

冬季豆科固氮植物固氮量的评估*

孙国庆 曹亚澄 施书莲 杜丽娟 周克瑜 邢光熹

(中国科学院南京土壤研究所 土壤圈物质循环开放研究室 南京 210008)

摘 要

应用 ^{15}N 自然丰度法,以第四纪红色粘土发育的红壤为供试土壤,研究了我国华中红壤丘陵地区蚕豆、紫云英等6种冬季绿肥作物的固氮量和固氮能力,并选用扁穗雀麦、燕麦等作为参比植物。试验结果将对该地区三熟制耕作体系中,如何选择具有经济效益的豆科绿肥,有重要的参考价值。

关键词 ^{15}N 自然丰度法;固氮植物;参比植物,同位素分馏效应

我国南方热带和亚热带地区,光照充足、雨量充沛、热量丰富,尤其是冬季光、热和水资源相当丰富,有利于开发冬季农业,完善三熟制耕作制度。然而,该地区冬季农业生产中尚存在着冬闲面积较大、冬作物产量低、冬作经济效益差和冬作结构单一等问题。以江西为例,据鲁如坤报道⁽¹⁾,1988年江西全省的复种指数为1.9(不包括绿肥),冬作物面积小麦(120万亩)、油菜(450万亩)、绿肥(1365万亩)三者(共1935万亩),占水田总面积(2998万亩)65%左右。所以冬季改制的潜力很大,是增产增收的重要途径之一。江西地区原有的耕作制度,为稻—稻—油菜;稻—稻—大麦;稻—稻—肥(紫云英)等,但也可采用既具有经济效益又有肥田作用的蚕豆等作为冬作物,因而可进一步发展发展为稻—稻—蚕豆,或蚕豆/玉米/甘薯等耕作制度。为此我们用 ^{15}N 自然丰度法,研究了蚕豆等几种冬季豆科作物的固氮能力及其固氮量,为冬季改制提供科学依据。利用 ^{15}N 自然丰度法测定固氮量的基本依据及%Ndfa计算公式已在前文⁽²⁾叙述。

1 材料和方法

1.1 无氮营养液砂培试验 供试豆科植物有蚕豆、紫云英、苏箭3号、苕子、紫花苜蓿和园苜蓿。将上述种子分别用0.1% HgCl_2 消毒,无菌水冲洗几次后,播于装有洗净石英砂的营养钵中,植物生长期间,不时加入无氮营养液。收获时,将地上部、根和根瘤分开,洗净、烘干(低于70℃)磨细备用。

1.2 盆栽试验 供试土壤采自江西中国科学院红壤生态实验站,第四纪红色粘土发育的红壤。土壤全氮含量0.96g/kg,其 $\delta^{15}\text{N}$ 值为+6.32。6kg盆钵盛5kg土壤,重复4次,每盆施钙镁磷肥1g(以 P_2O_5 、 K_2O 计)。以同法进行固氮植物和参比植物(非固氮植物)盆栽试验,供试的豆科植物同砂培试验中作物,参比植物为扁穗雀麦、燕麦、黑麦草和法拉斯草。

1.3 测定方法 全氮含量用凯氏半微量法。 $\delta^{15}\text{N}$ 值用MAT-251精密同位素质谱计测

* 国家自然科学基金资助项目(49271042)。

定, 仪器测量精度 0.01‰, 样品重复测定偏差为 $\pm 0.38\delta^{15}\text{N}$ 值, 方法细节见曹亚澄等的研究报告^[3]。

2 结果和讨论

2.1 固氮植物不同部位的 $\delta^{15}\text{N}$ 值及其分馏效应

豆科植物固定的氮素在植物体内运输过程中存在着同位素分馏效应, 导致固氮植物不同部位的 $\delta^{15}\text{N}$ 值彼此各不相同, 这方面已有不少报道^[2,4-6], 我们的测定结果再次证实了这点(表 1)。表 1 结果表明, 蚕豆茎叶(地上部, 下同)的 $\delta^{15}\text{N}$ 值高于根部的 $\delta^{15}\text{N}$ 值; 紫云英茎叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 值与其根相近似; 其余几种豆科植物茎叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均低于根部; 除紫花苜蓿外各豆科植物其根瘤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均高于茎叶和根部。Yoneyama 等人^[7] 在研究豆科植物固氮时发现根瘤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值有正值与负值之分, 他们将固氮植物分为酰胺运输型和酰胺运输型两类, 属于前者类型的, 其根瘤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为正值, 属于后者类型的其根瘤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为负值, 在我们的试验中观察到紫花苜蓿和园苜蓿根瘤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为负值, 其余固氮植物根瘤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为正值, 这可能与 Yoneyama 等提到的酰胺运输型和酰胺运输型有关。各种豆科植物同位素分馏效应变化不大, 其分馏系数 B 略有微小的变化。

表 1 固氮植物不同部位的 $\delta^{15}\text{N}$ 值及其分馏系数 B

豆科植物	茎 叶			根			根 瘤	
	全氮(g/kg)	$\delta^{15}\text{N}$	B	全氮(g/kg)	$\delta^{15}\text{N}$	B	$\delta^{15}\text{N}$	B
蚕 豆	32.3±2.3	-0.90±0.16	1.0010	20.0±2.3	-1.24±0.50	1.0012	+10.2±0.7	0.9899
紫 云 英	32.8±2.4	-1.23±0.83	1.0012	18.4±5.2	-1.25±0.10	1.0013	+1.27±0.10	0.9987
苕 子	36.7±2.2	-1.37	1.0014	21.1±4.8	-0.76±0.30	1.0010	+4.04±2.1	0.9960
苏箭 3 号	33.8±0.5	-0.94±0.8	1.0010	27.1±1.5	—	—	+5.7±1.3	0.9944
紫花苜蓿	27.3±5.8	-1.42±0.9	1.0014	15.5±3.8	-0.92	1.0010	-2.7	1.0027
园 苜 蓿	16.9±1.9	-2.25	1.0022	17.8±0.5	-1.31±0.30	1.0013	-0.78±0.5	1.0008

2.2 豆科植物砂培和参比植物土培的 $\delta^{15}\text{N}$ 值

由于氮元素的同位素在参与生物、化学和物理化学过程中产生同位素歧视效应, 即轻同位素优先参与反应过程, 使反应生成物相对富集轻同位素(N^{14}), 反应的起始物相对富集重同位素(^{15}N), 这一同位素分馏效应, 将使计算固氮植物的固氮百分率偏高, 为此, 在试验中必须进行以空气氮为唯一氮源的砂培试验。

表 2 豆科植物植株的全氮含量与 $\delta^{15}\text{N}$ 值(砂培试验)

豆科植物	地上部		地下部	
	全氮(g/kg)	$\delta^{15}\text{N}$	全氮(g/kg)	$\delta^{15}\text{N}$
蚕 豆	16.8	-1.11	23.0	-1.88
紫 云 英	18.9	-1.54	19.0	-1.90
苕 子	19.9	-1.30	23.1	-0.93
苏箭 3 号	24.1	-1.16	23.5	-1.08
紫花苜蓿	13.2	-2.03	12.1	-1.79
园 苜 蓿	13.4	-1.35	15.2	-0.64

表 3 参比植物植株的全氮含量与 $\delta^{15}\text{N}$ 值(土培试验)

参比植物	地上部		地下部	
	全氮(g/kg)	$\delta^{15}\text{N}$	全氮(g/kg)	$\delta^{15}\text{N}$
扁穗雀麦	11.8±0.3	-0.31±0.26	5.7±0.5	+0.14±0.25
燕 麦	9.9±0.5	-0.16±0.29	6.0±0.5	-0.31
黑 麦 草	10.0±0.3	-0.28±0.00	3.8±0.10	-0.74
法拉斯草	11.8±0.5	-0.32±0.25	6.1±0.10	+0.13

此外, 应用 ^{15}N 自然丰度法测定固氮植物的固氮百分率时, 一定要有参比植物(非固氮植物)的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 而且必须选择合适的参比植物, 否则将会导致固氮百分率偏高或偏低, 甚

至会得出极不合理的结果。表 2、3 分别列出了豆科植物砂培试验和参比植物土培试验植株的 $\delta^{15}\text{N}$ 值。

表 2、3 结果表明, 豆科植物砂培试验植株的 $\delta^{15}\text{N}$ 值一致地负于参比植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 其原因已在前文^[2]叙述过。但本试验中参比植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值偏低, 这可能与试验中浇灌的水是自来水, 供试植物从水中得到一部分氮素给源所致。

根据表 1—3 中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 用扁穗雀麦、燕麦等 4 种参比植物计算了各供试豆科植物地上部和地下部的固氮百分率, 结果列于表 4。

表 4 不同参比植物测得豆科植物固氮百分率(% Ndfa)

供试作物	部位	扁穗雀麦	燕麦	黑麦草	法拉斯草	平均值
蚕豆	地上部	76.9	80.6	77.7	76.8	78.0±1.8
	地下部	63.2	59.1	43.5	68.1	58.5±10.6
紫云英	地上部	74.3	77.1	74.9	74.2	75.2±1.3
	地下部	63.0	59.0	43.7	67.9	58.4±10.5
苕子	地上部	107.9	106.9	107.7	109.1	107.9±0.9
	地下部	78.5	77.3	80.6	83.9	78.2±5.7
苏箭 3 号	地上部	74.2	78.0	75.1	74.0	75.3±1.9
	地下部	82.6	78.7	51.3	86.5	74.8±16.0
紫花苜蓿	地上部	64.5	67.3	65.1	64.4	65.3±1.4
	地下部	72.1	67.7	54.4	87.0	70.1±13.9
园苜蓿	地上部	186.7	175.8	184.3	187.6	183.5±5.3
	地下部	185.9	303.0	—	187.0	225.3±67.3

用 4 种参比植物计算固氮植物地上部固氮百分率, 它们的标准差在 1.3—1.9% 之间, 而相应固氮植物地下部的固氮百分率, 除用扁穗雀麦和法拉斯草作参比植物分别计算的苏箭 3 号和紫花苜蓿, 及用燕麦作参比植物计算的园苜蓿的地下部的固氮百分率高于地上部外, 其余均低于地上部, 且标准差也较大, 这可能与植株地下部木质素含量较地上部高, 样品均匀度差有关。

苕子和园苜蓿地上部的固氮百分率和园苜蓿地下部固氮百分率出现极不合理的结果, 可能与它们砂培植株的 $\delta^{15}\text{N}$ 值高于相应土培植株的 $\delta^{15}\text{N}$ 值有关。一般来说砂培豆科植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值总是低于土培植株的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 这是由于前者是以空气氮为唯一氮源所决定的。

根据豆科植物的全氮含量、干物质重和固氮百分率计算出各供试豆科植物地上部和地下部的固氮量, 结果列于表 5。

表 5 豆科植物地上部和地下部的固氮量(N mg/盆)

豆科植物	地上部				地下部				地下部固氮量占总固氮量%
	全氮 g/kg	干物质重 g	固氮% %Ndfa	固氮量	全氮 g/kg	干物质重 g	固氮% %Ndfa	固氮量	
蚕豆	32.3±2.3	15.3±0.7	78.0±2.0	385.5	20.0±2.3	7.0±1.6	58.5±11.0	81.9	17.5
紫云英	32.8±2.4	25.9±1.8	75.2±1.3	638.8	18.4±5.2	7.7±2.4	58.4±11.0	82.8	11.4
苕子	36.7±2.2	27.5±3.7	107.9±0.9	106.9	21.1±4.8	10.8±2.5	78.2±5.7	178.2	—
苏箭 3 号	33.8±0.5	33.9±0.8	75.3±1.9	862.8	27.1±1.5	8.2±1.1	74.8±16.0	166.2	16.2
紫花苜蓿	27.3±5.8	3.9±2.3	65.3±1.4	69.5	15.5±3.8	5.3±0.9	70.1±14.0	57.6	45.3
园苜蓿	16.9±1.9	4.3±0.4	183.5±5.3	133.0	17.8±0.5	3.1±0.5	—	—	—

从表5看出,蚕豆、紫云英和苏箭3号,它们地上部植株含氮量和固氮百分率都较接近,但由于苏箭3号植株干物质量比蚕豆和紫云英高,因此,它从空气中固定的氮量最多;紫云英的干物质量比蚕豆高,尽管它的固氮百分率略低于蚕豆,而固氮量却比蚕豆高得多;紫花苜蓿无论是全氮含量,干物质量或是固氮百分率均是最低者,所以固定的氮量也最低。

表5结果表明,各豆科植物地下部固定的氮量也不容忽视,它们占总固氮量的比例分别由11.4—45.3%,特别是紫花苜蓿其地下部固定的氮量所占的比例很大。

综上所述,比较6种豆科固氮植物,可以看出,苏箭3号、紫云英在江西红壤地区生长较好,且固氮量又高;紫花苜蓿固氮量最低;蚕豆的固氮量虽不及苏箭3号和紫云英,但它是一种可食性收籽豆科绿肥,既能获得一定的经济效益,又能起到肥田作用,与广为群众所采纳的稻—稻—肥(紫云英)相比,具有一定的优越性,它是本地区值得推广的三熟制作物之一。

参 考 文 献

- [1] 鲁如坤,江西省农田养分循环和平衡,红壤生态系统研究第一集,中国农业科技出版社1992,27—32.
- [2] 曹亚澄、施书莲、杜丽娟、周克瑜、孙国庆、邢光熹,应用 ^{15}N 自然丰度法测定固氮植物的固氮量, I. 草本豆科固定植物固氮量的测定,土壤学报,1995,32(增刊2):217—225.
- [3] 曹亚澄、孙国庆、施书莲,土壤中不同含氮组分的 $\delta^{15}\text{N}$ 值质谱测定法,土壤通报,1993,24:87—90.
- [4] 马昌磷等,用 ^{15}N 天然丰度法估测结瘤作物的共生固 N_2 量,核农学报,1989,3:65—74.
- [5] Yoneyama T. et al., plant cell physiol, 1984. 25: 1561—1565.
- [6] Shearer, G. et al., plant physiol, 1982. 70: 465—468.
- [7] Yoneyama T. et al., plant cell physiol, 1986. 27: 791—799.