

# 绿肥植物的化学组成对其氮素 有效性的影响\*

施书莲 文启孝 廖海秋

(中国科学院南京土壤研究所)

绿肥作物,特别是豆科绿肥,不仅是土壤有机质的重要来源,更是作物氮素的良好给源。绿肥的后一作用,历来受到人们的重视。许多研究者研究了绿肥中氮素对当季作物的有效性以及影响氮素有效性的因素。已经知道,除土壤性质和作物种类外,绿肥作物的化学组成,特别是 C/N 比值和木质素含量是影响其氮素有效性(对当季作物)的关键因素<sup>[10]</sup>。

各种绿肥中能被当季作物吸收利用的氮素一般仅占其总氮量的  $25.3 \pm 5.0\%$ <sup>[11]</sup>,其余部分的氮素大多留存于土壤中。这部分氮素部分地存在于半分解的植物残体中,部分地以新形成的土壤有机质态存在。虽然,一般认为绿肥具有一定的残效,但就我们所知,关于它的残留氮的有效性是否较土壤原有有机氮的有效性高,迄今仍缺乏直接地实验证明。

在我国南方水稻土地地区,紫云英是最主要的绿肥作物。近年来,由于绿萍没有与粮食作物争地的矛盾,其养殖面积也大有增加。此外,在水网地区也有直接用水葫芦作为肥料施用的。已有的工作表明<sup>[12]</sup>,这些绿肥的化学组成彼此间差异较大,因此,无论作为土壤有机质的来源或作为当季作物的氮素给源方面,它们的作用都大有不同。但是,在上述工作中由于使用的是非标记物料,因此,关于它们中的氮素对后季作物的有效性问题仍未能有了解。

本工作企图通过应用示踪技术了解绿肥中的氮素对后季作物的有效性以及绿肥的化学组成对它的影响,以便于更好地评价不同绿肥在土壤肥力中的作用。

## 一、样品和方法

### (一) 样品

供试绿肥包括用 <sup>15</sup>N 标记的紫云英、绿萍和水葫芦三种。绿萍和水葫芦均用加有 (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (丰度为 32.50%) 的浙农 6302 营养液培养<sup>2)</sup>,紫云英用土培法培养。将整株的绿萍和水葫芦及盛花期的紫云英地上部分分别于低温下烘干,然后磨细(通过 40 孔筛)备用。绿萍、水葫芦和紫云英中 <sup>15</sup>N 的丰度分别为 11.21, 30.49, 和 11.44%。

供试土壤为湖积物母质上发育的白土,采自江苏省武进县。其主要理化性质如下:

\* 参加工作的还有程励励、林心雄等同志。

1) 林心雄、程励励、施书莲、文启孝,绿肥和蒿秆等在苏南地区土壤中的分解特征(未刊稿)。

2) 浙江省农业科学院土壤肥料研究所,1963,科研资料汇总。

C—1.12%, N—0.115%, pH—6.32, 粘粒 ( $<1\mu$ )—25.8%。

## (二) 盆栽试验

采用连续栽培法, 分别用早稻(品种为二九青)、荞麦、大麦为第一、二、三季供试作物。早稻于 1978 年 5 月 11 日移栽(秧令 21 天), 7 月 24 日成熟后收获; 荞麦于 8 月 28 日播种, 10 月 21 日盛花期时收获; 大麦于 1979 年 1 月 8 日播种, 从生长初期起, 植株即呈现出严重缺氮症状, 因此于 2 月 24 日(分蘖盛期后)收获。

各季作物收获后, 均尽可能将细根挑出洗净, 并分别取出供分析用的土样后, 按处理(分别加有标记的物料和非标记的物料)将各个重复的土壤均匀混合供种植下季作物用。

第一季作物时, 每盆盛土 2.5 公斤(均准确称重, 下同)。每盆加  $P_2O_5$  0.5 克,  $K_2O$  0.33 克 (0.96 克  $KH_2PO_4$ ); 绿肥物料的加入量按 300 毫克 N/盆计。加有绿肥物料的各处理, 每处理重复 5 次, 其中 3 次为  $^{15}N$  标记的物料, 2 次为非标记的同种物料。对照处理重复 4 次。第二季作物时每盆盛土 2.2—2.3 公斤, 未添加任何肥料; 其余同第一季作物。第三季作物时, 每盆盛土约 1.4 公斤; 每盆加 0.48 克  $KH_2PO_4$  (含 0.25 克  $P_2O_5$  和 0.16 克  $K_2O$ )。原加有绿肥物料的各处理, 每处理重复 7 次, 其中 4 次为加有  $^{15}N$  标记的物料, 3 次为非标记的同种物料。对照处理重复 4 次。

## (三) 培育试验

采用密闭培育法<sup>[1]</sup>。取试管若干支, 每管盛第三季作物收获后的土样 10 克, 加入蒸馏水, 保持水层 2 厘米, 置 28°C 下培育。定期取出试管 2 支, 测定土壤中的铵态氮含量。

## (四) 分析方法

土壤和植株的全氮量用克氏法测定。 $NH_4-N$  用 2N KCl 提取, 用  $MgO$  蒸馏。 $^{15}N$  用质谱计测定<sup>[2]</sup>。碳含量用丘林法测定。

# 二、结果和讨论

## (一) 不同绿肥中的氮素对当季作物的有效性

氮素利用率的高低, 是评价绿肥质量好坏的重要标志之一。表 1 为各供试绿肥中的氮素分别按差值法和示踪法计算得的利用率。表 2 为水稻收获后各绿肥中的氮素平衡账。由表 1 可见, 各绿肥中氮素的利用率各不同。尽管绿萍的 C/N 比值较紫云英低, 但氮素利用率无论按差值法或示踪法都是紫云英高得多, 这与以前的结果完全一致<sup>[3]</sup>。紫云英和绿萍用差值法求得的氮素利用率均高于其用示踪法求得的利用率, 表明该二种绿肥物料在分解过程中氮素一直为净矿化。反之, 水葫芦用差值法求得的氮素利用率小于其用示踪法求得的数值。这只能解释为在水葫芦的分解过程中, 一段时间内氮素曾为净固定, 另一段时间内为净矿化。这一点与以前的结果不相符合。在以前的工作中, 以含氮

1) 由本所质谱组测定。

量为 2.40% (C/N 比值为 16.3) 的水葫芦为供试物料,在其分解过程中不曾观察到氮素净固定的证据<sup>1)</sup>。显然,物料的 C/N 比值不同是造成这种差异的根本原因。

表 1 绿肥中氮素的利用率 (第一季作物: 水稻)

Table 1 Recovery of nitrogen from green manure by rice crop

绿肥种类 Green manure	C%	N%	C/N	利用率 % Plant recovery, %	
				差值法 By difference	示踪法 By tracer technique
紫云英 Milk vetch	43.0	2.40	17.9	55.2	37.6
水葫芦 Common water hyacinth	32.4	1.53	21.3	14.7	25.4
绿萍 Azolla	59.9	5.01	11.6	24.0	20.4

表 2 氮素平衡账 (第一季作物: 水稻)

Table 2 Nitrogen balance sheet (First crop: Rice plant)

绿肥种类 Green manure	N	地上部分 Tops	根 Roots	残留土中 N retained in soil	总回收 Total recovery	亏缺 Unaccounted for
紫云英 Milk vetch	毫克/盆 mg/pot %	112.9	14.0	140.5	267.4	32.6
		37.6	4.7	46.8	89.1	10.9
水葫芦 Common water hyacinth	毫克/盆 mg/pot %	76.1	12.0	196.3	284.4	15.6
		25.4	4.0	65.4	94.8	5.2
绿萍 Azolla	毫克/盆 mg/pot %	60.7	6.7	188.9	256.3	43.7
		20.2	2.2	63.0	85.4	14.6

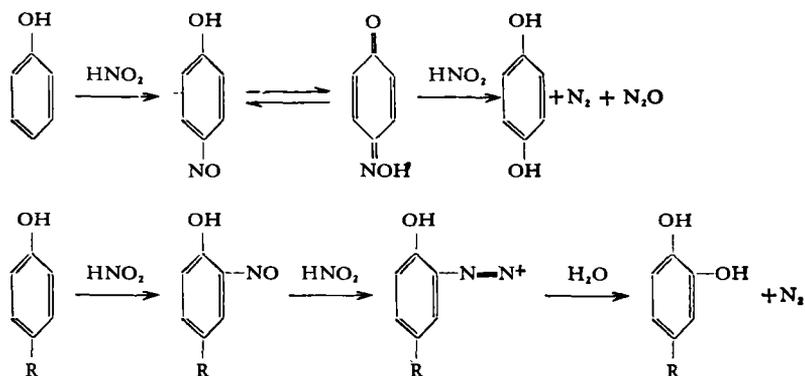
平衡账表明,第一季作物收获后留存于土壤中的绿肥氮量约为施入量的47%—65%。这个数值比一般化学氮肥的要高得多<sup>[2,8]</sup>。造成这个现象的原因,显然,一是由于有机物质的分解是一个较缓慢的过程,在一季作物后,必然还有部分肥料氮存在于半分解的植物残体中;更重要的是绿肥还提供土壤微生物以能源物质,因而在这种情况下将形成较多的“活性有机质”。这些,正是一般认为绿肥中的氮素对后季作物的有效性较高的根据。

平衡账还表明,不同绿肥中氮素的损失率各不同。如所预期,紫云英和水葫芦中氮素的损失较少,约在 11% 以下,比文献中同样条件下硫酸铵的损失率低。有趣的是,尽管从氮素利用率来看,绿萍中氮素的矿化量并不高;氮素释放过程的研究也表明,在水稻生长的各个时期中,它所释出的矿质态氮量都比紫云英少<sup>[3]</sup>,但其氮素的损失率最高,达 15% 左

1) 同前页1)。

右。

已经知道, 渍水条件下非石灰性土壤中氮素的损失主要是由于微生物反硝化作用所致。反硝化作用的强度取决于氧化还原电位的高低, 后者又决定于易分解有机物质的多少。绿萍在整个水稻生长期中矿化的氮量既较紫云英低, 易分解的有机组分量又较紫云英少, 显然, 其氮素损失率较高不能用反硝化作用较强来解释。Bremner<sup>[5]</sup> 曾证明, 酚类化合物的存在, 将导致化学反硝化:



绿萍的木质素含量较高, 可能这是导致它的氮素损失较紫云英等为高的主要原因。

## (二) 不同绿肥中氮素对后季作物的有效性

表 3 为第二季作物时各绿肥中残留氮的利用率。由表 3 可见, 尽管种植第二季作物时土壤中留存的绿肥氮素还相当多, 但其中能为作物吸收利用的比例并不高, 大约仅为最初加入量的 2.7—4.0%。从这个数值来看, 似乎来自不同绿肥中的氮素对第二季作物的有效性彼此间并没有多大差异。但是, 不同绿肥残留的氮量并不相等, 因而按残留的氮量计算时就可清楚地看到它们对第二季作物的有效性很不相同: 绿萍最低, 紫云英最高。

表 3 绿肥残留氮的利用率 (第二季作物: 荞麦)

Table 3 Recovery of residual nitrogen of green manures by succeeding buckwheat after rice

绿肥种类 Green manure	地上部分 Tops	根 Roots	利用率 % Plant recovery %	
	毫克/盆 mg/pot	毫克/盆 mg/pot	以最初加入 <sup>15</sup> N 量计 On the basis of the amount of <sup>15</sup> N initially added	以残留 <sup>15</sup> N 量计 On the basis of the amount of residual <sup>15</sup> N
紫云英 Milk vetch	10.50	0.43	3.95	8.45
水葫芦 Common water hyacinth	7.83	0.48	2.92	4.46
绿萍 Azolla	7.42	0.31	2.74	4.34

Broadbent 等<sup>[6]</sup> 在研究氮素转化时, 曾提出用氮素有效性比率来作为残留氮的有效性

的相对量度。其计算公式如下:

$$\text{氮素有效性比率} = \frac{\text{矿化的或作物吸收的 } ^{15}\text{N 量占土壤中残留的 } ^{15}\text{N 总量的}\%}{\text{矿化的或作物吸收的土壤氮量占土壤总氮量的}\%}$$

表 4 氮素有效性比率

Table 4 Nitrogen availability ratio

绿 萍 种 类 Green manure	木 质 素, % Lignin, %	氮 素 有 效 性 比 率 Nitrogen availability ratio	
绿 萍 Azolla	19.1	第二季作物 (荞麦) 2nd crop (buckwheat)	1.39±0.00
		第三季作物 (大麦) 3rd crop (barley)	1.04±0.12
		密闭培养* Closed incubation*	0.81
水 葫 芦 Common water hyacinth	11.1	第二季作物 (荞麦) 2nd crop (buckwheat)	1.71±0.01
		第三季作物 (大麦) 3rd crop (barley)	1.63±0.15
		密闭培养 Closed incubation*	1.10
紫 云 英 Milk vetch	9.1	第二季作物 (荞麦) 2nd crop (buckwheat)	2.62±0.01
		第三季作物 (大麦) 3rd crop (barley)	3.00±0.09
		密闭培养* Closed incubation*	1.61

\* 第三季作物收获后的土壤。

\* Soil samples were taken from the pots where 3rd crop had been harvested.

表 4 中列入了不同绿肥的残留氮的有效性比率值。表 4 表明,第二和第三季作物时,紫云英和水葫芦的氮素有效性比率值显著大于 1.0, 这证明,该二种绿肥的残留氮的有效性显著大于土壤原有有机氮的有效性。值得注意的是,绿萍的残留氮的有效性在第二季作物时,只略比土壤原有有机氮的有效性高一点,第三季作物时以及第三季作物以后,则仅等于或甚至略小于土壤原有有机氮的有效性,虽然种植第二季作物后无论残留的绿肥氮素或土壤原有有机氮的矿化率都很低。

很多研究指出,植物残体的分解速率一般在最初三个月内,特别是第一个月内最大。在另一组试验中我们也曾观察到,在田间条件下,当气温在 25—35°C 范围内时,在最初三个月内紫云英、水葫芦和绿萍的分解量分别为 71%、68% 和 44%,一年内的分解量分别为 77%、76% 和 50%。由此似乎可以认为,在第一季作物生长期间,各种绿肥中的易分解组分几乎已全部分解掉,第二季作物所吸收的绿肥氮,主要来自自由绿肥形成的“新形成的土壤有机质”。

转变为土壤有机质的肥料氮将存在于有机质的各组份中<sup>[9]</sup>。Jenkinson<sup>[7]</sup> 指出,就有

机质各组份而言,“生命体”中氮素的有效性最高。按此概念,如果我们把氮素有效性比率值看作是绿肥分解过程中所形成的“生命体”量的一个粗略量度,则据此可以认为,紫云英、水葫芦分解时生成的“生命体”量较多,绿萍生成的“生命体”量较少。

微生物利用植物残体一方面作为其能源物质,另一方面作为合成其躯体的原料。植物残体的化学组成不同,微生物分解利用它的难易程度将不同,生成的“生命体”量也将各异。绿萍分解过程中生成的“生命体”量较少、其氮素对后季作物的有效性较紫云英、水葫芦等为低,看来是由于其木质素含量较高的缘故。众所周知,木质素不但本身较难为微生物利用,而且当它与其他有机化合物结合时,还将使这些有机化合物,包括含氮有机物较难为微生物分解。例如,在一组试验中,我们将绿肥混入土壤中腐解,分别于三个月和六个月后将样品用超声波-重液法分离其轻组(比重 $<2.06$ )。分析结果表明,施入绿萍的土样,不但其轻组中所含的碳量占残存的总碳量的百分数显著地较紫云英和水葫芦的为高,而且其轻组的 C/N 比值也显著较低。由此可见,绿肥植物的化学组成不但影响其氮素对当季作物的有效性,而且也影响其残效的大小。

### 三、结 语

绿肥常被认为是当季作物有效氮素的良好供应者,并对后季作物有较好的肥效。对于象紫云英等 C/N 比值小、木质素含量低的绿肥来说,这种说法看来是正确的。但对象绿萍这样 C/N 比值虽小、而木质素含量较高的绿肥来说,情况并不是这样。高含量的木质素(20%)不但使绿萍中的氮素对当季作物的有效性较紫云英显著为低,以及可能由于化学反硝化作用使氮素的损失量增加,而且也使残留氮对后季作物的有效性显著降低,大约仅等于土壤原有有机氮的有效性。

残留氮的有效性,在一个方面反映了绿肥分解过程中所生成的“新形成的土壤有机质”质量的好坏。不同化学组成的绿肥,其残留氮的有效性不等这一事实表明,它们在改善土壤有机质质量方面的作用是各不相同的。C/N 比值虽小但木质素含量较高的绿肥,如绿萍,它们在提高土壤有机质含量方面的作用虽较大,但在改善土壤有机质质量方面的作用却较小。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院土壤研究所主编, 1968: 中国土壤。科学出版社。
- [2] 朱兆良、蔡贵信、俞金洲, 1977: 稻田中  $^{15}\text{N}$  标记硫酸铵的氮素平衡的研究初报。科学通报, 22:503。
- [3] 施书莲、程励励、林心雄、束中立、文启孝, 1978: 绿萍的增产和改土作用。土壤学报, 15:54—60。
- [4] 蔡贵信、张绍林、朱兆良, 1979: 测定稻田土壤氮素矿化过程的淹水密闭培育法的条件试验。土壤, 第6期, 234—240。
- [5] Bremner, J. M., 1968: The nitrogenous constituents of soil organic matter and their role in soil fertility. In “Organic Matter and Soil Fertility”, 143—185. North-Holland Publishing Company-Amsterdam and Wiley Interscience Division. John Wiley & Sons, Inc-New York.
- [6] Broadbent, F. E. and Nakashima, T., 1976: Reversion of fertilizer nitrogen in soil. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 31: 648—652.
- [7] Jenkinson, D. S., 1966: Studies on the decomposition of plant material in soil, II, Partial of sterilization of soil biomass J. Soil Sci., 17: 280—302.
- [8] Legg, J. O. and Allison, F. E., 1967: A tracer study of nitrogen balance and residual nitrogen

- availability with 12 soil. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 31: 403—406.
- [9] McGill, W. B. and Paul, E. A., 1976: Fractionation of soil and  $^{15}\text{N}$ -nitrogen to separate organic and clay interactions of immobilized N. Canad. J. soil sci., 56: 203—212.
- [10] Russel, E. W., 1973: Soil Condition and Plant Growth. 10th Ed., 261—281, Longman London and New York.

## THE AVAILABILITY OF NITROGEN OF GREEN MANURES IN RELATION TO THEIR CHEMICAL COMPOSITION

Shi Shu-lian, Wen Qi-xiao\* and Liao Hai-qi

(Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica)

### Summary

The nitrogen balance and the availability of residual nitrogen of green manures in relation to their chemical composition were studied in pot and incubation experiments. Azolla, milk-vetch and common water hyacinth were used as green manures and labelled by the fertilization of  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Result obtained are summarized as follows:

1. Although plant materials having lower C/N ratio usually give more available nitrogen and the C/N ratio of azolla was lower than that of milk-vetch, yet azolla contained high lignin about 20%, and consequently the percentage recovery of nitrogen by rice plant from azolla was much lower than that from milk-vetch.

2. The loss of nitrogen from azolla during the growing period of rice plant was more than that from milk-vetch. It may be due to chemodenitrification.

3. Judging from the nitrogen availability ratio (defined as the percentage of nitrogen originated from plant residues mineralized or absorbed by crop divided by the percentage of soil native nitrogen of the same performances), the residual nitrogen availability of azolla was equal to, or slightly lower than that of soil native organic nitrogen, while that of milk-vetch and common water hyacinth was usually higher.

It seems that the effect of green manures on the improvement of soil organic matter varied with their chemical composition. Green manures with a higher lignin content usually yielded a lower amount of "active organic matter".

\* Previously translated as Wen Chi-hsiao.