

# 绿肥和藁秆等在苏南地区 土壤中的分解特征\*

林心雄 程励励 施书莲 文启孝

(中国科学院南京土壤研究所)

植物物质是保持和提高土壤肥力的重要物质基础,它是土壤有机质最主要的来源,同时又是作物养分,特别是氮素的补充给源。在我国,农民历来把一切可能利用的植物残体,制作成各种有机肥料,以保持和提高土壤肥力。解放以来,绿肥的种类和面积都有显著增加,包括绿肥在内的有机肥料,现时在土壤氮素的补给中占有相当的比重。

关于植物残体的分解特点,以及它在保持和提高土壤肥力中的作用,虽然已经进行了很多研究,但是大多数工作都是在旱地条件下进行的,而且一些问题仍然不很清楚。例如,就其在形成土壤有机质方面的贡献来说,存在着不同的意见,一些研究者认为,等量植物残体形成土壤有机质的数量与其种类没有多大关系,另一些研究者则认为因植物残体的种类不同而不同。为了验证这一点,我们于1976年用十三种不同化学组成的植物残体进行了试验。试验在无锡田间水田条件下进行。为了比较,取部分植物残体于田间旱地条件下进行了同样的试验。本文报告该试验的部分结果,以及部分植物残体腐解时,对土壤矿质态氮影响的盆栽和培育试验结果,目的在为拟定合理的轮作和耕作制度提供资料。

## 一、物料与方法

### (一) 腐解试验

选取常见的十三种植物残体作为供试物料,其中包括作物残体(稻草、麦秆等),冬绿肥(紫云英、箭舌豌豆和苕子等),夏绿肥(田菁、桤麻)和水生绿肥(绿萍、水葫芦)等。各供试物料在植物分类上种类不同,在化学组成上差异尤大,其中碳水化合物含量变动在39.2—70.8%间,木质素含量变动在8.58—20.7%间,氮含量在0.50—3.77%间,C/N比值在11.2—104.2间(表1)。

根据在生产条件下的实际使用情况,各植物物料分别于1975—1976年在其不同生育时期采集。紫云英、箭舌豌豆、苕子、桤麻和田菁等均采于盛花期;稻草、麦秆、玉米秆、蚕豆秆和稻根等在成熟脱粒后采集。样品经低温烘干、磨细过40孔筛后备用。

供试土壤为黄褐土的底土,采自南京郊区,选用这种有机质含量极低的底土(C0.09%; N0.032%),是为了提高定碳的精确度。土样过20孔筛后备用。

植物残体的分解速率用砂滤管法测定<sup>1)</sup>。试验在无锡县东亭大队进行。植物物质的

\* 参加工作的还有吴顺令、徐宁两同志。

1) 林心雄等,1980:田间测定植物残体分解速率的砂滤管法。(未发表)

表 1 植物残体的化学组成成分  
Table 1 Chemical composition of plant materials

物 料 Materials	C%	N%	C/N	组 成 分 (占无灰干物质%) Constituent (% of ash-free dry matter)					
				苯醇溶性物 Org. solv. sol. fraction	水溶性物 H <sub>2</sub> O sol. fraction	半纤维素 Hemi- cellulose	纤维素 Cellulose	木质素 Lignin	粗蛋白 Crude protein
绿 萍 Azolla	42.4	3.77	11.2	9.49	19.5	9.81	7.09	20.2	24.4
苕 子 Vetch	42.8	3.64	11.8	6.66	13.7	10.2	23.5	13.5	15.9
蚕 豆 秆 Broad beanstalk	43.2	3.42	12.6	10.20	27.8	7.53	15.9	8.65	19.2
箭舌豌豆 Common vetch	44.7	3.03	14.7	13.40	19.4	8.39	15.2	11.5	14.9
紫 云 英 Milk vetch	48.7	3.29	14.8	25.30	18.2	7.85	13.1	8.58	22.9
水 胡 芦 Common water hyacinth	39.2	2.40	16.3	6.64	15.7	17.7	20.0	10.2	13.7
田 菁 Sesbania	46.3	1.89	24.5	8.12	8.69	9.62	22.1	11.8	10.6
怪 麻 Sunn crotalaria	48.5	1.70	28.5	7.01	11.6	13.5	31.1	15.3	8.59
稻 根 Rice roots	45.6	1.16	39.3	4.31	5.41	30.0	26.8	17.4	7.30
麦 根 Wheat roots	35.0	0.71	49.3	1.67	5.34	30.0	28.7	20.7	5.34
玉 米 秆 Cornstalk	47.4	0.93	51.0	2.39	7.91	28.6	34.3	13.2	4.82
稻 草 Rice straw	42.7	0.69	61.8	6.53	11.4	24.5	31.9	12.5	3.63
麦 秆 Wheat straw	52.1	0.50	104.2	3.01	4.38	26.6	34.9	19.9	2.63

加入量为 2.5% (以干土重为基数计)。

### (二) 盆栽试验

以紫云英、水葫芦和绿萍(水葫芦和绿萍于 1977 年采集)为供试物料。每盆盛土 3 公斤, 分别加入  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.96 克。植物物料的加量按 300 毫克氮/盆计。供试土壤为白土(C 1.12%; N 0.115%; pH 6.32)。加植物物料的处理重复两次, 空白处理重复四次。供试作物为早稻二九青, 秧龄 21 天, 5 月 11 日移栽, 7 月 24 日收获。

### (三) 培育试验

以两种不同含氮量的稻草(样品均采自无锡县大田, 水稻成熟后采集)为供试物料。取 150 毫升烧杯若干, 每杯盛 50 克土, 供试土壤为黄泥土(C 1.51%; N 0.18%; pH 6.8)。分设加稻草和不加稻草三个处理, 每处理重复两次。每杯加氮(硫酸) 5 毫克。稻草的加

入量为 1% (占土重的百分数), 混匀后淹水置 28°C 恒温下培育。然后每处理定期取出两杯, 测定土壤中  $\text{NH}_4\text{-N}$  含量。

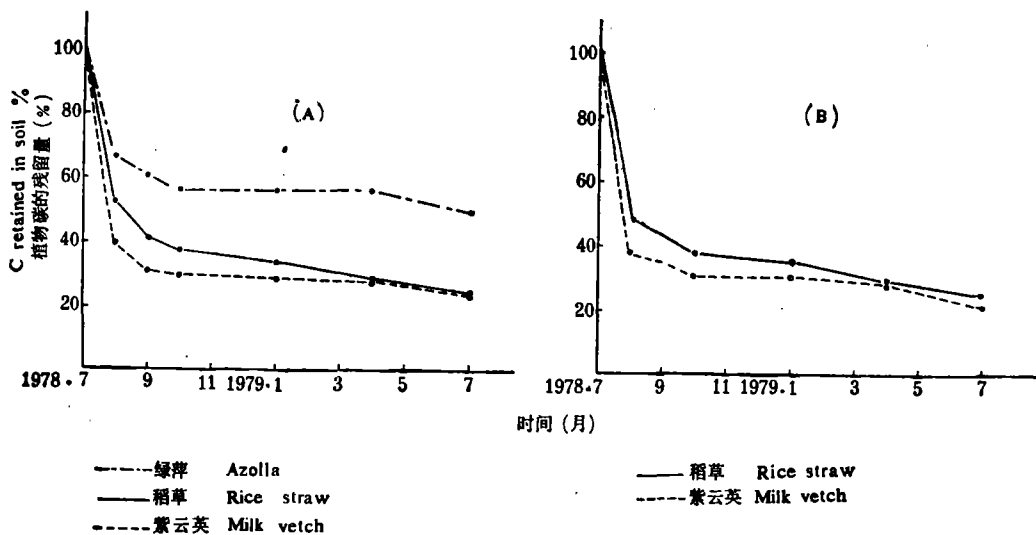
#### (四) 分析方法

有机碳用丘林法测定, 全氮用克氏法。土壤  $\text{NH}_4\text{-N}$  用 2 N KCl 提取、硼酸缓冲液 (pH 8.8) 蒸馏。

## 二、结果与讨论

### (一) 植物残体的分解速度

图 1 示出几种植物残体在土壤中的分解情况。它表明, 无论在水田或旱作条件下, 也无论那种植物残体, 在环境条件适宜的情况下, 它们都是在第 1 个月内分解最快, 以后逐渐变慢。以稻草为例, 第 1 个月的分解率为 46.3%。在第 2, 3 两个月内, 尽管土温仍很适宜于微生物的活动, 但稻草的月分解率仅为 12.1% 和 3.6% (均以占最初加入碳量的百分数计)。第 4 至第 9 个月内的分解速度更慢, 虽然这可能部分地是由于土温明显降低所致而不能严格进行比较, 但第 10 至第 12 个月期间, 土温已显著回升, 该期间的平均月分解率仅为 1.4%。已经知道, 植物物质的不同组分, 其分解速度各不相同。水溶性物质、苯醇溶性和蛋白质等分解最快, 半纤维素次之, 纤维素更次之, 木质素最难分解<sup>[1,2]</sup>; 同时, 木质素的存在, 还将降低其它组分的分解性。看来, 在适宜的环境条件下, 植物残体中的易分解组分在最初三个月内将分解殆尽, 以后分解的主要是较难分解的组分以及部分新形成的土壤有机质。不同植物残体中, 易分解组分的含量各不相同, 因此, 它们之间的分解速度, 在初期的差异也最大。图 1 也大体上反映了这种情况。在分解的第 1—3 个月



(A) 水田条件 (A) Under submerged condition  
(B) 旱地条件 (B) Under dry farming condition

图 1 田间条件下植物物质的分解

Fig. 1 Decomposition of plant materials under field conditions

内,紫云英最快,稻草次之,绿萍的木质素含量较高,分解最慢。

一些研究者认为,尽管不同植物残体在初期时的分解速度差异较大,但随着时间的推移,它们的分解量彼此间将逐渐接近,甚至相等。例如 Jenkinson 报道,在实验室培养试验中(28℃),黑麦草的地上部分和根的分解量,在最初的 35 天内差异较大,但至 155 天时,两者的总分解量即完全相同<sup>[3]</sup>。图 1 的材料不能证明这一点。由图 1 可见,稻草和紫云英腐解一年后的分解量彼此间虽已逐步渐近,但和绿萍相比,它们之间的差异仍未明显减小。另一组试验的结果也说明,这种差异甚至在更长一些时间内都未消失(表 2)。由表 2 可见,分解一年后,紫云英、水葫芦和稻草等的残留碳量为 18.4—23.6%; 第二年为 16.3—21.5%; 第三年后为 13.4—18.0%; 而绿萍的相应数值分别为 43.2%, 39.2% 和 33.2%。可见,植物残体的化学组成,不仅影响其初期的分解速度,而且将影响其后的残留碳量。

表 2 植物残体在不同腐解时间后的残留碳量(占加入碳的%, 1976—79 年)

Table 2 Amount of plant C retained in soil in different period of decomposition  
(% of plant C originally added)

物 料 Plant material	水 田 条 件 Under submerged condition			旱 地 条 件 Under dry farming condition	
	第 一 年 1st year	第 二 年 2nd year	第 三 年 3rd year	第 一 年 1st year	第 二 年 2nd year
紫 云 英 Milk vetch	18.4	16.3	13.4	15.7	13.9
水 葫 芦 Common water hyacinth	23.6	19.9	16.8	—	—
稻 草 Rice straw	23.4	21.5	18.0	22.2	17.7
绿 萍 Azolla	43.2	39.2	33.2	33.4	31.8

### (二) 不同耕作制度下植物残体的腐殖化系数

如上所述,植物残体在土壤中的残留碳量,随分解时间的久暂而不同。鉴于在田间条件下,每年不断有植物残体进入土壤,因而一般常以分解一年后的残留碳量定义为腐殖化系数,以此作为判断植物残体对土壤有机质含量贡献大小的指标。表 3 中分别列入了各供试物料在苏南地区条件下测得的分解一年和二年后残留碳量结果。它表明,各种物料的腐殖化系数差别很大,最大的和最小的相比,差异达 2.5 倍左右。在水田条件下,紫云英最低,仅为 0.18 克/每克植物碳;玉米秆和蚕豆秆略高,均为 0.21;水稻根的腐殖化系数高达 0.50;田菁、桤麻则介于两者之间。表 2、3、5 中还列入了旱地条件下几种物料在不同分解时期内的分解量或残留碳量。由表 2、3、5 可见,尽管各植物残体的分解速度不同,但是同一物料比较,在苏南地区的土壤气候条件下,如预期的那样,除玉米秆外都是在旱地中的分解速度大于在水田中的分解速度。也就是说,相同的植物残体,在旱地条件下的腐殖化系数,常较水田条件的为小。

### (三) 植物残体的化学组成与其腐殖化系数的关系

在相同腐解条件下,不同供试物料的腐殖化系数的差异,毫无疑问,是由于其化学组

表 3 不同植物残体在土壤中的残留碳量(克/每克植物碳)

Table 3 Amount of plant C retained in soil derived from various plant materials after decomposition under different soil condition (g/lg of plant C originally added)

物 料 Materials	第 一 年 1st year		第 二 年 2nd year	
	水田条件 Under submerged condition	旱地条件 Under dry farming condition	水田条件 Under submerged condition	旱地条件 Under dry farming condition
稻 根 Rice roots	0.50	—	0.40	—
绿 萍 Azolla	0.43	0.33	0.39	0.32
田 菁 Sesbania	0.37	0.24	0.32	0.21
怪 麻 Sunn crotalaria	0.36	—	0.27	—
麦 根 Wheat roots	0.32	—	0.27	—
麦 秆 Wheat straw	0.31	—	0.25	—
苕 子 Vetch	0.30	—	0.24	—
箭 舌 豌豆 Common vetch	0.27	—	0.17	—
水 胡 芦 Common water hyacinth	0.24	—	0.20	—
稻 草 Rice straw	0.23	0.22	0.22	0.18
蚕 豆 秆 Broad bean stalk	0.21	—	0.19	—
玉 米 秆 Cornstalk	0.19	0.22	0.18	0.21
紫 云 英 Milk vetch	0.18	0.16	0.16	0.14
L. S. D. 5% 1%	0.01 0.02	— 0.01	0.01 0.02	— 0.01

成不同所致。Herman 等<sup>[4]</sup>曾详细讨论了化学组成与分解量的关系,他们认为不能将 C/N 比值、木质素和碳水化合物等各个组分或特征值个别地对待,而应将它们综合起来考虑,根据实验室实验结果,他们得出分解量与化学组成的关系式如下:

$$\text{分解量} \propto \frac{C/N \cdot \text{木质素} \%}{\sqrt{\text{糖} \%}}$$

根据我们的材料,物料的腐殖化系数与木质素的含量或(%木质素) [%(苯醇溶化物+水溶化物+碳水化合物)]<sup>-1</sup>呈显著相关,而与 C/N 比值无关(表 4)。关于后一点,在我们另一工作中也曾得到类似的结果,在水田条件下,无论是稻草或紫云英,甚至在植物物料加

表 4 植物残体的残留碳量与其化学组分的相关系数 (r 值)

Table 4 Correlation coefficient (r value) of the percentage of plant C retained in soil and the chemical constituents of plant materials

	第 一 年 1st year		第 二 年 2nd year	
	水田条件 Under submerged condition	旱地条件 Under dry farming condition	水田条件 Under submerged condition	旱地条件 Under dry farming condition
C/N	0.005	-0.262	0.030	-0.329
水 溶 性 物 % H <sub>2</sub> O sol. fraction	-0.369	0.232	-0.354	0.276
木 质 素 % Lignin	0.660*	0.968**	0.668*	0.976**
(%木质素)[%(苯醇溶性物+水溶性 物+碳水化合物)] <sup>-1</sup> (% lignin) [% of (Organic solvent extracts + H <sub>2</sub> O extracts + Carbonhydrate)] <sup>-1</sup>	0.750**	0.940*	0.780**	0.951*

\* 为 P&lt;0.05 \*\* 为 P&lt;0.01

表 5 土壤中植物残体在不同季节中的分解量(%)

Table 5 Decomposition of plant residues as affected by the time applied in soil (%)

物 料 Materials	腐解天数 Duration of decomposition (days)	试验开始时间: 1977年8月 Beginning of experiment: Aug. 1977.		试验开始时间: 1977年11月 Beginning of experiment: Nov. 1977.	
		水田条件 Under submerged condition	旱地条件 Under dry farming condition	水田条件 Under submerged condition	旱地条件 Under dry farming condition
稻 草 Rice straw	90	58.5	50.3	30.3	35.4
	180	66.4	67.0	48.6	52.6
	270	64.0	73.6	70.7	76.5
水 葫 芦 Common water hyacinth	90	67.5	74.6	40.3	37.7
	180	69.1	73.3	58.7	64.4
	270	75.6	77.9	75.6	79.0

量高达 8% (占土重) 时, 其腐殖化系数也并不因添加氮素而有所改变<sup>1)</sup>。

这里提出了一个问题, C/N 比值影响植物物质分解的速度, 是众所周知的, 但为何在此地不表现其影响? 我们认为, 这是由于田间条件和实验室条件不同, 大田土壤中含有一定量的矿质态氮, 本试验所用的砂滤管又能透水透气, 因此在田间试验条件下, 特别是在淹水情况下, 将有足够量的矿质态氮透入管内, 满足微生物分解物料时的需要。

表 3 所列的试验结果, 都是将物料在夏季连作晚稻施用基肥时埋入土壤的。实际上, 在农业实践中, 植物残体进入土壤的时间各不相同, 有的夏初, 有的在秋末。不同季节的气温差异, 必然会影响植物物料的腐解进程。根据 Oberlander 等的报道, 同一植物物料, 无论就其一年内或四年内的分解量来说, 秋季进入土壤的都较夏季进入的为大<sup>6)</sup>。表 5

的结果表明,夏季进入土壤的植物残体,其最初三个月内的分解量不但远大于秋季进入的最初三个月的分解量,甚至比后者最初六个月内的分解量仍要大些。但腐解 270 天后,两者的分解量已很接近。看来,物料的腐殖化系数,并不因进入土壤的季节不同而有显著的差异。

#### (四) 植物残体分解时氮素的矿化和固定

表 6 和图 2 示明,植物残体分解时对土壤矿质态氮的影响,将因其化学组成不同而异。紫云英的 C/N 比值较低,易分解组分含量较高,在分解过程中释出的氮量最多;绿萍的 C/N 比值最低,但木质素含量较高,其释出的氮量显著地低于紫云英;C/N 比值较高、易分解组分又较多的水葫芦,在分解过程中,不但释出的氮最少,且有资料表明,在其分解的最初期,曾出现氮素的净固定现象<sup>[2]</sup>;C/N 比值很宽的稻草,在分解过程中,将固定一定量的土壤矿质态氮,而且被固定的氮素,甚至当稻草矿化 100 天后,仍不能完全释放出来。

表 6 不同植物残体中氮素的利用率(供试作物:水稻)

Table 6 Recovery of nitrogen derived from green manures by rice crop (pot experiment)

物 料 Materials	C %	N %	C/N	利用率(差值法) Plant recovery % (by difference method)
紫 云 英 Milk vetch	48.7	3.29	14.8	59.5
绿 萍 Azolla	45.5	4.40	10.3	39.2
水 葫 芦 Common water hyacinth	34.0	1.53	22.3	13.5

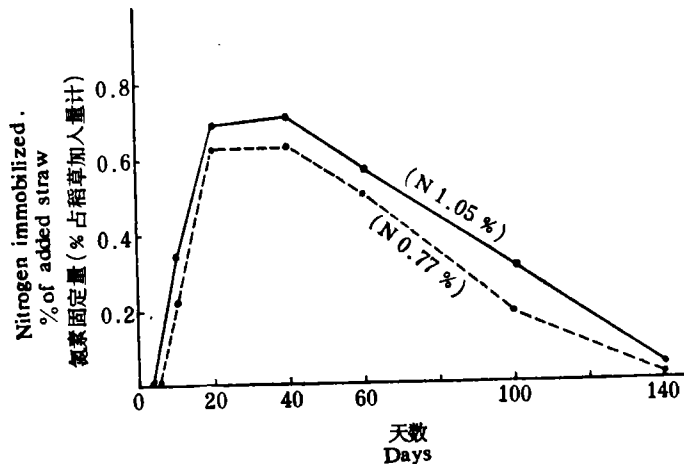


图 2 稻草腐解过程中氮素的固定和释放(培育试验)

Fig. 2 Immobilization and release of nitrogen of rice straw at different time of decomposition in soil (incubation experiment)

众所周知, C/N 比值是表征植物残体分解时对土壤矿质态氮影响的一个重要指标。

Allison 曾指出,当植物残体的 C/N 比值大于 25—30 时,它在分解过程中,将固定一部分有效态氮<sup>[3]</sup>。C/N 比值越小或越大,其释放或固定的氮素将越多。Russell 指出,仅仅是 C/N 比值还不是一个可靠的指标,植物残体的类别也是一个重要因素<sup>[7]</sup>。看来,除 C/N 比值外,木质素含量是决定植物残体分解时释出或固定氮素多少的最重要因素。

植物残体对土壤性质的影响是多方面的,但主要的是对土壤碳、氮状况的影响。综合上述,根据它们在分解过程中的残留碳量和对土壤矿质态氮含量的影响不同,供试的 13 种植物物料,至少可以分为以下四类:

第一类:以易分解组分含量高,C/N 比值较小(<15)为特征,包括紫云英、蚕豆秆、箭舌豌豆和苕子等。这类物料在分解过程中,能释出较多的氮素,但残留碳量低。

幼嫩的青草和含氮量较高的水葫芦也属于这一类。但含氮量较低的青草和水葫芦,不但释放出的氮量较少,且在分解初期可能会固定土壤矿质态氮。

第二类:包括玉米秆和稻草等。它们的 C/N 比值大(一般都在 40 以上),半纤维素和纤维素的含量很高,木质素含量中等(约 13%)。分解时将夺取一定量土壤中的矿质态氮;同时,残留量也低,仅略高于第一类植物物质。

第三类:本类植物物质的 C/N 比值在 11—28.5 之间,但木质素含量较高,在 15—20% 间,包括绿萍、桤麻等。它们能为当季作物提供一定量的矿质态氮,而且残留碳量也较高。

第四类:这类物质以木质素含量高(17—21%),C/N 比值大(39—104)为特点,包括稻根、麦根和麦秆等。它们分解较慢,残留碳量高,也会固定土壤中少量的矿质态氮。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院土壤研究所肥料专题组等,1959: 草塘泥沤制过程的特点及其肥效的研究。土壤学报,第 7 卷 3—4 期,190—202 页。
- [2] 施书莲,文启孝,廖海秋,1980: 绿肥植物的化学组成对其氮素有效性的影响。土壤学报第 17 卷 3 期,240—246 页。
- [3] Allison, F. E., 1973: Soil organic matter and its role in crop production. 461—483. Amsterdam London New York.
- [4] Herman, W. A., McGill, W. B. and Dormaar, J. F., 1977: Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species. Can. J. Soil sci. 57(2): 205—215.
- [5] Jenkinson, D. S., 1977: Studies on the decomposition of plant material in soil. IV. The effect of rate of addition. J. Soil. Sci 28(3): 417—423.
- [6] Oberlander, H. E. and Roth, K., 1978: Transformation of <sup>14</sup>C-labelled plant material in soils under field conditions. Isotopes and radiation in soil organic matter studies. IAEA. Vienna, 251—261.
- [7] Russell, E. W., 1973: Soil conditions and plant growth, 10th ed., Longman, London and New York. 261—281.



## CHARACTERISTICS OF DECOMPOSITION OF PLANT RESIDUES IN SOILS OF SOUTHERN PART IN JIANGSU PROVINCE

Lin Xin-xiong, Cheng Li-li, Shi Shu-lian and Wen Qi-xiao

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

Decomposition experiments were carried out under field conditions in Wu-xi district, Jiangsu province with 13 kinds of plant residues such as the straws of cereal and leguminous crops including green manure plants, most of them are usually grown in Tai-lake basin.

Under favorable conditions, the decomposition of plant materials proceeded much more rapidly in the first month, then became slower gradually and retained almost unchange until the 2nd and even 3rd year. The difference among the amounts of C decomposed from different plant residues was greatest in the initial 1—3 months, whereas their difference could be found apparently even in third year. After 1 or 2 years of decomposition, the amount of C retained in soil was significantly correlated with the lignin content or (% lignin) [% of (Organic solvent extracts + H<sub>2</sub>O extracts + Carbohydrate)]<sup>-1</sup> of the plant residues, but not correlated with the C/N ratio. For the same plant residues, the amount of C retained in paddy soil was usually higher than that in upland soil after 1 or 2 years.

Results obtained in pot and incubation experiments showed that in addition to the C/N ratio, the lignin content seemed to be an important factor affected the mineral nitrogen of soil during the decomposition of plant residues.

In comparison with the plant residues having similar C/N ratio and less lignin, the amount of the mineralized or immobilized nitrogen in plant residues of higher lignin content was less.