

^{15}N —绿肥和 ^{15}N —硫酸对土壤有机无机复合体中碳氮的影响*

丁维新

陈铨荣 王立德 孙维纶

(中国科学院南京土壤研究所)

(南京农业大学)

摘 要

应用 ^{15}N 示踪技术研究了硫酸和绿肥对土壤碳、氮的影响。结果表明,它们能增加土壤重组碳、氮和紧结态碳、氮,重组中的 ^{15}N 集中于紧结态腐殖质中,碳、氮的累积量都是施绿肥比施硫酸的为多。

各施肥处理的松结态碳、氮在稻季累积,麦季释放,紧结态氮有一部分释放。氮素的下降幅度是松结态氮大于紧结态氮,绿肥处理大于硫酸处理, ^{15}N 量大于全氮量。

施肥对土壤有机无机复合体的状况影响极大,而复合体在土壤的保肥和供肥方面起着重要作用。

本文借助 ^{15}N 技术研究了豆科、禾本科绿肥及硫酸对复合体各组腐殖质中碳、氮积累的影响,及其再释放供作物利用的特点。采用 ^{15}N 标记的豆科绿肥大荚箭舌豌豆和禾本科绿肥黑麦草,比较 ^{15}N —绿肥与 ^{15}N —硫酸、绿肥单施与混施,在供应氮素养分和提高土壤氮储量方面的不同效果,为合理施肥提供一定依据。

一、材料与方法

(一) ^{15}N 标记大荚箭舌豌豆和黑麦草的方法

将基建用黄砂与长江冲积性砂土的下层土,按4:6(重量)的比例混匀,过2mm筛孔。每个塑料桶装过筛后砂土10公斤,施入 P_2O_5 1.10克, K_2O 1.02克,微量元素混合物0.02克,并充分拌匀。1985年11月28日播种大荚箭舌豌豆(*Vicia sativa* Li.简称箭豌)和意大利黑麦草(*Lolium multiblorum* Lam.简称黑麦草)。用原子百分超30.02%的 $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 配成0.1%水溶液,根据绿肥长势,在冬季少施,春季多施。一般每隔5—12天浇施一次,每次用量200—400ml。

箭豌和黑麦草分别于盛花期(86年4月11日)和拔节期(4月17日)收获地上部分,烘干、磨碎,过40目筛,贮藏备用。黑麦草和箭豌对硫酸 ^{15}N 的利用率平均为82.13%,尚有11.69%的 ^{15}N 残留于砂土中,有6.18%的 ^{15}N 损失掉。供试绿肥地上部分的化学组成如表1所示。

(二)盆栽试验

每盆(15×18cm)装已除去植物残体并过5mm筛孔的风干的由下蜀黄土母质上发育的黄

*美国华盛顿州立大学N. H. Cheng教授对试验提出宝贵意见,谨致谢意。

表1 箭 碗 和 黑 麦 草 的 化 学 组 成 分

植 物 种 类	生 育 期	全 碳 %	全 氮 %	C/N	¹⁵ N 原 子 百 分 超 %	水 溶 性 氮 %	组 成 分 (占 无 灰 干 物 质 %)						灰 分 %
							苯-醇 溶 性 物	水 溶 性 物	半 纤 维 素	纤 维 素	木 质 素	粗 蛋 白	
黄 麦 草	拔 节 期	40.8	1.26	32.4	—	0.43	10.7	31.4	12.6	21.8	8.10	5.19	1.11
箭 碗	盛 花 期	41.2	2.49	16.5	—	1.38	7.77	21.7	8.08	21.7	14.7	6.94	9.20
¹⁵ N—黑 麦 草	拔 节 期	40.5	1.14	35.6	24.3	0.19	9.03	31.0	16.4	19.1	5.98	5.94	13.4
¹⁵ N—箭 碗	盛 花 期	41.5	2.70	15.4	23.9	0.78	21.0	21.0	7.79	18.5	12.9	12.0	11.4

粗蛋白%=(全氮%-水溶性氮%)×6.25

测定方法见《土壤有机质研究法》，农业出版社，250—272，1986。

棕壤心土2公斤。供试土壤的理化性状列于表2。试验设7个处理：

(1)对照，不施氮肥，栽稻(下同)；(2)基施(¹⁵NH₄)₂SO₄，肥料纯氮量650mg/盆(下同)；(3)追施(¹⁵NH₄)₂SO₄，分别于分蘖期、拔节期和孕穗期各追施194mg、277mg及179mg；(4)¹⁵N—箭碗24.08g，基施(下同)；(5)¹⁵N—黑麦草24.67g+普通硫铵1.739g；(6)¹⁵N—黑麦草12.33g+普通箭碗12.23g+普通硫铵0.967g；(7)¹⁵N—箭碗12.04g+普通黑麦草12.25g+普通硫铵0.805g；

各处理重复4次。在基施和追施硫铵处理中，所用(¹⁵NH₄)₂SO₄的原子百分超为13.49%。单施绿肥按干物质含碳量占风干土重的0.5%计算，混施的两种绿肥其含碳量各占风干土重的0.25%。每盆施入P₂O₅和K₂O各0.30克。

表2 供 试 土 壤 的 基 本 性 状

土 壤 类 型	采 样 地 点	采 样 深 度 (厘米)	pH (H ₂ O)	全 碳 %	全 氮 %	C/N	机 械 组 成 (粒 径 : mm, %)					质 地 名 称
							1—0.05	0.05—0.01	0.01— 0.005	0.005— 0.001	<0.001	
黄棕壤	南农校园	25—50	6.88	0.554	0.066	8.36	16.4	35.1	10.2	16.1	22.2	粘壤土

注：土壤质地名称按中国制质地分类命名。

上述各处理的盆钵于1986年6月8日淹水，7月1日栽稻，品种为7038，秧龄30天，每盆种两穴，每穴有秧苗两株，均带一个分蘖。10月16日收割后，把盆内土壤全部倒出，风干、磨碎，尽量拣出稻根。除留200克土供分析外，其余土壤再与0.3克P₂O₅和0.3克K₂O混匀，不再施用氮肥，仍装入原来盘内。11月8日播种小麦，品种为824，每盆留苗8株，生长期间管好水分并防治病虫，1987年5月14日收获。

(三)土壤有机无机复合体的分组

按傅积平^[1]的土壤结合态腐殖质分组测定法。此法用比重为2.0的杜列液，在超声波分散条件下，把土壤中未分解或半分解的有机质(即轻组)与完全腐殖化的同土壤矿质部分结合的有机质(即重组)分开，并分别测定重组中的松结态、稳结态和紧结态腐殖质的碳、氮含量。同位素¹⁵N丰度用光谱法测定。

二、结果与讨论

(一)绿肥和硫铵对土壤重组碳及各组结合态有机碳的影响

表3结果表明，施绿肥的土壤，其重组碳含量比对照增加18.8—29.3%，追施硫铵的土

表3 各处理的土壤重组碳及结合态碳含量(占风干土重%)

处 理	重 组 碳				松 结 态 碳				稳 结 态 碳				紧 结 态 碳			
	I	增(减) %	II	增(减) %	I	增(减) %	II	增(减) %	I	增(减) %	II	增(减) %	I	增(减) %	II	增(减) %
对 照	0.484	—	0.538	—	0.180	—	0.183	—	0.110	—	0.038	—	0.194	—	0.317	—
硫铵基施	0.477	-1.45	0.549	2.04	0.220	22.2	0.162	-11.5	0.068	-38.2	0.032	-15.8	0.189	-2.58	0.355	12.0
硫铵追施	0.515	6.40	0.600	11.5	0.222	23.3	0.178	-2.73	0.068	-38.2	0.038	—	0.225	16.0	0.384	21.1
¹⁵ N—箭筈	0.610	26.0	0.662	23.1	0.235	30.6	0.188	2.73	0.090	-18.2	0.061	60.5	0.285	46.9	0.413	30.3
¹⁵ N—黑麦草	0.575	18.8	0.640	19.0	0.240	33.3	0.196	7.10	0.095	-13.6	0.077	103	0.240	23.7	0.367	15.8
¹⁵ N—黑麦草 +箭筈	0.612	26.5	0.629	16.9	0.223	23.9	0.191	4.37	0.090	-18.2	0.052	36.8	0.299	54.1	0.386	21.8
¹⁵ N—箭筈 +黑麦草	0.626	29.3	0.661	22.9	0.265	47.2	0.185	1.09	0.082	-25.5	0.048	26.3	0.279	43.8	0.428	35.0

I—稻作后, II—麦作后。

壤比对照高6.40%, 而基施硫铵的重组碳含量甚至比对照还低14.5%。

麦作后, 凡施过肥料的土壤, 其重组碳均高于对照, 这是种过稻、麦两季作物后重组碳的总增量。施绿肥的比对照高16.9—23.1%, 施硫铵的只增加2.04—11.5%, 显示绿肥在改土培肥上有较强作用。

施硫铵导致重组碳的增加, 有人认为这是微生物的代谢产物及其遗体的贡献^[2]; Vacura^[3]的试验表明, 在小麦生长初期, 根系的排出物较多, 其总量是地上干物质的7—10%, 表明根系分泌物对重组碳的增加有一定作用; 此外, 在小麦生长期, 根系的腐烂分解也可能有一些影响。

绿肥和硫铵对各组结合态有机碳的影响也不同。稻作后, 各绿肥处理使松结态碳比对照增加23.9—47.2%, 紧结态碳增加23.7—54.1%, 稳结态碳一致减少, 尽管绿肥种类和施用方式不同, 却都增加了松结态碳和紧结态碳, 施硫铵主要使松结态碳增加。

麦作后, 各施肥处理的松结态碳和稳结态碳都比稻作后明显地降低, 而紧结态碳却增加很多, 其占重组碳的相对量也增大。看来, 在麦作期间, 碳素不仅有从松结态和稳结态向紧结态腐殖质转移的趋势, 而且土壤中未分解、半分解的植物残体也有继续腐解, 转化成紧结态碳, 使其含量提高。

Sauerbeck^[4]认为, 土壤中存在两个相对独立的有机质库(pool), 即容量较小的不稳定库和容量较大的稳定库。前者易受外界因素影响而变化, 后者则否。松结态腐殖质是活性腐殖质, 它容易分解并释放养分, 属于不稳定的有机质库。而紧结态腐殖质则属于稳定的有机质库。

从麦作后土壤复合体中松、稳、紧三种结合态碳的数量看, 施绿肥的处理分别为0.185—0.196%、0.048—0.07%和0.367—0.428%; 施硫铵的处理则为0.162—0.178%、0.032—0.038%和0.355—0.384%。施绿肥的处理均比施硫铵处理的相应数值为高。

施绿肥能增加土壤复合体中紧结态碳量, 这与以往的研究结果是一致的^[5,7]。而且袁可能等^[6,7]还指出, 紧结态腐殖质与大团聚体的形成密切相关, 提高其含量能使土壤团聚体数量增加, 有利于土壤培肥和改良。

(二) 绿肥和硫铵对土壤重组全氮量及¹⁵N含量的影响

从表4可见, 在肥料氮量相等的条件下, 施绿肥的处理, 无论在稻作还是麦作后, 其重组全氮量均明显地高于施硫铵的处理。这是因为硫铵中铵态氮能直接被稻麦吸收, 利用率较

表4 各处理的土壤重组全氮量及¹⁵N含量

处 理	土壤重组全氮量%				麦作期间 重组全氮 的释放率 %*	肥料 ¹⁵ N 用量 (mg/盆)	重组中 ¹⁵ N的含量 (mg/盆)		重组中 ¹⁵ N的残 留率 %**		麦作期间 重组 ¹⁵ N 的释放 率%***
	稻作后	增减%	麦作后	增减%			稻作后	麦作后	稻作后	麦作后	
对 照	0.066	—	0.065	—	1.52	—	—	—	—	—	—
硫酸基施	0.068	3.03	0.065	—	4.41	650	107	—	16.5	—	—
硫酸追施	0.070	6.06	0.070	7.69	0	650	156	145	24.0	22.3	7.05
¹⁵ N—箭 豌	0.086	30.3	0.081	24.6	5.43	650	167	113	25.7	17.4	32.3
¹⁵ N—黑麦草	0.092	39.4	0.087	33.9	5.43	281	163	170	58.0	60.5	-4.29
¹⁵ N—黑麦草+箭豌	0.091	37.9	0.085	30.8	6.59	141	73.3	65.9	52.0	46.0	11.3
¹⁵ N—箭豌+黑麦草	0.088	33.3	0.084	29.2	4.55	325	95.3	32.1	29.3	25.3	13.9

* 重组全氮释放率(%) = $\frac{\text{稻作后重组全氮量} - \text{麦作后重组全氮量}}{\text{收稻后重组全氮量}} \times 100$;

** 重组中¹⁵N的残留率(%) = $\frac{\text{重组中}^{15}\text{N} \text{ 的含量}}{\text{肥料}^{15}\text{N} \text{ 的用量}} \times 100$;

*** 重组中¹⁵N的释放率(%) = $\frac{\text{稻作后重组}^{15}\text{N} \text{ 含量} - \text{麦作后重组}^{15}\text{N} \text{ 含量}}{\text{收稻后重组}^{15}\text{N} \text{ 含量}} \times 100$

高,故氮素在重组中残留量较少,而绿肥中的有机氮需经微生物转化才能逐步释放,因而其氮素在重组中残留较多。

在(4)一(7)各处理中,施入的绿肥碳量各为10克,肥料氮量为0.65克,C/N比都是15.38。在此情况下,虽然无机氮肥有促进黑麦草矿化的作用,但还能显示出箭豌和黑麦草中氮素释放有难易的差别。不管是稻作还是麦作后,重组全氮量都以施¹⁵N—黑麦草的最高,两种绿肥混施的次之,单施¹⁵N—箭豌的最低。从表1可见,箭豌含水溶性氮及粗蛋白较多,腐解时能释放较多的氮素;黑麦草则水溶性氮和粗蛋白的含量较少,其含氮物质的组成结构可能也较复杂,故释放氮量少;混施处理的绿肥氮含量界于两者之间,释氮量也居间,具有缓速兼备的肥效特点。

有机氮在土壤中的分解和积累是两个相反的过程。绿肥氮的矿化量愈高,则稻麦的吸氮量也愈多,在各施肥处理中,稻麦的吸氮总量与土壤重组全氮量(收麦后)之间呈极显著的负相关($r = -0.979^{***}$)。

肥料¹⁵N在重组的残留率及全氮量的高低也有一致趋势。稻作后重组中硫酸¹⁵N的残留率是16.5—24.0%,绿肥¹⁵N则为25—58.0%(表4),表明绿肥对土壤氮素积累有积极的作用。但是无论是稻作还是麦作后,也无论是单施还是混施,黑麦草¹⁵N的残留率总是比箭豌¹⁵N高。

为了研究肥料氮进入重组后的再释放及对后作的有效性,在小麦生长期我们不再施肥,小麦所需氮素完全依靠残留肥料氮和土壤氮供给。从表4可见,在麦作期间,重组全氮及肥料¹⁵N一般都能再释放,而且¹⁵N的释放率高于全氮的释放率,表明新进入重组的肥料¹⁵N的有效性比原来的土壤氮为高。

(三)绿肥和硫酸对各组结合态氮和¹⁵N含量的影响

稻作后各绿肥处理的松结态氮较对照增加56.3—68.8%,紧结态氮增加23.8—40.5%。施硫酸使松结态氮增加50%,紧结态氮量的变化很小。可见在稻作期间施用硫酸主要是增加了土壤松结态氮量,但其增加量低于绿肥处理者。绿肥不仅能提高土壤松结态氮,而且还能较多地增加土壤紧结态氮量。

表5 土壤重组中结合态腐殖质各组分的全氮量(占风干土重%)

处 理	松 结 态 氮			稳 结 态 氮			紧 结 态 氮		
	稻作后	麦作后	释放率%	稻作后	麦作后	释放率%	稻作后	麦作后	释放率%
对 照	0.016	0.021	-31.3	0.008	0.009	-12.5	0.042	0.035	6.70
硫酸基施	0.024	0.021	12.5	0.006	0.008	-33.3	0.038	0.036	5.26
硫酸追施	0.024	0.019	20.8	0.007	0.009	-28.6	0.039	0.042	-7.69
¹⁵ N—箭筈	0.027	0.020	5.93	0.007	0.008	-14.3	0.052	0.053	-1.90
¹⁵ N—黑麦草	0.025	0.020	20.0	0.008	0.008	—	0.059	0.059	—
¹⁵ N—黑麦草和箭筈	0.026	0.022	15.4	0.008	0.011	-37.5	0.057	0.052	8.77
¹⁵ N—箭筈和黑麦草	0.027	0.024	11.1	0.007	0.011	-57.1	0.054	0.049	9.26

$$\text{释放率}\% = \frac{\text{稻作后结合态氮量}\% - \text{麦作后结合态氮量}\%}{\text{稻作后结合态氮量}\%} \times 100$$

表6 土壤重组中结合态腐殖质各组的分¹⁵N含量(mg/盆)

处 理	松结态 ¹⁵ N			稳结态 ¹⁵ N			紧结态 ¹⁵ N		
	稻作后	麦作后	释放率%	稻作后	麦作后	释放率%	稻作后	麦作后	释放率%
硫酸基施	41.2*	27.9	34.4	5.20	6.90	-32.7	60.6		
	38.5			4.90			56.6		
硫酸追施	23.0	17.2	25.2	5.00	7.80	-56.0	128	120	6.25
	14.7	11.8		3.20	5.40		82.1	82.8	
¹⁵ N—箭筈	25.3	19.6	45.3	6.70	5.90	11.9	125	87.5	30.0
	21.1	17.4		4.00	5.20		74.9	77.4	
¹⁵ N—黑麦草	38.6	37.1	3.89	11.4	9.90	13.9	113	123	-8.85
	23.6	21.8		7.10	5.80		69.3	72.4	
¹⁵ N—黑麦草和箭筈	21.6	13.3	38.4	3.40	4.30	-26.5	48.3	47.4	1.86
	29.5	20.4		4.60	6.70		65.9	72.9	
¹⁵ N—箭筈和黑麦草	28.9	23.7	18.0	4.70	5.00	-6.38	61.7	53.4	13.5
	30.3	28.8		5.00	6.10		64.7	65.1	

* 分子为结合态¹⁵N的mg/盆, 分母为占重组¹⁵N的%。

在麦作期间, 松结态氮的释放率较大, 为5.93—20.8%, 表明它们是作物易利用的氮素形态。但紧结态氮在各处理中的表现则不一致, 有增有减, 变化范围为-9.26—7.69%。

在麦作期间, 3种结合态氮的释放率都高于全氮的释放率(表6), 松结态¹⁵N减少3.89—45.3%, 释放率最高。稳结态¹⁵N有增有减, 紧结态¹⁵N除个别处理外, 下降1.86—30.0%。看来, 重组全氮及¹⁵N的再释放主要取决于松结态氮的降低程度, 因为它是新形成的分子结构较简单的腐殖质。所谓紧结态氮, 是指在超声波分散条件下, 不溶于焦磷酸钠溶液而存留于土壤中的残渣氮, 其形态及其与土壤矿物质结合的方式都很复杂。另外绿肥和硫酸的¹⁵N在刚参与土壤新鲜腐殖质的形成时, 其腐殖化程度较低, 与矿质部分的结合态尚不紧密, 因而有分解而释放有效氮的可能性[9]。

稻作期间, 肥料¹⁵N在3种结合态腐殖质中的分布是: 紧结态所占比例最大, 为重组¹⁵N量的56.6—82.1%, 施用硫酸导致紧结态¹⁵N增加是与粘土矿物对¹⁵NH₄⁺-N的固定密切相关[8], 松结态¹⁵N次之, 占14.7—38.5%; 稳结态¹⁵N最少, 仅为3.2—7.10%。麦作期间, 松结态¹⁵N的相对含量下降, 紧结态¹⁵N则增加, 这与3种结合态氮占重组全氮的相对含量变化有大致相同的趋势。 (下转第132页)

进农业生态结构良性循环的系统；治理水土流失，以治坡为主，沟坡兼治。治坡以削减地表径流，控制沟壑发展；保持水土要以防为主，防治结合，防止新的水土流失发生；需搞好水土保持规划，因地制宜，因害设防。有针对性地确定防治措施，使各项水土保持措施行之有效。

(上第137页)

普通铅酸蓄电池为电源，半月充电一次。

(三)稳定性 此野外数据自动采集装置，自1988年5月的野外实地运行以来，除人为原因及传感器发生故障造成停机外，能够长期连续运转。图4为该采集器连续一个月自动记录的日平均气温(8—20时)数据与人工观测数据(由我所物理室提供)的对比曲线。由图可见，采集器运行准确、可靠，两者最大差值为1.5℃。

TSC—1数据采集器除性能稳定可靠外，还具有满足生态环境低速数据采集的要求；耗电省，易于电池供电；体积小，适于野外田间安装等优点。

参 考 文 献

- [1] D. M. Vinwin 著(杨正明等译)，生物环境的小气候测量，气象出版社，1985。
- [2] CSIRO DIVISION of SOILS. "Biennical Report Division of Soils", 69-70. Australia, 1974-1975.
- [3] P.F. North, etc., COMP & GEOSCL., Vol19, No2, 229-234, 1983.
- [4] 复旦大学微机开发应用研究室，MCS—51 微计算机用户手册，铅印本，1984。
- [5] 肖明耀著，实验误差估计与数据处理，科学出版社，1985。
- [6] 浙江大学数学系高等数学教研组编，概率论与数理统计，265~266，人民教育出版社，1979。

(上接第127页)

参 考 文 献

- [1] 傅积平，土壤有机无机复合度测定法，土壤肥料，第1期，1978。
- [2] Saiz-Jimenez, C. K. Haider et al, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39(4), 1975.
- [3] Vancura, V., Plant and Soil, 21(2), 1964.
- [4] Sauerbeck, D. R. et al. 德意志联邦共和国和哥斯达黎加不同土壤中¹⁴C标记植物残体的田间分解，《土壤有机质研究》，科学出版社，1983(3)。
- [5] 汪德水，绿肥作物对土壤有机质品质的影响，土壤肥料，第3期，1983。
- [6] 袁可能等，土壤有机矿质复合体研究，土壤学报，第4期，1981。
- [7] 刘忠翰等，稻草、紫云英对土壤复合体性质的影响，土壤学报，第2期，1984。
- [8] 文启孝等，土壤中的固定态铵，《我国土壤氮素研究工作的现状与展望》，科学出版社，1986。
- [9] Laura, R. D., Plant and Soil, 44: 463-465, 1976.