

麦秸、氮肥与土壤混合培养时氮素的 固定、矿化与麦秸的分解*

王维敏

(中国农业科学院土壤肥料研究所)

摘 要

应用3种土壤,在20°C和30°C温度下进行了与麦秸及不同量氮肥混合培养的试验,麦秸及氮肥采取了¹⁵N标记、不标记的交叉处理。7周培养期间,各处理所含矿质氮包括所施化肥氮不同程度地被固定,一部分处理的起初被固定的矿质氮以后部分地得到释放,释放程度与土壤有机质和全氮含量以及培养温度有关。培养结束时,配施较多量氮肥的处理所施麦秸氮及化肥氮约有50—60%呈6N HCl水解氮组分之中,另有少量呈酸不溶性胡敏N形态,麦秸氮有4—17%矿化释放,化肥氮有10—50%仍为矿质氮形态,这些数值的高低基本上也与土壤的有机质和全氮含量以及培养温度有关。

以一种土壤与非标记的麦秸和氮肥混合培养,测定了两个月期间的CO₂释放量,并未发现增加氮肥施量会促进麦秸分解,增施氮肥反而有稍为减缓麦秸C分解的趋势。

许多国家农业中广泛使用秸秆还田,借以保持土壤有机质,改善土壤结构,并补充土壤养分。我国大部分农田土壤有机质少,结构不良,秸秆还田也在日益广泛地受到提倡。但用来还田的主要是禾本科秸秆,碳氮比值高,作为一种含碳丰富的能源物质,直接施入土壤会刺激微生物迅猛活动,导致有效氮大量被暂时固定,影响作物的氮素供应。因此,在实践中秸秆还田往往配施适量氮肥。

国外学者在包括植物残体氮素在内的土壤氮素矿化—固定,秸秆分解过程中氮素的固定、矿化与含氮量及碳氮比值的的关系以及满足微生物需要的临界含氮量和碳氮比值^[1-3],秸秆的碳、氮含量及其有效性以及补加氮素对分解速率的影响^[5-11]等方面,进行过不少研究。许多学者把盐酸水溶解的有机氮组分和酸不溶性有机氮组分分别看作土壤氮素矿化—固定周转过程中来自死亡的植物残体及微生物躯体的有机氮的活跃部分和较稳定部分,并利用¹⁵N示踪技术分析这些组分以及矿质氮组分,研究秸秆氮和化肥氮在土壤中的转化。这些研究对于施肥和土壤培肥的实践是有重要意义的。在我国这方面的研究迄今很少开展。1983年冬到1984年春,作者利用我国黄淮海地区两个代表性农田土样和美国华盛顿州东部地区一个代表性农田土样,进行了施麦秸和氮肥的培养试验,探讨秸秆氮和化肥氮在土壤中的固定和释放以及补加氮素对秸秆碳分解的影响,本文介绍初步的研究结果。

* 此项研究为作者在美国华盛顿州立大学进行工作访问时完成,合作导师为程惠贤博士。F. Farrow协助进行¹⁵N分析,一并致谢。

一、材料和方法

设置了一项主试验和一项辅助试验,前者用以研究麦秸氮和化肥氮在土壤中的转化,后者用以观察 CO_2 的释放和麦秸碳的分解速率。

供试土壤的基本特性见表 1, 土壤有机碳和全氮的含量是 $S_2 > S_3 > S_1$ 。

表 1 供试土壤的基本特性

Table 1 Some properties of soils used for incubation

土壤 Soil	代号 No.	质地 ¹⁾ Texture	pH	有机 C (%) Org. C	全 N (%) Total N	C/N	矿质 N ²⁾ (ppm) Mineral N	碳酸氢钠浸提 NaHCO ₃ extract	
								P (ppm)	K (ppm)
褐土 Cinnamon soil	S ₁ ³⁾	粉砂壤土	7.7	0.60	0.071	8.1	32.3	4.9	74
砂姜黑土 Lime concretion black soil	S ₂ ³⁾	粘土	7.6	1.06	0.102	10.4	32.2	2.9	107
Paioise soil	S ₃	粉砂壤土	5.8	1.34	0.124	10.8	16.0	49.1	391

1) 按美国土壤质地分类标准, <0.002mm 的粘粒含量分别为: S₁ 20.4%, S₂ 49.8%, S₃ 23%; 2) 指 $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$; 3) S₁ 取自山东兖州的褐土农田, S₂ 取自该县经过改良培肥的砂姜黑土农田。

主试验用 3 种土壤, 设 5 项处理(表 2), 两次重复, 其中所施麦秸及氮肥硫酸铵分 ¹⁵N 标记、不标记两种, 在两种温度(20℃ 和 30℃)下培养 7 周, 分别于第 1, 2, 3, 5, 7 周末以 Bremner 的蒸汽蒸馏法^[14]测

表 2 主试验处理

Table 2 Treatments of main experiment

处理代号 Treatment No.	处 理 内 容 Treatment	施入物料含 N(%) N content in the material added	施入物料 C/N C/N of the material added
A	土 8g + 标记麦秸 0.34g Soil 8g + labelled straw 0.34g	0.9	38.0
B	土 8g + 标记麦秸 0.34g + 非标记化肥 N 1.08mg Soil 8g + labelled straw 0.34g + unlabelled fertilizer N 1.08 mg	1.2	28.3
C	土 8g + 非标记麦秸 0.3g + 标记化肥 N 2mg Soil 8g + straw 0.3g + labelled fertilizer N 2mg	1.4	28.3
D	土 8g + 标记麦秸 0.34g + 非标记化肥 N 4.08mg Soil 8g + labelled straw 0.34g + fertilizer N 4.08mg	2.1	16.5
E	土 8g + 非标记麦秸 0.3g + 标记化肥 N 5mg Soil 8g + straw 0.3 g + labelled fertilizer N 5 mg	2.4	16.5

定矿质氮 ($\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$) 含量, 并于第七周末用质谱计测定其 $^{15}\text{N}\%$, 计算矿质氮中麦秸氮和化肥氮的数量。于第七周末以 Bremner 的 6N HCl 加热迴流水解 12 小时的方法^[13]测定土壤中的总水解 N, 并测定其 $^{15}\text{N}\%$, 观察麦秸氮和化肥氮在这一有机氮组分中的数量。

供试麦秸的碳氮含量见表 3。标记麦秸和标记硫酸铵的 ^{15}N 原子百分超分别为 13.42 和 17.03。

表 3 供试麦秸的碳、氮含量及碳氮比

Table 3 The nitrogen and carbon content and C:N ratio of the wheat straw used for incubation

麦秸种类 Wheat straw	有机 C (%) Org. C	全 N (%) Total N	C/N
标 记 Labelled	34.97	0.9203	38.0
非 标 记 Unlabelled	39.80	0.7385	53.9

培养方法: 土壤风干, 过 0.25 mm 孔径筛。麦秸风干粉碎。各处理样本置于长方形玻璃瓶中混匀, 加蒸馏水使水分张力为 -0.3 巴, 用塑胶纸封闭瓶口, 仅开一微孔保持通气。培养瓶分别置于常温室 (20°C) 和恒温箱 (30°C) 中培养, 定期称重补充消耗之水分。

辅助试验只用 Palouse 土及非标记麦秸、非标记硫酸铵进行, 设 4 项处理 (表 4), 3 次重复, 以与主试验相同的方法培养。唯各处理样本置于 250ml 圆锥形瓶中, 以胶塞封闭瓶口, 胶塞于瓶内向下悬插一金属套环, 装入一小指形瓶, 内盛 5ml 1N KOH 溶液, 用以吸收释放出之 CO_2 , 每 3 天换装一次 KOH 溶液, 并以 HCl 滴定分析 CO_2 的释放量。

表 4 辅助试验处理

Table 4 Treatments of the auxillary experiment

处理代号 Treatment No.	处 理 内 容 Treatment	样本 C/N ¹⁾ C/N of the sample	施入物料 C/N ²⁾ C/N of the material added	施入物料含 N (%) ³⁾ N content in the material added
F	土 24g	10.8	—	—
G	土 24g + 麦秸 0.9g	18.5	53.9	0.74
H	土 24g + 麦秸 0.9g + 硫酸铵 N 6mg	16.4	28.3	1.4
I	土 24g + 麦秸 0.9g + 硫酸铵 N 15mg	13.5	16.5	2.4

1) 土样施入物料后样本的总 C 与总 N 之比; 2) 施入之麦秸或麦秸 + 硫酸铵的总 C 与总 N 之比; 3) 施入之麦秸或麦秸 + 硫酸铵所含 N 素的 %。

二、结果与讨论

(一) 矿质氮的固定与释放

图 1 以各期矿质氮含量占培养前原始值的 % 表示出各处理在 20°C 和 30°C 培养下 7 周内矿质氮固定及释放的变化过程。

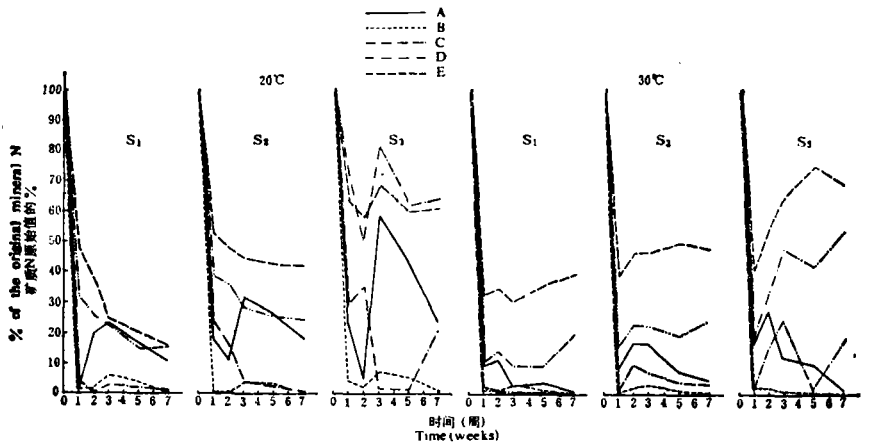


图1 各处理各期矿质N含量占培养前原始值的%

Fig. 1 The mineral N of different treatments at different time in % of the original mineral N before incubation

测定计算的数据表明,施用麦秸后经一周培养,各处理原来含有的矿质氮程度不同地迅速大量被固定,其中未配施氮肥或配施较少量氮肥的A,B,C三种处理矿质氮的固定率达70.1%到99.3%不等;配施较多量氮肥的D,E两种处理,三种不同土壤的矿质氮固定率在20℃培养下为27.3—67.9%,在30℃培养下为59.7—89.4%,矿质氮固定率的趋势为:30℃>20℃,S₁>S₂>S₃,即培养温度较高时固定率增加,土壤的有机质及全氮含量愈低矿质氮固定愈甚。至第7周末,只施麦秸或配施较少量氮肥的A,B,C三种处理矿质氮固定率在78.6—99.9%;配施较多量氮肥的D,E两种处理矿质氮固定率为36.2—84.8%,此数值大小仍与土壤的有机质及全氮含量高低呈相反的关系。

从7周培养的全过程看,只施麦秸或配施较少量氮肥的A,B,C三种处理,有的呈现矿质氮持续固定,有的经历矿质氮固定—释放—固定或固定—释放—固定—释放的变化,绝大部分在第2到第7周中仍是固定过程占优势;至第7周末,有的处理矿质氮固定率与第1周末相近,有的则进一步增加了矿质氮的固定,其中只有30℃培养下S₃的C处理和20℃培养下S₁的A处理第7周末与第1周末相比,矿质N的固定率有所降低,起初固定的矿质氮分别有16%和10%得到释放。配施较多量氮肥的D,E两种处理,在20℃培养下,S₁,S₂两种土壤呈现矿质氮持续固定,S₃经历矿质氮固定—释放—固定—释放的变化,但从第2到第7周仍然是固定过程占优势;在30℃培养下,三种土壤经历矿质氮固定—释放—固定—释放或固定—释放—固定的变化,至第7周末矿质氮固定率均较第1周末有所降低,S₁,S₂两种土壤起初被固定的矿质氮有10%左右被释放,S₃则起初被固定的矿质氮有一半以上得到释放。上述情况表明,有机质及全氮含量高的土壤在施用麦秸时配施较充足氮肥和处于较有利的温度条件下,能够较快地从矿质氮的固定转向释放较多的矿质氮供作物利用。

根据上述情况,本试验中在30℃这一较有利的温度条件下,对这三种肥力状况不同的土壤来说,培养过程中起初被固定的矿质氮转向释放所要求的物料(麦秸+氮肥)含氮量视土壤不同在1.4%以上至2.1%,相应的物料碳氮比在28以下至16.5。Black曾指

出,多数情况下,有机物施入土壤后氮素释放量 > 0 的物料含氮临界值视条件不同可从1.2%以上到2.6%不等,相应的物料碳氮比为33以下到15,本试验的上述结果与此基本相符。

(二) 化肥氮的固定

通过 ^{15}N 的测定,计算了所施化肥氮经7周培养后存在于矿质氮及6N HCl水解氮组分中的百分数。由于施少量标记N肥的C处理大部分样本矿质氮总量过低,其 $^{15}\text{N}\%$ 未能准确地测出,在表5中仅列入施多量标记N肥的E处理的计算结果。由表可见,经7周培养,所施化肥氮有47.5—61.4%经微生物转化固定进入6N HCl水解N,10.7—50.5%仍为矿质氮形态。在有机质及全氮含量较高的土壤中化肥氮的固定率较低,30℃培养下矿质氮的固定率低于20℃培养。此外,根据表中矿质氮数值,所施化肥氮的总固定率应在49.5—89.3%,至于除进入6N HCl水解氮之外的被固定的化肥氮去向,曾测定计算一部分样本来自化肥氮的酸不溶性胡敏氮数值,占所施化肥氮的4.4—7.3%,表明经7周培养已有少量化肥氮进入较稳定的腐殖化的有机氮组分,其余的差额可能是由于有机氮组分测定中回收不完全所造成。

表5 培养7周后化肥N在不同组分中的%(E处理)

Table 5 % of fertilizer-N in different fractions after 7 week incubation (Treatment E)

土壤代号 Soil No.	矿质 N Mineral N	总水解 N Total hydrolyzable N
20℃		
S ₁	10.7	61.4
S ₂	29.6	60.5
S ₃	44.4	47.7
30℃		
S ₁	27.3	58.1
S ₂	34.7	52.7
S ₃	50.5	47.5

(三) 麦秸氮的释放和固定

通过 ^{15}N 的测定,计算了所施标记麦秸氮经7周培养后存在于矿质氮和6NHCl水解氮组分中的百分数。由于施标记麦秸的A,B两处理样本中矿质氮总量过低,其 $^{15}\text{N}\%$ 未能准确地测出,在表6中仅列入标记麦秸的D处理的计算结果。由表可见,经7周培养,所施麦秸氮净矿化释放率在3.9—17.2%,释放率随土壤有机质及全氮含量增高而增加。有48.8—59.1%的麦秸N呈现为6N HCl水解氮,其数值随土壤有机质及全氮含量增高和培养温度增高而减少。可以推测,此数值中除麦秸原来含有的占其全部氮量一定比例的6N HCl水解氮之外,还包括经微生物转化固定形成的6N HCl水解氮,即转化于微生物躯体及其代谢产物中的此种氮素形态。而且三种不同土壤处理此数值的差异主要反映了这后一部分6N HCl水解氮的差异。此外,曾测定一部分样本来自麦秸N的酸不溶性胡敏氮,占麦秸氮的10.0—11.7%,即所施麦秸氮经7周培养的约有10%处于较稳定的腐殖化的有机氮组分之中。

表 6 培养 7 周后麦秸 N 在不同组分中的% (D 处理)

Table 6 % of wheat straw N in different fractions after 7 week incubation (Treatment D)

土壤代号 Soil No.	矿质 N Mineral N	总水解 N Total hydrolyzable N
20 °C		
S ₁	3.9	59.1
S ₂	6.2	55.8
S ₃	17.2	50.3
30 °C		
S ₁	5.7	56.4
S ₂	6.3	52.9
S ₃	13.3	48.8

(四) CO₂ 的释放及麦秸 C 的分解速率

辅助试验各处理以 CO₂ 形态释放的碳素平均日释放量见图 2。除 20 °C 培养的未施氮肥处理 G 之外(可能由于分析误差),在培养的第 1 周都反映出微生物活动极其旺盛,这也正是前述的矿质氮在培养第 1 周即大量被固定的原因。

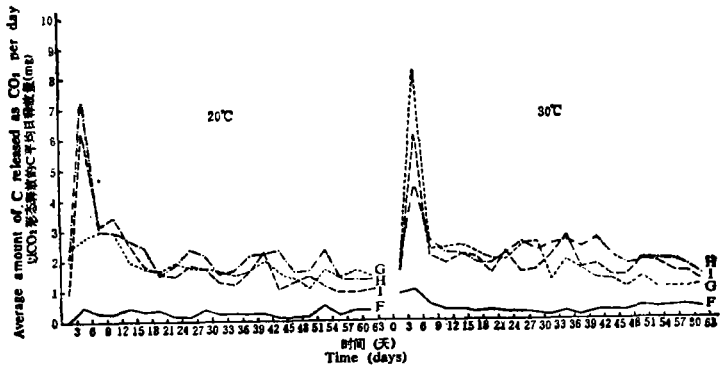


图 2 不同处理培养期间碳素平均释放速率

Fig. 2 Average release rate of C as CO₂ of different treatments during incubation

计算了未施麦秸的处理 F 各期碳素累积释放量占土壤有机 C 量的百分数和施麦秸各处理各期碳素累积释放量占所施麦秸 C 量的百分数(图 3), 后者是假定施麦秸各处理各期来自土壤有机质的碳素累积释放量与未施麦秸的处理 F 相同用差减法计得。

图 3 表明,未施麦秸的 F 处理在不同温度下经 7 周培养有 4—5% 左右的土壤有机碳的被分解释放,培养 2 个月其土壤有机 C 的分解释放率在 5—6% 左右。只施麦秸的 G 处理和加施较多量氮肥的 I 处理培养 7 周约有 24—27% 的麦秸 C 被分解释放,培养 2 个月其麦秸 C 分解释放率在 27—29%, 而施加较少量氮肥的 H 处理培养 7 周约有 28—30% 的麦秸 C 被分解释放,培养 2 个月其麦秸 C 分解释放率约达 33—35%。G 和 I 处理的麦秸 C 累积释放率低于 H 处理,可能是由于 G 处理在麦秸分解过程中受到过有效氮供应不充分的限制,而 I 处理在麦秸分解过程中受到过有效 C 供应不充分的限制,这些都会

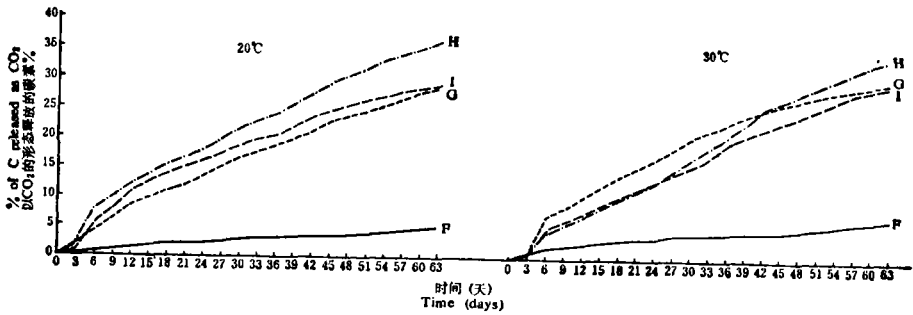


图3 培养期间从土壤有机质(F处理)或麦秸(G, H, I处理)中释放的碳素%
Fig. 3 % of C released from soil organic matter (treatment F) and wheat straw (treatment G, H, I) during incubation

对麦秸的分解速率有所影响。有些研究曾经指出, 秸秆分解过程中形成的微生物量和秸秆分解速率既受有效氮含量所制约, 也受有效C含量所制约^[10-13]。施较多量氮肥的I处理其碳素累积释放量低于施少量氮肥的H处理(图3)。这与 Novak 等人关于增施氮素会降低麦秸分解中的CO₂总释放量的说法^[9]是一致的。也许培养时期延长到几个月, 施不同量氮肥不一定还能保持麦秸总的分解速率的这种差异。Allison^[4]曾指出有机残物分解成为腐殖质时所损失的碳量与补加氮素的数量无关。看来, 在秸秆还田后经历较长时期的情况下, 加施氮肥数量的多寡对秸秆分解速率的影响到底如何, 宜于进行更长时期的控制条件的培养试验加以明确。这一点对于秸秆还田配施氮肥的实践是有意义的。如果配合秸秆还田施用较充足的氮肥确实并不象一般人们认为的那样会加强所施有机物质的分解, 这将既对有机质在土壤中的积累没有不利影响, 又有利于保证当季作物的有效N供应。

三、小 结

1. 在本培养试验条件下, 土壤施麦秸或再加施氮肥后, 矿质氮的固定甚为迅速。只施麦秸或配施少量氮肥的三种处理(施入物料含氮 $\leq 1.4\%$, C/N ≥ 28.3), 在20°C或30°C下经1周培养, 在三种不同土壤中有70%以上直至几乎全部的矿质氮被固定, 在以后的第2到第7周过程中, 除个别土壤的个别处理起初被固定的矿质氮后来有少量释放外, 绝大部分仍然是固定过程占优势。配施较多量氮肥的两种处理(施入物料含N $\geq 2.1\%$, C/N ≤ 16.5), 第1周矿质氮的固定率较上述三种处理低些, 在第2到第7周, 20°C培养下三种土壤仍都是矿质氮固定过程占优势; 30°C培养下三种土壤起初被固定的矿质氮以后不同程度地部分得到释放, 其中有机质及全氮含量最高的土壤释放较多。

2. 施用麦秸时配施较多量氮肥的处理经7周培养后, 所施化肥氮视土壤及培养温度不同约有10—50%仍呈矿质氮形态, 50—60%左右经微生物转化固定为6N HCl水解氮, 有机质及全氮含量较高的土壤固定率较低, 30°C培养下固定率低于20°C培养; 另有少量化肥氮进入较稳定的腐殖化的有机氮组分——酸不溶性胡敏氮。此处理中所施麦秸氮视土壤及培养温度不同约有4—17%矿化释放, 矿化率随土壤的有机质及全氮含量增

高而增加,50—60%左右呈现为6N HCl水解氮,其数值随土壤的有机质及全氮含量增高和培养温度增高而减少;另有10%左右的麦秸氮呈现为较稳定的腐殖化的酸不溶性胡敏氮。

3. 在两个月培养期间,并未发现增加氮肥施量刺激麦秸加速分解,增施氮肥反而有稍为减缓麦秸C分解的趋势。

参 考 文 献

- [1] Bartholomev, W. V., 1965: Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In "Soil Nitrogen" (Bartholomev, W. V. and Clark, F. E., ed) pp. 285—306, Agronomy Monograph No 10, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- [2] Black, C. A., 1968: Soil-plant relationship. 2nd ed. pp. 422—433. John Wiley and Sons, Inc. N. Y.
- [3] Parr, J. F. and Papendick, R. I., 1978: Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. In "Crop Residue Management Systems" (Oschwald, W. R. ed.) p. 114. Am. Soc. Agron. Madison, Wis.
- [4] Allison, F. E., 1955: Does nitrogen applied to crop residues produce more humus? Soil Sci. Soc. Am. Proc. 19: 210—211.
- [5] Jansson, S. L., 1958. Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralization-immobilization relationships. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler, 24: 101—361.
- [6] Allison, F. E. and Cover, R. G., 1960: Rates of decomposition of shortleaf pine sawdust in soil at various levels of nitrogen and lime. Soil Sci., 89: 194—201.
- [7] Leuken, H., Hulcheon, W. L. and Paul, E. A., 1962: The influence of nitrogen on the decomposition of crop residues in the soil. Canadian Journal of Soil Science, 42: 276—288.
- [8] Smith, J. H. and Douglas, C. L., 1968: Influence of residual nitrogen on wheat straw decomposition in the field. Soil Sci., 106: 456—459.
- [9] Novak, B., 1975: Effect of nitrogen on the mineralization of straw in the soil. Rostinna Výroba, 20: 527—531.
- [10] Reinertsen, S. A., 1982: The role of available carbon nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. M. S. Thesis. p. 42. Washington State University, Pullman, Washington State, U. S. A.
- [11] Jawson, M. D., 1983. Carbon and nitrogen transformations in soil and straw during decomposition. M. S. Thesis. p. 66. Washington State University, Pullman, Washington State, U. S. A.
- [12] Knapp, E. B., Elliott, L. F. and Campbell, G. S., 1983: Microbial respiration and growth during the decomposition of wheat straw. Soil Biol. Biochem., 15: 319—323.
- [13] Knapp, E. B., Elliott, L. F. and Campbell, G. S., 1983: Carbon, nitrogen and microbial biomass interrelationships during the decomposition of wheat straw. Soil Biol. Biochem., 15: 455—461.
- [14] Keeney, D. R. and Nelson, D. W., 1982: Nitrogen-inorganic forms. In "Methods of Soil Analysis" (Page, A. L. et al. ed) Part 2, pp. 643—678. ASA, SSSA, Madison, Wis.
- [15] Stevenson, F. J., 1982: Nitrogen-organic forms. In "Methods of Soil Analysis" (Page, A. L. et al. ed) Part 2, pp. 625—641, ASA, SSSA, madison, Wis.

IMMOBILIZATION AND MINERALIZATION OF NITROGEN AND DECOMPOSITION OF STRAW DURING INCUBATION OF SOILS MIXED WITH WHEAT STRAW AND NITROGEN FERTILIZER

Wang Weimin

(Soils and Fertilizer Institute Chinese Academy of Agricultural Sciences)

Summary

A cinnamon soil and a lime concretion black soil from Huang-Hai-Hai Plain of China and a Palouse silty loam from eastern part of Washington state of U. S. A. were mixed with wheat straw (^{15}N labelled and unlabelled) and nitrogen fertilizer (^{15}N labelled and unlabelled) in different rates and incubated under 20°C and 30°C for 7 weeks to investigate the transformation of fertilizer-N and straw-N. More than 70% even all of the mineral N was immobilized in the soils incubated only with straw or low rate of N fertilizer under 20°C or 30°C after 1 week; and immobilization was dominant in the soils during the incubation from 2nd to the week. While less N was immobilized in soils incubated with higher rate of N fertilizer after 1 week; and part of the immobilized N was mineralized in the soils incubated under 30°C during the period from 2nd to 7th week. It seems that the immobilization rate of N in the soils decreased with the increase of fertilizer-N added. At the end of incubation, 10—50% of fertilizer-N appeared as mineral-N in the soils with higher rates of N fertilizer. About 50—60% of the fertilizer-N and similar range of straw-N appeared as HCl hydrolyzable N. The immobilization rate decreased with the increase of organic matter and total nitrogen contents of the soils and the raising of incubation temperature.