

应用¹⁵N示踪研究麦秸还田中氮的去向*

徐新宇 张玉梅 胡济生

(中国农业科学院土壤肥料研究所)

摘 要

应用¹⁵N示踪技术研究了麦秸铺施和混施方式下, 秸秆中氮在土壤中的去向。试验结果表明: 1. 麦秸铺盖土表还田的, 夏谷地上部分和籽粒部分对秸秆氮的利用率分别为28.3%和15.2%, 而麦秸与土壤混合施用还田的, 其对秸秆氮的利用率则分别为20.6%和12.0%。前者明显优于后者。2. 夏谷生长87天后, 麦秸铺施还田的, 秸秆氮有28.3%进入夏谷株体中; 16.5%进入土壤腐殖质; 0.5%和3.1%分别进入渗漏水 and 以气态等形式逸失; 残留于土壤中的秸秆氮(包括夏谷根系)约有51.6%。而麦秸混施还田的, 秸秆氮进入夏谷株体、土壤腐殖质、渗漏水 and 以气态逸失的量分别占施入秸秆氮总量的20.5%, 14.8%, 0.2%和11.5%, 残留于土壤中的约占总量的53.0%。

近10年来, 国内外均有不少有关土壤的供氮能力和氮素化肥施入土壤后氮素去向的报道^[1-3, 5, 9-11]。而有机肥料, 特别是作物秸秆直接还田后秸秆中氮素去向的研究, 在国内报道的尚少。本文用¹⁵N标记小麦秸秆, 以不同施用方式还田后, 示踪研究了秸秆中氮素的去向, 以便为秸秆直接还田的不同施用方式和施用措施提出确切的评价和理论依据。

一、材料和方法

(一) 材料 供试土壤为北京的壤质褐土, 其pH 8.0, 有机质1.416%, 全N 0.054%; C/N 12.4; 盐基代换量11.62毫克当量/100克土; 有效磷6.8ppm; 速效钾(K₂O) 83ppm; 碱解氮28ppm。

(二) 方法

1. 预备试验 用¹⁵N标记小麦秸秆。取标记有¹⁵N的硫酸铵丰度为29.07% (上海化工研究院产), 每盆加入1.1429克, 与1.5公斤土壤均匀混拌后装盆¹⁾, 播种春小麦。至收获期割取地上部分烘干, 铡成1厘米长特用。从中抽取样品(包括茎、叶、穗轴、颖壳等), 经消煮后用VG 602型质谱仪测得¹⁵N丰度为11.96 ± 0.14% (简称为¹⁵N-麦秸), 含N量为0.623 ± 0.033%。

2. 盆栽试验 (1) 铺施麦秸处理: 使用带有底座直径为30厘米、高30厘米的白瓷盆, 每盆装土8公斤。播种作物后在土壤表面均匀铺盖¹⁵N-麦秸20克/盆, 相当于124.6 mgN/盆。(2) 混施麦秸处理: 播种作物前将20克/盆¹⁵N-麦秸与8公斤土壤充分混合后装盆, 相当于混入124.6 mgN/盆。

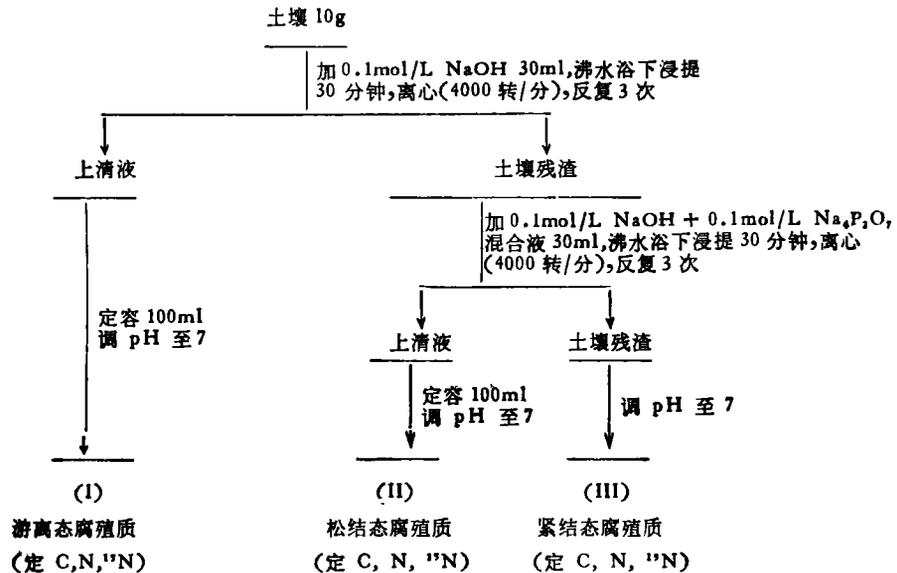
(3) 对照: 不施麦秸, 每盆装土8公斤, 播种作物。

* 中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心李鸿均、顾丽、王跃等同志协助分析了土壤、植株中N及¹⁵N丰度, 特此致谢。

1) ¹⁵N-秸秆标记是套在另一试验上作的, 共计42盆。

以上三种处理均为 8 次重复。各处理于 1985 年 7 月 3 日播种夏谷 (品种 5027), 7 月 6 日出苗, 7 月 7 日全苗, 7 月 12 日定苗, 每盆留苗 15 株。夏谷植株生长期以土壤水分管理为主, 以铺施麦秸处理盆钵土壤水分的变化为标志等量浇水。除装盆后每盆浇水 2.4 升外, 夏谷生育前期每隔 3 天浇水一次, 每盆浇水 1 升。中后期每天浇水一次, 每盆浇水 1 升, 全生育期每盆浇水共 70.4 升。其他管理如松土、除草和病虫害防治等操作均使其一致。肥料管理: 施有机肥蚯蚓粪 (含 $\text{N} 2.03\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 0.58\%$, $\text{K}_2\text{O} 3.65\%$) 100 克/盆; 过磷酸钙 ($\text{P}_2\text{O}_5 12\%$) 1.1429 克/盆和硫酸钾 ($\text{K}_2\text{O} 48\%$) 0.29 克/盆作底肥, 不再补施。试验期间定期观测了作物的生长发育状况。1985 年 9 月 30 日收获, 整个生育期为 87 天。

3. 植株、土壤和渗漏水分析 (1) 植株全 N 和 ^{15}N 丰度测定: 将 8 次重复的植株样合并为 4 次重复后, 植株分取籽粒、谷糠、叶片和茎秆等部分, 分别测定全 N (克氏法) 和 ^{15}N 丰度 (质谱法)^[4]。(2) 土壤有机质及腐殖质组分分离测定: 各盆钵的土壤也与植株一样, 均对应取 4 次重复, 在检出未分解的 ^{15}N -麦秸及根系后, 分别测定土壤有机质含量 (丘林法)、腐殖质组分的分离和 C、N 及 ^{15}N 丰度的测定^[4]。土壤腐殖质组分分离采用武玫玲介绍的方法^[4]并略加修改。



(3) 渗漏水样分析: 搜集各底座盆中的渗漏水, 加 1N 硫酸溶液酸化后在水浴上浓缩, 测定 N 和 ^{15}N 含量。

二、结果和讨论

(一) 秸秆不同施用方式下, 夏谷对秸秆中氮的吸收利用

试验收获时, 将夏谷植株分为籽粒、谷糠、叶片、茎秆和地上部 5 个部分, 并分别测定了氮的含量、各部位中来自秸秆的氮量, 以及地上部分和籽粒部分对秸秆氮的利用率。所得结果汇集于表 1。由表可见, 铺施麦秸处理的地上部含氮量较对照和混施麦秸处理的分别增高 53.6mgN/盆和 66.6mgN/盆, 差异为显著和极显著 ($L. S. D. \alpha = 0.05$) 时为 $\pm 39.2\text{mg N/盆}$, $\alpha = 0.01$ 时为 $\pm 59.4\text{mg N/盆}$ 。夏谷各器官中氮的含量, 除籽粒部分铺施和混施两处理明显高出对照籽粒含氮量。其他器官含氮量, 各处理间无明显差异。应用 ^{15}N -麦秸的示踪试验结果表明, 铺施和混施麦秸处理的夏谷植株地上部分分别有

表 1 秸秆不同施用方式下,夏谷对秸秆中氮的利用

Table 1 Utilization of nitrogen from wheat stubble applied on soil surface and incorporated with soil by millet plant

植物器官 Organs of plant	对 照 Control	铺施麦秸 Surface mulch over soil	混施麦秸 Incooperation into soil
植株各器官内含N量 (mg N/盆) Amount of N in plant organs(mg N/pot)			
地上部	667.0±47.3	720.6±29.3**	654.0±18.9*
籽 粒	355.0±29.8	391.3±7.1**	383.0±13.1**
谷 糠	136.0±5.0	124.0±6.8	109.0±1.6
叶 片	114.0±4.7	129.0±2.4	121.0±4.1
茎 秆	44.7±1.4	51.8±1.4	47.2±1.7
植株体内来自秸秆N的量(mgN/盆) Amount of ¹⁵ N-labeled wheat stubble in plant (mg N/pot)			
地上部	—	35.3±1.2**	25.6±0.5
籽 粒	—	18.9±0.3**	15.0±0.5
谷 糠	—	5.8±0.3**	4.2±0.3
叶 片	—	6.8±0.1**	4.7±0.2
茎 秆	—	2.8±0.1**	1.9±0.1
植株对秸秆氮的利用率(%) Plant recovery of wheat stubble-N applied (%)			
地上部	—	28.3±2.7**	20.6±0.6
籽 粒	—	15.2±0.3**	12.0±0.4

35.3 ± 1.2mg N/盆和 25.6 ± 0.5mg N/盆是来自各自的麦秸。前者的含N量中来自施入麦秸氮的部分比后者明显增多了 27.5% (L. S. D. $\alpha = 0.01$ 时为 ± 4.1mg N/盆)。其余器官部位诸如籽粒、谷糠、茎部和叶部等,来自混施麦秸的氮量均呈现极显著的差异。试验结果还表明,秸秆施用方式不同,夏谷地上部分和籽粒部分对麦秸氮的利用率也有明显差异。如夏谷地上部对施入秸秆氮的利用率,铺施麦秸处理的为 28.3%,混施麦秸处理的为 20.6%,前者较后者提高了 27.2% (L. S. D. $\alpha = 0.01$ 时为 ± 11.7%)。夏谷籽粒部分也有类似现象,铺施处理的对施入秸秆氮的利用率为 15.2%,混施处理的为 12.0%,铺施比混施处理的利用率提高了 21.1% (L. S. D. $\alpha = 0.01$ 时为 ± 4.5%)。

铺施麦秸处理下,夏谷植株对秸秆氮的利用率高于混施麦秸处理的,这一现象的出现可能有两种原因。一是由于秸秆施用方式的不同,改变了土壤的供肥能力。就麦秸铺施于土表来说,这实质上是属于残茬覆盖少耕耕作的类型^[7,14]。秸秆覆盖条件下,土表较秸秆混施的湿润,由秸秆缓慢释放的氮素易于集中在作物幼株根系附近,而利于根系的吸收利用。秸秆混施处理的,矿化出的氮素虽较前者多,但比较分散而利于土壤微生物的固定,土壤的供氮能力在作物生育前期相对减弱。二是由于秸秆施用方式的不同,改变了作物根系的吸肥能力。残茬覆盖少耕(或免耕)较耕翻的作物生物产量明显提高^[8,12]。Fredrickson J. K. 等^[13]的田间试验证明,春小麦对氮肥的利用率,免耕条件的要高于常规的。在用春小麦秸秆处理的微区试验中,表明了冬小麦大约吸收了9%的小麦秸秆氮,且免耕处理的冬小麦秸秆产量最高。

表 2 秸秆不同施用方式下,夏谷土壤腐殖质组分含量的变化
Table 2 Change of humus fractions in soil under wheat stubble applied on soil surface and incorporated with soil

处 理 Treatment	腐殖质碳 Humus C (%)	腐殖质组含碳量 Amount of C in humus fractions (g C/100g soil)			
		游 离 态 Free form	松 结 态 Loosely combind from	紧 结 态 Densely combind form	总 量 Total
对 照	0.821 (± 0.032)	0.179 (± 0.005)	0.158 (± 0.004)	0.507 (± 0.003)	0.844 (± 0.003)
铺施麦秸	0.865 (± 0.018)	0.239** (± 0.014)	0.177 (± 0.002)	0.436* (± 0.006)	0.852 (± 0.004)
混施麦秸	0.849 (± 0.005)	0.195* (± 0.002)	0.161 (± 0.0)	0.490 (± 0.011)	0.846 (± 0.003)

表 3 秸秆不同施用方式下,麦秸氮在腐殖质组分中的分配
Table 3 Distribution of N of wheat stubble applied on soil surface and incorporated with soil in humus fractions (by ^{15}N trace method)

处 理 Treatment	土壤腐殖质组分含氮量 N of humus fractions in soil			
	游 离 态 Free form	松 结 态 Loose combind form	紧 结 态 Dense combind form	总 量 Total
腐殖质各组分含氮量 Amount of N in humus fractions (mg N/pot)				
铺施麦秸	60.3 \pm 1.6	23.1 \pm 0.1	396.8 \pm 11.3	480.2 \pm 11.4
混施麦秸	49.4 \pm 1.2	23.7 \pm 0.1	446.7 \pm 4.2	519.8 \pm 4.4
各组分中来自秸秆的N量 Amount of ^{15}N -labeled wheat stubble in humus fractions (mg N/pot)				
铺施麦秸	2.91 \pm 0.60	0.92 \pm 0.03	16.8 \pm 0.4	20.63 \pm 0.30
混施麦秸	1.80 \pm 0.04	0.81 \pm 0.03	15.8 \pm 0.4	18.41 \pm 0.33

(二) 秸秆不同施用方式下,土壤腐殖质各组分含氮量的变化

在耕种的土壤上,还田的作物秸秆及其残茬是氮素的主要来源。作物秸秆还田方式的不同,影响着土壤有机质的矿化和腐殖质化过程。夏谷土壤经施用麦秸后,土壤有机质含量和腐殖质化过程也随着秸秆施用方式的变化而呈现不同程度的变化。由表 2 可见,土壤铺施麦秸处理的及混施麦秸处理与对照处理三者之间差异不显著。但土壤中各腐殖质组分的含量,特别是游离态腐殖质组分较对照有明显地增多;紧结态组分的含碳量,铺施麦秸处理的比对照明显减少;而松结态腐殖质组分各处理间含碳量差异则不明显。

土壤腐殖质及其组分的变化也相应的影响着土壤腐殖质及其组分中氮素含量的变化。由表 3 可见,夏谷当季土壤腐殖质氮中,来自施用秸秆的氮量,铺施麦秸处理的为 $20.63 \pm 0.30\text{mg N/盆}$,混施麦秸处理的为 $18.47 \pm 0.33\text{mg N/盆}$ 。分别相当于土壤腐殖质含氮总量的 4.3% 和 3.5%。同样,土壤腐殖质各组分中来自施入秸秆氮的量,铺施麦秸处理的游离态、松结态和紧结态的分别相当于腐殖质各组分含氮量的 4.8%、4.0% 和 4.2%。混施麦秸处理的,游离态、松结态和紧结态组分所含来自混施的秸秆氮的量,分别

相当于腐殖质组分在该处理下含氮量的 3.6%、3.4% 和 3.5%。

土壤中的腐殖质化过程是一个相当复杂的动态过程。在此过程中,微生物起着重要作用。作物秸秆施入土壤的方式不同,直接影响着土壤微生物的活动。此外,秸秆施入土壤后时间的长短也有较大的影响。在本试验条件下,上述因素对土壤腐殖质化程度和氮素含量的变化影响较大。表 3 表明,在夏谷整个生长周期 87 天中,约有 20.6mg N/盆(铺施麦秸处理的)和 18.4mg N/盆(混施麦秸处理的)进入了土壤腐殖质的各组分中。

(三) 秸秆不同施用方式下,土壤渗漏水中氮的来源

在夏谷整个试验期间,土壤经过 87 天的水分管理后,由于麦秸施入方式的不同,土壤水分的表面蒸发和土壤的保水性能也表现不同,从表 4 可见,在浇灌等量水分的情况下,

表 4 秸秆不同施用方式下,夏谷土壤渗漏水中氮的来源

Table 4 Sources of N in leached water from soil under the wheat stubble applied on soil surface and incorporated with soil

氮的来源 Sources of N	对 照 Control	铺施麦秸 Surface mulch over soil	混施麦秸 Incorporation with soil
渗漏水体积 (升/盆)	0.761	1.136	0.573
渗漏水含 N 量 (毫克 N/升)	5.6±0.03	16.8±0.01	10.4±0.03
渗漏水中总 N 量 (毫克 N/盆)	4.2	19.0±1.8	5.9±0.4
自来水秸秆 N 量 (毫克 N/盆)	—	0.61±0.02	0.19±0.02
占总氮量的 N (%)	—	3.2±0.95	3.2±0.68
来自土壤 N 量 (毫克 N/盆)	4.2	18.4±1.8	5.7±0.4
占总氮量的 N (%)	100.0	96.8±13.4	96.8±9.7
秸秆 N 的流失率 (%)	—	0.48±0.05	0.15±0.08

土壤覆盖有秸秆的处理,由于蒸发量的减少,土壤蓄墒较好,水分易于下渗,起到了维持作物根区需水的作用。同时伴随渗漏水的增多,水中可溶解的氮量也相应增多,因此形成铺施麦秸处理的渗漏水 and 渗漏水氮量均较多。而混施麦秸处理的,因土壤表面无覆盖物,水分蒸发量相对增大,水分下渗量较小,相应的氮含量也较少。在渗漏水所含的氮量中,铺施麦秸处理的为 0.61 ± 0.02 mg N/盆,混施麦秸处理的为 0.19 ± 0.02 mg N/盆,秸秆氮的流失率分别为 $0.48 \pm 0.05\%$ 和 $0.15 \pm 0.08\%$ 。这里应指出的是,铺施麦秸处理的渗漏水 and 氮的流失量较高,这主要是由于盆栽试验本身的局限性所造成。本试验所用盆钵高度仅为 30 厘米,若在田间条件下,这种下渗状况可能与此不同。

(四) 秸秆不同施用方式下,秸秆中氮在土壤中的去向

以不同方式施入土壤的秸秆,经夏谷播种至收获的 87 天的矿化和腐殖化等作用,秸

表 5 秸秆不同施用方式下, 秸秆中氮的去向

Table 5 Fate of N in wheat stubble applied on soil surface and incorporated with water

氮素的去向 Fate of N		铺施麦秸 Surface mulch over soil		混施麦秸 Incorporated with soil	
		mg N/pot	%	mg N/pot	%
施入秸秆 N总量		124.6±4.6	100.0	124.6±4.6	100.0
支出秸秆 N总量		39.7±2.2	31.9	40.1±1.2	32.2
其中	进入植株体的N	35.3±1.2**	28.3**	25.6±0.5	20.5
	进入渗透水的N	0.6±0.02	0.5	0.2±0.02	0.2
	气态等逸失的N	3.8±1.2**	3.1**	14.3±1.3	11.5
土壤存留 秸秆N		84.9±2.2	68.1	84.5±1.2	67.8
其中	进入腐殖质的N	20.6±0.5**	16.5**	18.4±1.5	14.8
	进入植株根的N	13.2±0.5	10.6	12.9±0.5	10.4
	未分解秸秆中的N	51.1±1.8	41.0	53.1±1.2	42.6

秆氮在土壤进行了重新分配, 将秸秆氮总量分为支出秸秆氮和土壤存留的秸秆氮两大去向。支出秸秆氮又可分为由植株体吸收走的; 随土壤水渗漏掉的和以气态形式逸失的等。而存留于土壤中的氮, 一部分进入了土壤腐殖质各组分中, 另一部分残留于夏谷根系和未分解状态或半分解状态秸秆中(表 5)。试验结果表明, 在施入秸秆氮相等时(124.6 ± 4.6 mg N/盆), 由于秸秆施用方式的不同, 秸秆氮的各去向分配量也受到一定程度的影响。如铺施麦秸处理的, 由夏谷植株吸收利用的秸秆氮量为 35.3 mg N/盆, 占施入秸秆氮总量的 28.3%, 进入渗透水和气态等逸失的各占施入秸秆氮总量的 0.5% 和 3.1%。而残留于土壤中的秸秆氮(包括进入土壤腐殖质部分、夏谷根系和残留在土壤中而未被分解秸秆中的)约为 84.9 ± 2.2 mg N/盆, 占施入秸秆总氮量的 68.1%。而混施麦秸处理的, 在施入的秸秆氮总量中, 有 20.5% 为夏谷植株所吸收利用, 有 0.2% 和 11.5% 的秸秆氮分别进入渗透水和呈气态等逸失。残留于土壤中的秸秆氮量约占施入秸秆氮总量的 67.8%。其中又有 14.8% 进入土壤腐殖质各组分中, 有 10.4% 进入夏谷根系和 42.6% 留存于未分解或半分解的秸秆之中。两种秸秆施用方式之间比较, 总的趋势是铺施方式优于混施方式。这主要表现在铺施处理的秸秆氮进入夏谷植株体的量比混施麦秸处理的多些, 进入腐殖质的秸秆氮量也较混施麦秸处理的多些(L. S. D. $\alpha = 0.01$ 时为 ± 1.7 mg N/盆)。其他如进入渗透水的秸秆氮, 铺施麦秸处理的虽然比混施麦秸处理的多些, 但由气态等状态逸失的秸秆氮量则较混施麦秸处理的明显减少(L. S. D. $\alpha = 0.01$ 时为 ± 4.6 mg N/盆)。

参 考 文 献

- [1] 朱兆良, 1985: 我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展。土壤, 第1期, 2—9页。
- [2] 陈荣业、朱兆良, 1982: 氮肥去向的研究 I. 稻田土壤中氮肥的去向。土壤学报, 第19卷2期, 122—130页。
- [3] 朱兆良, 1979: 土壤中氮素的转化和移动的研究近况。土壤学进展, 第2期, 1—16页。
- [4] 中国农业科学院原子能所第三室、北京农业大学农业物理及农业气象系同位素教研组合译, 1980: 作物和土壤示踪教程。原子能出版社。
- [5] 中国土壤学会土壤农业化学专业委员会土壤生物和生物化学委员会编, 1986: 我国土壤氮素研究工作的现状与展望。科学出版社。
- [6] 武致玲、马毅杰, 1961: 土壤中有机矿质胶体融合的研究 I. 土肥相融的探讨。土壤学报, 第9卷1—2期, 9—21页。
- [7] 周伟金, 1984: 保护性耕作制。土壤学进展, 第4期, 28—35页。
- [8] 徐新宇、张玉梅、向华、李仁生、胡济生, 1985: 秸秆盖田的微生物效应及其应用的研究。中国农业科学, 第5期, 42—49页。
- [9] Stanford, G., 1978: Nitrogen transformations and behaviour in soils in relation to nitrogen availability for crops. FAO Soils Bulletin (37) Rome, 31—40.
- [10] Freney, J. R. and Simpson, J. R., 1983: Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Martinus Nijhoff/W. Junk
- [11] Power, J. F., 1981: Terrestrial nitrogen cycles. Ecol. Bull (Stockholm), 33: 529—546.
- [12] Phillips, R. E., 1980: No-tillage agriculture, "Science", 208(4448): 1108—1113.
- [13] Fredrickson, J. K., 1982: Availability of ^{15}N -labeled nitrogen in fertilizer and in wheat straw to wheat in tilled and no-till soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 46(6): 1218—1222.
- [14] Rennie, D. A. and Heimo, M., 1984: Soil F and fertilizer-N transformations under simulated zero-till: effect of temperature regimes. Can. J. Soil Sci., 64: 1—8.

STUDIES ON THE FATE OF NITROGEN IN WHEAT STUBBLE APPLIED ON SOIL SURFACE AND INCORPORATED WITH SOIL

Xu Xinyu, Zhang Yumei and T. S. Hu

(Institute of Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Sciences)

Summary

The fate of nitrogen in wheat stubble incorporated with soil or mulched on soil surface was studied by ^{15}N tracer technique.

Pot experiment in which millet was sown and harvested after 87 days was conducted at cinnamon soil Beijing Drab Soil. The results are as follows:

1. The applied nitrogen recovery in straw and grain of millet was 28.3% and 15.2% respectively under wheat stubble mulch as compared to that of 20.6% and 12.0% by incorporation with soil.

2. After 87 days of millet grown, 28.3% of the N of wheat stubble applied on soil surface was in millet plant, 16.5% in humus, 8.5% leached off by percolating water, 3.1% lost by volatilization and about 51.6% remained in soil, while 20.0% of that incorporated with soils was in millet plant, 14.8% in humus, 0.2% leached off, 11.5% lost by volatilization and 53.1% remained in soil.