氮率	中氮		固氮率
	(1)	较减(1)增%		(1)	较减(1)增%		较减(1)增%	较减(1)增%		较减(1)增%	较减(1)增%		较减(1)增%	较减(1)增%		较减(1)增%	较减(1)增%	
绿豆	63.4	26.9	0	74.9	18.1	64.4	1.6	38.5	-39.3	69.2	9.1	63.9	42.5	-33.0	0.8	42.5	-33.0	0
小豆	71.6	35.2	0	76.1	6.3	58.6	-19.2	32.3	-54.9	71.9	0.4	60.1	30.7	-57.1	-16.1	30.7	-57.1	0
大豆	72.8	35.0	0	78.1	7.3	57.3	-21.3	12.0	-83.5	83.0	14.0	61.5	18.8	-74.2	-15.5	18.8	-74.2	0
黑豆	70.3	33.7	0	78.3	11.4	69.4	-1.3	37.7	-46.4	77.6	10.4	65.7	36.0	-48.8	-6.5	36.0	-48.8	0
豇豆	71.0	30.7	0	75.1	5.8	51.4	-23.2	18.0	-74.6	72.8	2.5	53.6	31.2	-56.1	-24.5	31.2	-56.1	0
桂麻	70.9	39.0	0	72.2	1.8	54.1	-23.7	39.5	-44.3	77.0	8.6	56.6	56.8	-19.9	-20.2	56.8	-19.9	0
花生	58.8	14.8	0	60.5	2.9	19.0	-67.7	0	/	69.0	17.3	33.0	0	/	-43.9	0	/	0
豌豆	70.8	51.5	0	76.0	7.3	58.3	-11.7	0	/	82.8	16.9	65.9	0	/	-7.0	0	/	0
平均	68.7	33.4	0	73.9	7.6	54.4	-20.8	29.7	-56.8	75.4	9.8	57.5	36.0	-47.6	-16.3	36.0	-47.6	0
变动幅度	59—73	15—52	0	61—78	2—18	19—69	-68—1.6	0—40	-39—-84	69—83	0.4—17	33—66	0—57	-74—-20	-44—0.8	0—57	-74—-20	0

注：花生、豌豆为一年测定结果，其它为 2—3 年测定结果平均（下同）。
● 不含花生、豌豆。

为培肥地力而种植豆类作物时,只有在较瘠薄的土壤上,才能充分发挥固氮作用。(2)增施磷肥可有效地提高固氮率,且随着氮量增加,增施磷肥对提高固氮率的作用更显著。如在低氮时,固氮率以不施磷的最低,平均为68.7%,随着施磷量的增加,固氮率提高,中磷处理为73.9%,高磷处理达75.4%,说明即使在瘠薄的土壤上,增施磷肥仍可有效地提高豆类作物的固氮率。但是,低氮水平下这种固氮率的差异,并不明显;至中氮处理时,三种磷水平的固氮率分别是33.4%、55.4%和57.5%,施磷与不施磷差异显著;高氮处理时,相应为0、29.7%及36.0%,施磷与不施磷有着固氮与不固氮的质的差别。该试验结果还表明,氮磷配合比例不同,固氮率不同,以低氮配高磷和中磷最高,八种豆类作物平均为75.4%和73.9%;次为低氮低磷,为68.7%;再次为中氮高磷和中氮中磷,为57.5%和54.4%;以高氮各处理最低。说明在瘠薄的土壤上种植豆类作物较氮素较高的土壤上可得到更好的固氮效果。若在氮素较高的土壤上种植豆类作物,必须配以适量的磷,否则固氮率极低,甚至不固氮。(3)八种豆类作物测试结果,低氮处理的平均固氮率是70—75%,中氮时降至33—58%,高氮时更低,为0—36%。该研究表明:在瘠薄土壤上种植豆类作物,其植物总氮的1/3来自土壤,2/3来自空气;在氮素较高的土壤上,则与此相反,植株总氮的2/3来自土壤,1/3来自空气,合理配以磷肥,可达各占1/2;氮素更高时,植株总氮全部来自土壤,即使合理配以磷肥,来自空气的充其量只能达到1/3。因此,这与一些报告的豆类作物植株总氮1/3来自土壤,2/3来自空气是不同的。

3. 固氮量测定

固氮量测定是在盆栽“差量法”测试的基础上,由植株总氮量减土壤基础氮量减土壤遗留氮量换算而来的(表5)。

由表5可以看出:(1)在瘠薄不施肥的土壤上,一年生豆类作物的固氮量不高,平均8斤/亩左右。氮磷合理配合可使固氮量提高到10斤/亩以上;以低氮高磷的固氮量最高,达13.5斤/亩。(2)不同作物间固氮量有一定差异,供试作物中以桤麻最高,可达20斤/亩,夏播大豆、黑豆为15斤/亩,豌豆为12斤/亩。

(二) 植株各部分含氮量、根茬氮和根茬加茎叶氮的返还率

豆类作物从空气中固定、从土壤中吸收的氮素,用以构成植物的株体,包括根、茎、叶、籽实各部分。因利用方式不同,构成植物体的上述各部分向农田转移的途径和数量亦有差异。为了探明一年生豆类作物的氮素转移情况及肥田效果,分别测定了植株各部分干重和含氮量,以及种豆前后土壤含氮量,并以根茬氮和根茬加茎叶氮的返还率来衡量种豆后土壤氮素盈亏情况。

$$\text{根茬氮返还率}(\%) = \frac{\text{根茬含氮量}}{\text{土壤减少氮量}} \times 100$$

同理,根茬加茎叶氮返还率为:

$$\text{根茬加茎叶氮返还率}(\%) = \frac{\text{根茬含氮量} + \text{茎叶含氮量}}{\text{土壤减少氮量}} \times 100$$

若根茬氮的返还率大于100%,表示种植一年生豆类作物后,将地上部全部从农田带

作物		一年生豆类作物固氮量												单位: 斤/亩			
		低				中				高				磷			
		低氮(1)	中	高	比(1)增(减)%	低氮	中	高	比(1)增(减)%	低氮	中	高	比(1)增(减)%	低氮	中	高	比(1)增(减)%
		固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量	固氮量
绿	豆	8.6	4.6	-46.5	0	10.9	26.7	10.6	23.3	9.9	15.1	13.4	55.8	11.5	33.7	11.4	32.6
小	豆	7.0	5.5	-21.4	1.6	9.9	40.0	9.1	30.0	8.1	15.7	13.4	91.4	10.0	42.9	7.8	11.4
大	豆	8.8	6.4	-27.3	0	13.8	56.8	10.7	21.6	/	/	16.3	85.2	12.1	37.5	/	/
黑	豆	9.4	6.4	-31.8	2.6	12.9	37.2	12.9	37.2	10.8	14.9	14.6	55.3	11.7	24.5	9.4	0
豇	豆	6.9	5.3	-23.2	0	8.9	29.0	5.7	-11.4	4.0	-42.0	10.6	53.6	7.1	2.9	8.9	29.0
桂	花	9.0	7.2	-20.0	1.3	15.5	72.2	12.9	43.3	10.7	18.9	19.0	21.1	13.2	46.7	16.5	83.3
花	生	7.8	3.0	-61.5	0	8.0	2.6	4.2	-47.2	0	/	8.6	10.3	6.3	-19.2	0	/
豌	豆	5.0	5.3	6.0	0	7.3	46.0	6.5	30.0	0	/	11.5	130.0	6.2	24.0	0	/
平	均	7.8	5.5	-29.5	1.8	10.9	39.7	9.1	16.7	8.7	11.5	13.5	73.1	9.8	25.6	9.8	25.6
变动幅度		5.0—9.4	3.0—5.6	-62—6	0—2.6	7.4—15.6	8—72	4.2—13.0	-47—43	0—10.8	-42—19	8.6—19.0	10—130	6.2—13.2	-19—47	0—16.6	0—83

走, 仅留根茬于土壤中, 靠根茬氮的返还, 可使土壤氮素增多; 相反, 若根茬氮返还率小于100%, 则土壤氮素亏损; 根茬氮返还率为100%时, 表示土壤氮素收支平衡。

1. 不同生育期豆类作物各部分含氮量、根茬氮和根茬加茎叶氮的返还率

表6显示了不同生育时期植株各部分含氮量、根茬氮和根茬加茎叶氮的返还率测定结果。由表6可知: (1) 植株总氮量随生育期而增加, 以成熟期最高, 七种豆类作物平均为1.1192克/盆 (变动范围1.02—1.23克/盆), 花期为0.8677克/盆 (变动范围0.67—1.15克/盆), 蕾期为0.5086克/盆 (变动范围0.43—0.57克/盆), 苗期仅有0.2344克/盆 (变动范围0.15—0.30克/盆)。(2) 植株各部分含氮量因生育阶段而异。花期以前总氮量的70%以上积存于茎叶中, 根茬中不足30%; 成熟期茎叶积存氮占植株总氮的比例明显下降, 约30%, 根茬更少, 为15%, 而大量的氮积存于籽粒中, 达55%。(3) 根茬氮的返还率, 苗期最低, 仅5%左右, 蕾期约10%, 开花期明显提高, 达50%以上, 成熟期略有降低, 为45%。根茬加茎叶氮的返还率, 以花期最高, 一般在200%以上, 平均250%, 成熟期明显下降, 平均为150%左右。

2. 不同氮磷配合植株各部分含氮量、根茬氮和根茬加茎叶氮的返还率

氮磷配合比例不同, 植株各部分含氮量、根茬氮和根茬加茎叶氮的返还率明显不同 (表7)。由表7可知: (1) 植株总氮量以不施肥最低, 八种豆类作物平均为1.0775克/盆 (变动范围0.7876—1.2312克/盆), 增施氮肥和磷肥均可提高植株总氮量, 但以高氮配合高磷最高1.9933克/盆 (变动范围1.3317—2.0529克/盆), 次为高氮中磷1.8108克/盆 (变动范围1.1634—2.3917克/盆), 再次为中氮高磷1.7962克/盆 (变动范围1.3317—2.0529克/盆) 和中氮中磷1.7909克/盆 (变动范围1.2362—2.3472克/盆)。籽粒、茎叶含氮量表现相同趋势。根茬含氮量虽然有波动, 但仍以不施肥处理最低, 以中氮和高氮配以中磷和高磷为高。表明增施磷肥和氮肥并合理配合, 可以促进豆类作物良好发育, 从而提高植株的含氮量。(2) 根茬氮占植株总氮的比例, 不论何种氮、磷配合水平, 均随磷、氮施用量的增加而降低。茎叶氮占植株总氮的比例, 在低氮时, 随施磷量的增加而降低; 在低磷时, 则有随施氮量增加而增加的趋势。在中氮和高氮时, 则随施磷量的增加而增加; 在中磷和高磷时, 随施氮量的增加而降低。籽粒含氮量占植株总氮的比例, 在低氮和低磷时, 随磷、氮施用量的增加而增加; 在中氮和高氮、中磷和高磷时, 则随磷、氮施用量的增加而降低。说明在瘠薄土壤上, 增施氮肥和磷肥, 可促进植株良好生长和发育, 由于植株本身养分运转机制的作用, 首先保证籽粒供应, 故籽粒氮占的比例较高。随着土壤营养状况的改善, 植株各部分进一步良好发育, 茎叶氮占植株总氮的比例增加, 相对地籽粒氮所占的比例下降。根茬、茎叶、籽粒氮占植株总氮量的比例可综合为: 根茬氮占植株总氮的15%, 茎叶氮占30%, 籽粒氮占55%。(3) 根茬、根茬加茎叶氮的返还率, 不论施磷多少, 均随施氮量的增加而降低; 相反, 不论施氮多少, 均随施磷量的增加而提高; 二者的返还率, 以低氮各处理为高, 其中又以低氮高磷最高, 分别为60.1%和209.0%, 以高氮各处理为低, 其中又以高氮低磷最低, 为12.2%和46.2%。但不管供试的哪种作物, 也不论什么氮、磷配合水平, 根茬氮的返还率, 均

表6 不同生育期植株各部分含氮量及根茬氮和根茬加茎叶氮返还率 单位: 克/盆

作物		绿豆	小豆	大豆	黑豆	豇豆	桤麻	花生	平均	变动范围	
苗期	植株总氮量	0.2110	0.1457	0.2627	0.2694	0.2529	0.1947	0.3042	0.2314	0.1457—0.3042	
	根茬	含氮量	0.0443	0.0400	0.0613	0.0703	0.0557	0.0227	0.0816	0.0537	0.0227—0.0816
		占植株氮(%)	20.9	27.5	23.3	26.1	22.0	11.7	26.8	22.6	11.7—27.5
	茎叶	含氮量	0.1663	0.1058	0.1681	0.1991	0.1972	0.1720	0.2226	0.1764	0.1058—0.2226
		占植株氮(%)	79.1	72.5	76.7	73.9	78.0	88.3	73.2	77.4	72.5—88.3
	根茬氮返还率	5.5	3.0	8.4	7.0	5.4	3.8	5.1	5.5	3.0—8.4	
蕾期	植株总氮量	0.5740	0.4340	0.4756	0.5218	0.5469	0.5741	0.4338	0.5086	0.4338—0.5741	
	根茬	含氮量	0.1341	0.1101	0.1009	0.1509	0.0887	0.1031	0.0843	0.1103	0.0843—0.1509
		占植株氮(%)	23.4	25.4	21.2	28.9	16.2	18.0	19.4	21.8	16.2—28.9
	茎叶	含氮量	0.4397	0.3240	0.3747	0.3710	0.3563	0.4710	0.3495	0.3837	0.3240—0.4710
		占植株氮(%)	76.6	74.6	78.8	71.1	83.8	82.0	80.6	78.2	71.1—83.8
	根茬氮返还率	15.8	6.4	15.3	17.0	6.5	13.5	7.4	11.7	6.4—17.0	
花期	植株总氮量	0.8335	0.7535	0.7759	0.6683	0.6704	1.5151	0.8529	0.8671	0.6683—1.5151	
	根茬	含氮量	0.1927	0.2276	0.2053	0.2298	0.1415	0.3537	0.1632	0.2163	0.1415—0.3537
		占植株氮(%)	23.1	30.2	26.5	34.4	21.7	23.3	19.1	25.5	19.1—34.4
	茎叶	含氮量	0.6410	0.5258	0.5703	0.4383	0.5590	1.1620	0.6897	0.6552	0.4383—1.1620
		占植株氮(%)	76.9	69.8	73.5	65.6	78.3	76.7	80.9	74.5	65.6—80.9
	根茬氮返还率	54.5	46.7	53.7	74.8	42.5	59.8	57.3	55.6	42.5—74.8	
成熟期	根茬加茎叶氮返还率	240.7	241.0	191.9	219.3	255.7	320.4	229.3	252.6	191.9—320.4	
	植株总含氮量	1.1949	1.0297	1.2312	1.1577	1.0257	1.1713	1.0236	1.1192	1.0236—1.2312	
	根茬	含氮量	0.1838	0.1716	0.1398	0.2273	0.1284	0.1951	0.1346	0.1687	0.1284—0.2273
		占植株氮(%)	15.4	16.7	11.4	19.6	12.5	16.7	13.0	15.0	11.4—19.6
	茎叶	含氮量	0.3144	0.3826	0.3761	0.2938	0.3120	0.9757	0.4450	0.3540	0.2938—0.9757
		占植株氮(%)	26.3	37.1	30.5	25.3	30.4	83.3	43.5	32.2	25.3—83.3
成熟期	籽粒	含氮量	0.7466	0.4758	0.7153	0.6379	0.5857	/	0.4440	0.6009	0.4440—0.7466
		占植株氮(%)	58.3	46.2	58.1	55.1	57.1	/	43.5	53.1	43.5—58.3
	根茬氮返还率	38.0	51.5	45.3	63.9	50.7	41.7	26.4	45.4	26.4—63.9	
	根茬加茎叶氮返还率	107.4	153.0	153.2	160.0	161.4	258.3	113.6	158.1	107.4—258.3	

表 7 不同氮磷水平植株各部分含氮量及根茎氮和根茎加茎叶氮归还率 单位: 克/盆

作物	低 氮 低 磷						低 氮 中 磷						低 氮 高 磷					
	植株总氮量			根茎氮			植株总氮量			根茎氮			植株总氮量			根茎氮		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
绿豆	1.1949	0.1838	0.3144	0.7466	38.0	107.4	1.5661	0.1518	0.3547	0.8600	38.2	126.3	1.6094	0.1709	0.4546	0.9840	39.3	126.2
小豆	1.0297	0.1716	0.3826	0.4758	51.5	153.0	1.1157	0.2265	0.3602	0.5291	54.9	158.2	1.3248	0.2831	0.3756	0.6662	71.9	166.9
大豆	1.2312	0.1398	0.3761	0.7153	45.3	153.2	1.5765	0.1526	0.4356	0.9884	59.2	166.1	1.8496	0.1929	0.4960	1.1607	67.8	177.3
黑豆	1.1577	0.2273	0.2938	0.6379	63.9	160.0	1.4045	0.2593	0.3950	0.7503	84.5	221.0	1.5279	0.2883	0.4137	0.8271	83.1	202.7
豇豆	1.0257	0.1284	0.3120	0.5857	50.7	161.4	1.2470	0.1677	0.3641	0.7152	48.1	238.7	1.3845	0.1394	0.4284	0.8167	36.5	161.2
柰麻	1.1713	0.1951	0.9757	—	41.7	258.3	1.7289	0.2795	1.4495	—	55.5	268.0	2.1124	0.3128	1.7996	—	60.2	407.2
花生	1.0236	0.1346	0.4450	0.4440	26.4	113.6	1.0930	0.1087	0.4397	0.5446	25.3	127.5	1.0076	0.1012	0.4619	0.4445	31.3	174.2
豌豆	0.7876	0.0922	0.1736	0.5218	27.9	80.4	1.2485	0.1896	0.3485	0.7104	45.8	129.9	1.5470	0.2264	0.3400	0.9806	90.3	225.9
平均	1.0775	0.1591	0.3034	0.5896	43.2	148.4	1.3476	0.1920	0.3854	0.7283	51.4	179.5	1.5454	0.2144	0.4243	0.8400	60.1	209.0
变动范围	0.7876	0.092	0.1736	0.4440	26.4	80.4	1.0930	0.1087	0.3485	0.5291	25.3	126.3	1.0076	0.1012	0.3400	0.4445	31.3	126.2
	1.2312	0.2273	0.4450	0.7466	63.9	258.3	1.7289	0.2795	0.4397	0.9884	84.5	268.0	2.1124	0.3128	0.4960	1.1607	90.3	407.2
作物	中 氮 低 磷						中 氮 中 磷						中 氮 高 磷					
	植株总氮量			根茎氮			植株总氮量			根茎氮			植株总氮量			根茎氮		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
绿豆	1.5417	0.1846	0.4584	0.8987	25.1	63.6	1.8216	0.1984	0.6047	1.0185	23.6	113.0	1.9612	0.2149	0.6069	1.1395	22.7	117.9
小豆	1.2909	0.2261	0.3937	0.6723	27.2	75.9	1.8035	0.4239	0.6644	0.7151	44.7	115.9	1.9124	0.3879	0.6580	0.8660	45.1	124.4
大豆	1.4828	0.1662	0.3732	0.9435	21.4	63.5	1.6743	0.1494	0.4674	1.0575	22.3	78.5	1.9124	0.1747	0.5709	1.1119	18.7	77.8
黑豆	1.5434	0.2695	0.4294	0.8591	25.7	66.1	2.3472	0.4446	0.8075	1.0952	30.3	79.2	1.8575	0.3764	0.5397	1.0740	36.4	90.8
豇豆	1.3086	0.1511	0.4012	0.7564	21.0	75.5	1.7384	0.1541	0.4890	1.0954	22.7	63.0	1.7394	0.1735	0.4789	1.0870	18.6	61.2
柰麻	1.5586	0.2721	1.2865	/	24.6	129.9	1.9576	0.3306	1.6270	/	46.3	143.2	2.0529	0.3460	1.7019	/	35.6	166.9
花生	1.5865	0.1256	0.6732	0.7877	9.5	56.6	1.7484	0.1753	0.7438	0.8293	11.7	61.3	1.5244	0.1134	0.7819	0.6292	10.6	83.4
豌豆	1.2135	0.1029	0.2987	0.8119	18.6	72.8	1.2362	0.1248	0.2740	0.8374	24.2	77.4	1.3317	0.1068	0.3128	0.9121	21.2	83.4
平均	1.4408	0.1873	0.4325	0.8185	21.6	75.5	1.7909	0.2501	0.579*	0.9498	28.2	91.4	1.7962	0.2367	0.5642	0.9742	26.1	100.7
变动范围	1.2135	0.1029	0.2987	0.6723	9.5	56.6	1.2362	0.1248	0.2740*	0.7151	11.7	61.3	1.3317	0.1068	0.3128*	0.6292	10.6	77.8
	1.5865	0.2721	0.6732	0.9435	27.2	129.9	2.3472	0.4446	0.8075	1.0954	46.3	143.2	2.0529	0.3879	0.7819	1.1395	45.1	166.9

续表 7

	高 氮 低 磷						高 氮 中 磷						高 氮 高 磷					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
绿豆	1.6963	0.2970	0.5778	0.8216	17.7	46.8	2.0195	0.1930	0.5156	1.3110	19.1	58.7	2.3250	0.2386	0.7705	1.3160	19.380.2	
小豆	1.2550	0.1552	0.3907	0.7093	12.2	41.1	2.0518	0.3734	0.8554	0.8231	14.0	64.7	2.3312	0.4098	0.9036	1.0180	26.082.2	
大豆	1.0876	0.1039	0.3466	0.6362	7.5	37.3	1.5870	0.1165	0.4922	0.9790	8.0	53.1	1.6636	0.1491	0.5268	0.9874	9.755.9	
黑豆	2.2354	0.2826	0.6239	1.3288	11.8	37.9	2.3917	0.2877	0.6426	1.4616	19.9	66.4	2.0217	0.3004	0.5892	1.1322	22.380.9	
豇豆	1.5013	0.2303	0.4985	0.7725	10.5	33.0	1.8747	0.1753	0.5377	1.1618	12.7	64.5	2.2305	0.2250	0.8759	1.1296	20.779.9	
柉城	1.5440	0.2619	1.2821	/	18.3	99.8	1.9305	0.3220	1.6084	/	23.1	102.8	2.2479	0.3405	1.9075	/	33.7135.9	
花生							1.7080	0.2361	0.8922	0.5797	7.3	34.7	1.9031	0.1734	0.8067	0.9230	6.033.8	
豌豆	1.1089	0.1232	0.3555	0.6302	7.1	27.8	1.1634	0.1062	0.3266	0.7306	7.0	28.4	1.2231	0.1129	0.4034	0.7068	6.429.1	
平均	1.4894	0.2077	0.4666	0.8164	12.2	46.2	1.8408	0.2263	0.6089	1.0067	13.9	59.2	1.9933	0.2437	0.6966	1.0304	8.672.3	
变动范围	1.0876 ~ 2.2354	0.1039 ~ 0.2970	0.3466 ~ 0.6239	0.6302 ~ 1.3288	7.1 ~ 18.3	27.8 ~ 99.8	1.1634 ~ 2.3917	0.1062 ~ 0.3734	0.3266 ~ 0.8922	0.5797 ~ 1.4616	7.0 ~ 23.1	28.4 ~ 102.8	1.2231 ~ 2.3312	0.1129 ~ 0.4098	0.4034 ~ 0.9036	0.7068 ~ 1.3160	6.429.1 ~ 33.7135.9	

● 不含柉麻

不足100%，显然种植一年生豆类后的茬地氮素亏损是肯定的。根茬加茎叶氮的返还率，只有在低氮的各处理中才能超过100%，其余中氮和高氮各处理（除中氮高磷为100.7%外）均不足100%。说明在较肥沃的土壤上种植一年生豆类作物，即使根茬和茎叶全部还田，土壤氮素还是亏缺的。但是鉴于一年生豆类作物籽粒含氮量占植株总氮55%这一事实，根茬加茎叶加籽粒氮可补偿土壤氮的亏损而有余是毋庸置疑的，具体测算结果也是如此。这就是说，种植一年生豆类作物后，由于豆类作物的固氮作用，农业生产系统总的氮素还是增加了，只要合理利用，充分返还，土壤氮素水平可因此有所提高。

（三）一年生豆类作物后效测定

一年生豆类作物养地作用的效果，可以通过化学分析，测定种豆前后土壤氮素含量的变化来确定。若测得种豆后较种豆前土壤含氮量高，说明因根瘤菌的共生固氮作用使土壤氮素增加，土壤从而变肥；反之，若测得种豆后较种豆前土壤含量低，说明土壤氮素因种豆而亏缺，从而土壤变瘠。前述根茬氮的返还率，是在化学分析的基础上，通过换算的另一种表示方法。此外，还必须通过生物检验，并使生物检验与化学分析测定相互对应，分析比较，才能准确判断豆类作物的养地作用。二者缺一不可，缺少前者，无法进行定量的评价；缺少后者，没有真实的生物检验，无法证实前者测定的可靠性。

化学分析结果表明，供试的八种豆类作物，不管什么样的施肥水平，在认真管理及精确分析测定的情况下，种植后的土壤氮素含量均低于种豆前（表8），证明种豆后的土壤氮素是亏缺的。根茬氮的返还率进一步表明，即使将根茬留于土壤中，种豆后的土壤氮素状况仍不及种豆前。化学分析的测定结果，进一步为后效生物学检验所验证（表9，10）。

表8 一年生豆类作物种植前后土壤含氮量的差异

年 份	土壤基础含氮量%	种豆后土壤含氮量*	差 额
1979年夏播豆类	0.0496	$\frac{0.0441 \pm 0.0023}{30}$	0.0055
1980年夏播豆类	0.0511	$\frac{0.0493 \pm 0.0010}{26}$	0.0018
1981年夏播豆类	0.0798	$\frac{0.0759 \pm 0.0030}{28}$	0.0039
1982年秋播豌豆	0.0532	$\frac{0.0516 \pm 0.0008}{9}$	0.0016

* $\frac{\text{平均数} \pm \text{标准差}}{\text{样品数}}$

一年生豆类作物后效生物学检验表明，在不施肥或仅施磷肥的豆类作物茬地上，后作小麦产量明显低于对照休闲茬小麦产量，说明种豆后的茬地没有因为固氮作用使土壤氮素有所增加，使后作产量有所提高，恰恰相反，产量反而下降，这种状况与前述根茬氮返还率测定等分析法是吻合的，那种认为种豆后直接给土壤增加若干斤氮的说法显然

表 9 豌豆后效测定 (1983~1984年) 单位: 克/盆

处理	豌豆产量 (克/盆)			后 茬 小 麦 产 量										两茬合计产量					
	籽粒	茎	生物 学产量	株 高 (cm)	穗 长 (cm)	每穗小穗		穗粒 数 (粒/穗)	籽粒重		茎叶重 (克/盆)	根茬重 (克/盆)	生物学产量		籽粒产量		生物学产量		
						有效	无效		克/盆	比ck ₁ 增(减) (%)			(克/盆)	比ck ₁ 增(减) (%)	克/盆	比ck ₁ 增(减) (%)	克/盆	比ck ₁ 增(减) (%)	
低氮低磷	12.8	15.6	28.4	50.7	5.3	9.75	5.7	18.3	10.3	-60.1	22.4	4.9	37.6	-41.4	38.6	23.1	-10.5	66.0	2.6
低氮中磷	17.5	22.5	40.0	52.4	5.0	8.75	5.8	15.3	10.5	-59.3	22.1	5.9	38.5	-40.0	38.8	28.0	8.5	61.0	-5.1
低氮高磷	20.1	23.5	43.6	51.0	5.3	9.05	5.3	17.0	11.2	-56.6	22.6	5.0	38.8	-39.6	39.1	31.3	21.3	62.3	-3.1
中氮低磷	13.3	16.0	29.3	57.3	7.7	14.72	2.0	42.7	26.8	3.9	33.1	7.7	67.6	5.3	41.3	40.1	55.4	96.9	50.7
中氮中磷	21.9	25.1	47.0	57.0	7.3	13.03	3.0	36.3	28.6	10.9	38.3	12.9	79.7	24.1	45.2	50.5	95.7	126.7	97.0
中氮高磷	24.8	24.3	49.1	61.0	7.7	14.72	2.7	40.7	27.6	7.0	35.4	6.7	68.6	6.9	44.2	52.4	103.1	92.9	44.5
高氮低磷	12.1	19.5	31.6	59.3	7.0	14.72	2.0	42.7	27.6	7.0	31.6	7.1	69.3	7.9	42.9	39.7	53.9	100.9	56.9
高氮中磷	12.8	38.0	50.8	58.7	7.0	13.72	2.3	41.0	31.4	21.7	41.0	13.6	86.0	34.0	43.9	44.2	71.3	136.8	112.8
高氮高磷	18.9	21.3	40.2	58.0	7.3	14.32	2.7	39.3	33.3	29.1	36.4	9.7	79.5	23.8	43.4	52.2	102.3	119.7	86.2
休闲ck ₁	—	—	—	54.3	5.7	11.32	2.3	29.7	25.8	—	31.4	7.2	64.2	—	—	25.8	—	64.3	—
小麦ck ₂	小麦	小麦	小麦	51.7	5.7	10.34	2.0	22.0	9.2	-64.3	20.6	4.0	34.5	-46.3	39.5	24.5	-5.0	50.8	-21.0
—	15.3	16.3	31.6																

(1984~1985年)

大豆后效测定

表10

处理	大豆产量					后挂小麦产量					两茬合计产量												
	株高 (cm)	每株荚数 (个)	每株粒数 (粒)	籽粒重 (克/盆)	茎秆重 (克/盆)	叶重 (克/盆)	生物学量 (克/盆)	百粒重 (克)	株高 (cm)	穗长 (cm)	每穗小穗数	千粒重 (克)	粒重		茎叶重 (克/盆)	生物学产量		籽粒产量		生物学产量			
													克/盆	比ck ₁ 增(减) (%)		克/盆	比ck ₁ 增(减) (%)	克/盆	比ck ₁ 增(减) (%)	克/盆	比ck ₁ 增(减) (%)	克/盆	比ck ₁ 增(减) (%)
低氮低磷	66.4	14.8	25.5	9.1	17.8	14.8	41.6	12.8	54.0	9.9	11.0	4.0	29.5	8.4	-25.7	24.6	33.0	-26.0	17.5	54.9	74.6	67.3	
低氮中磷	68.3	17.8	25.2	9.4	21.1	12.0	42.5	13.2	54.9	9.3	10.5	5.0	29.0	8.8	-22.1	26.7	35.5	-24.9	18.2	61.1	78.0	74.9	
低氮高磷	77.3	17.5	30.8	9.7	20.1	13.0	42.8	11.6	53.8	10.6	10.3	4.7	31.0	8.9	-21.2	28.7	37.6	-15.7	18.6	64.6	80.4	80.3	
中氮低磷	67.4	20.4	33.0	15.0	19.3	14.5	48.8	17.5	59.1	10.0	10.7	4.3	30.0	10.1	-10.6	27.6	37.7	-15.5	25.1	122.1	86.5	93.9	
中氮中磷	64.2	18.0	29.0	15.9	18.8	14.5	49.2	18.5	59.2	10.2	10.7	4.3	32.0	12.5	10.6	35.9	48.4	8.5	28.4	151.3	97.6	118.8	
中氮高磷	70.5	19.8	33.7	17.0	21.1	14.3	52.4	18.2	58.8	10.3	11.0	4.3	30.0	13.0	15.0	33.4	46.4	4.0	30.0	165.5	98.8	121.5	
高氮低磷	68.5	23.5	36.8	17.0	22.2	17.6	54.8	18.6	62.5	11.0	11.3	3.0	34.0	20.2	78.8	56.5	76.7	72.0	37.2	229.2	131.5	194.8	
高氮中磷	68.2	25.8	41.5	18.1	31.5	18.5	66.3	17.3	71.6	12.4	15.3	3.0	33.3	23.9	111.5	54.5	78.4	75.8	41.9	270.8	144.7	224.4	
高氮高磷	69.3	25.8	42.5	18.7	23.1	16.6	54.5	17.7	72.0	13.3	16.3	2.7	33.6	25.9	129.2	56.9	82.8	85.7	44.0	289.4	137.8	207.8	
休闲ck ₁									54.0	11.1	12.7	4.7	31.0	11.3	—	33.3	44.6	—	11.3	—	44.6	—	
玉米ck ₁									56.7	8.4	7.5	3.5	29.0	5.5	-51.3	20.0	25.5	-42.8	5.5	—	—	—	

注：玉米当料生长不良，未结实，故未计产。

是不符合实际的。后茬小麦产量并不随前茬豆类作物施磷量增加而增加,而随施氮量增加而显著增加的试验结果,从侧面验证了前述结论。

综上所述,一年生豆类作物由于共生根瘤菌的固氮作用,生长期间可以从空气中固定一定数量的氮素,在合理氮磷配合下,固定氮素的数量也是相当可观的,因此生物固氮确实不失为一个重要的氮素来源。在当今世界能源危机,化肥供应有限的情况下,对于生物固氮这一廉价的“氮素制造厂”,应给予足够充分的重视。

小 结

1. 一年生豆类作物现蕾前不固氮,开花期固氮率达60~70%,成熟期固氮率略有增加,但不明显。

2. 一年生豆类作物的固氮率,随施氮量的增加而降低,随施磷量的增加而提高,氮磷合理配合可显著提高固氮率。

3. 研究证明,在地力水平较低时,豆类作物植株总氮量的1/3来自土壤,2/3来自空气;在地力较高时则相反,2/3来自土壤,1/3来自空气;地力更高时,则植株总氮全部来自土壤,即使合理氮磷配合,来自空气的充其量达1/3。

4. 一年生豆类作物从土壤中吸收和从空气中固定的氮素,55%积存于籽粒中,30%在茎叶中,15%在根茬中。

5. 种植一年生豆类作物后,土壤氮素没有增加而是较种豆前减少,靠根茬的返还,不能弥补土壤氮素的亏缺,因而种豆后土壤肥力是下降而不是提高。但根茬加茎叶氮的返还,可补偿土壤氮的亏缺而有余,尤以花期为显著,故作绿肥利用,应在花期翻压。

6. 一年生豆类作物在合理氮磷配合下,一般固氮量可达10斤/亩以上。提高磷肥施用量,可提高固氮量;增加氮肥施用量,则降低固氮量。

讨 论

1. 关于一年生豆类作物茬地肥田问题

我国农业生产中长期沿用种植豆类作物轮作倒茬、养地肥田,不少教科书和专业刊物也曾论述种豆后土壤氮素的增加问题,证明它们有养地作用。我们的试验表明,种豆后土壤氮素不但没有增加,反而较种豆前减少,靠根茬的返还仍弥补不了这一亏损。如何认识和正确评价这个问题?我们认为,群众生产中沿用种豆轮作肥田的经验,主要是由于:(1)历史上没有化肥生产,氮素的添加只有靠豆类作物的共生固氮作用;(2)生产水平低,在较低生产水平下,禾豆轮作较其它轮作有明显的优越性,轮作周期可以获得较高的产量;(3)比较认识问题的角度不同。过去一般多以豆类茬口与其它作物茬口比较,当然豆类茬口土壤养分状况优于其它作物茬口。因此,为了使土壤休养生息,禾豆轮作就优于其它类型的轮作了。但是,近年来随着生产条件的改善,尤其是化肥的

大量使用,以及人们对农产品更高水平的需求,加之豆类作物本身在较高氮水平下固氮能力的显著降低,现有豆类作物品种生产力低等原因,豆类作物种植面积日趋减少,禾豆轮作和种豆养地渐被人们所忽视,这应该说是一种不正常的现象。对此我们应进一步开展研究。并给以新的认识。

2. 如何正确估计和评价一年生豆类作物的肥田作用

截止目前为止,人们发现仅豆科等少数植物能依赖共生根瘤菌固定空气中的氮素,变空气中的游离氮为可利用态氮,供绿色植物利用,并通过食物链的转移,供动物(家畜)和人类间接利用。我们的试验表明,豆类作物确实能从空气中固定氮素,如果把农业生产看作一个人工控制的农业生态系统,从系统营养物质循环看,输入农业生态系统的氮素主要有两个来源:一是化肥氮的添加,一是生物固氮(当然随天然降水等也会增加一些,但和上两宗比较起来,是微乎其微的)。若不种植豆类作物,则无后一种添加途径,更何况在培肥土壤上有机态的氮比无机氮有着无可比拟的优点。

由于豆类作物合成的氮素大量贮存于籽粒和茎叶中,因此,籽粒和茎叶的利用方式就决定着系统氮的循环和盈亏状况,若将它们用于系统内发展第二性生产——畜牧业生产,则豆类作物固定空气中的氮素,除少部分结合于肉、奶、蛋中外,大部分又以粪尿的形式返还农业生态系统,随着粪肥等有机肥料施用量的增加,土壤肥力相应地得到提高。因此,从农业生态系统观点出发,一年生豆类作物对于拓宽农业生态系统物质循环渠道,促进氮素营养物质循环,有着积极而巨大的作用。无疑由于豆类作物的种植,系统总氮量的增加,通过畜牧渠道的返还,使土壤肥力不断得到培肥提高。

参考文献

- 〔1〕中国科学院南京土壤研究所主编:《中国土壤》,科学出版社,1980年。
- 〔2〕陕西省土肥所有机肥料组:毛苕不同生育期植株养分变化及茬土肥力研究总结,《陕西农业科技》,1976年第6期。
- 〔3〕郝余祥、程丽娟:豆科绿肥(作物)的根瘤固氮和利用,《陕西农业科学》,1982年第1、2期。
- 〔4〕冈岛秀夫著,林心清、沈德余译:《土壤肥沃度论》,农业出版社,1983年。
- 〔5〕大久保隆弘著,巴恒修、张清沔译:《作物轮作技术与理论》,农业出版社,1983年。
- 〔6〕M. J. 福里赛尔主编,夏泵基等译:《农业生态系统中矿质养分的循环》,农业出版社,1981年。

N—fixing Capacity and After—effects of Annual Pulse Crops

Wang Liufang Wang Lixiang

Fu Zengguang Fan Fangqiang

(Agronomy Department, Northwestern Agricultural University)

Abstract

N-fixing capacity of annual pulse crops of 8 kinds were studied by means of "difference method". The results indicated that N-fixing rate reached 60—70% after the flower stage, and that increasing application of N fertilizer decreased N-fixing rate, while increasing application of P fertilizer increased N-fixing capacity. In the poor soil, 1/3 of total amount of N in annual pulse crops comes from it and 2/3 from the air. Conversely, in the rich soil, 2/3 of total amount of N in annual pulse crops comes from it and 1/3 from the air. And even in the richer soil, total amount of N in annual pulse crops comes entirely from it. Even if there is a rational match of N and P, total amount of N in annual pulse crops doesn't surpass 1/3 at most. After annual pulse crops were planted, the amount of N content in the soil was reduced prior to their planting. This N loss in the soil can not be compensated by relying on stubble nitrogen. This showed that the pulse stubble land fertility had some drops. The conclusion was confirmed by the biotic test of after-effect of the pulse stubble field. Thus, the amount of N fixed by symbiotic nodule forming bacteria can reach 75 kg/ha.

Key Words Pulse crops, difference method, N-fixing rate, soil fertility of stubble field, N-returning rate, biological N-fixation, biotic test