

烟稻轮作中稻草还田对土壤有机氮各组分的影响^①

肖巧琳¹, 罗建新^{1,2*}, 杨 琼¹

(1 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; 2 中国烟草中南农业试验站, 长沙 410128)

摘要: 以湘南烟区常年稻草还田与否的 14 个不同土样为研究对象, 根据 Keeney 和 Bremner 土壤有机氮分级方法, 研究湘南烟区烟稻轮作中稻草还田对土壤有机氮各组分含量及组成的影响。结果表明: 稻草还田主要是提高了土壤有机氮组分中酸解未知态氮含量, 而非土壤铵态氮、氨基酸态氮和酸不溶性氮含量差异的主导因素。稻草还田加强了铵态氮、酸解未知态氮和酸不溶性氮与有机质、全氮和碱解氮三者之间的相关性; 减弱了氨基酸态氮、氨基糖态氮与有机质、全氮、碱解氮之间的相关性。

关键词: 烟稻轮作; 稻草还田; 有机氮组分

中图分类号: S147.2

表土层中的氮(N)素 90% 以上以有机态 N 的形态存在, 土壤有机 N 的化学形态及其存在状况是影响土壤 N 素有效性的重要因子, 它不仅在维持 N 素肥力方面有重要意义, 而且直接决定土壤潜在供 N 能力, 是土壤矿质 N 的源和汇^[1-2]。目前通用的土壤有机 N 分级是按 Keeney 和 Bremner 1965 年提出的方法^[3], 将有机 N 分为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、氨基酸态 N、氨基糖态 N、酸解未知态 N 和酸不溶性 N。国内外研究报道了不同施肥制度对土壤有机 N 分级及各组分变化的影响, 但不同的研究结果不尽相同。许春霞等^[4]的研究表明, 单施尿素会使土壤酸解态 N 下降, 而施用厩肥后, 酸解态 N 增加。杨志谦等^[5]的研究表明, 有机肥料能明显增加土壤中氨基酸态 N 的含量。与此相反, 王岩等^[6]的研究表明, 残留化肥 N 主要转化为未知态 N 和氨基酸态 N, 而有机肥料中的残留 N 主要转化为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和氨基糖态 N。巨晓棠等^[7-11]的研究发现, 通过施用有机肥增加的酸解性 N 组分主要是分解程度较低的酸解未知 N, 而通过施用化学 N 肥增加的 N 组分主要为相对易分解的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 氨基糖 N 的含量在施用有机肥和 N 肥条件下均表现为下降的趋势。国内外对我国典型土壤类型在稻草还田情况下对土壤有机 N 组分影响的研究比较少。因此, 本试验以湘南烟区常年稻草还田与否的 14 个不同土样为对象, 研究在烟-稻轮作中稻草还田对土壤有机 N 组分的影响, 对揭示稻草还田后土

壤 N 素供肥性和保肥性的机理具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

湘南地区属大陆型中亚热带湿润季风气候, 年平均气温一般为 16~19℃, 雨水丰沛, 年平均降雨量在 1200~1700 mm 之间。土壤样品采自湘南烟-稻轮作区稻草还田和对照的植烟土壤, 供试土壤分别为石灰岩、板页岩和第四纪红土母质发育的水稻土, 取样时间为 2007 年 7 月。取样前连续 5 年匀地, 每年水稻-烟草轮作, 施用同样的烟草专用复合肥; 且稻草还田年限为 5 年, 每公顷施用切碎的稻草 4500 kg, 直接覆盖, 同时对照土壤无稻草还田历史。土样取样采用多点混合采样法, 取上层(0~20 cm)土壤。采自湘南 7 个烤烟主产县的土壤样本, 分别是: 江华涛圩、宁远清水桥、蓝山土市、嘉禾龙潭、桂阳梧桐、常宁板桥和衡南宝盖, 每个土样做两个处理, 分别是稻草还田和对照, 共计 14 个样本。其基本理化性质见表 1。

1.2 分析方法

土壤有机 N 分级根据 Keeney 和 Bremner 的土壤有机 N 分级方法^[3]; 土壤全 N 测定采用开氏半微量定氮法; 土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法-外加热法; 土壤碱解 N 测定采用碱解扩散法; 土壤 pH 采用 1:1 的水土比-雷磁酸度计测定^[12]。试验数据采用 Excel

①基金项目: 湖南省烟草专卖局基金项目(05-02)和国家烟草专卖局项目(2006-1-3.1)资助。

* 通讯作者(hnndljx@sina.com)

作者简介: 肖巧琳(1985—), 女, 福建将乐人, 硕士研究生, 主要从事植物营养方面的研究。E-mail: 929572334@qq.com

表 1 供试土样的基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soils

土壤	有机质 (g/kg)		全 N (g/kg)		碱解 N (g/kg)		pH	
	对照	稻草还田	对照	稻草还田	对照	稻草还田	对照	稻草还田
江化涛圩	47.04	53.55	3.11	3.44	0.208	0.231	6.80	7.57
宁远清水桥	29.13	45.83	1.85	2.61	0.162	0.228	5.50	5.44
蓝山土市	25.88	50.62	2.11	3.38	0.125	0.226	7.13	7.47
嘉禾龙潭	51.89	60.27	2.81	3.40	0.207	0.237	5.78	6.82
桂阳梧桐	24.63	28.47	1.85	1.74	0.117	0.137	7.62	7.62
常宁板桥	47.86	47.44	2.94	2.96	0.202	0.193	7.40	7.32
衡南宝盖	27.43	27.63	1.62	1.89	0.143	0.139	5.09	4.73

2003 和 SPSS13.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 烟稻轮作中稻草还田对土壤有机氮各组分含量的影响

与对照处理相比稻草还田处理从整体上提高土壤有机 N 各组分含量 (氨基糖态 N 除外) (表 2), 但在不同地区, 由于各地水、热、气、地质、地势等不同, 其增减呈现较大不同。

2.1.1 烟稻轮作中稻草还田对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和氨基酸态 N 含量的影响 湘南对照区土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 变化范围是 0.199 ~ 0.456 g/kg, 稻草还田区 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 变化范围是 0.205 ~ 0.446 g/kg。与对照处理相比, 稻草还田后土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均含量从 0.311 g/kg $\pm$ 0.092 g/kg, 提高到 0.349 g/kg $\pm$ 0.091 g/kg, 增幅 12.5% (表 2)。各地区增

减幅度有很大差异, 稻草还田后宁远清水桥地区土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 提高幅度最大, 达到 38.2%, 其次是蓝山土市, 提高幅度 28.9%, 嘉禾龙潭 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 提高幅度是 24.8%, 衡南宝盖地区提高幅度最小 3.0%。江华涛圩和常宁板桥两个地区 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量非但不增, 还分别减少 2.3% 和 5.3%。可见, 地区不同稻草还田处理对土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的影响有很大差异。对稻草还田前后各地区土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量做无重复双因素方差分析, 稻草还田处理与对照处理之间的 $F = 4.02$ ($F_{0.05} = 5.99$), 无显著差异; 各地区之间: $F = 11.72$ ($F_{0.01} = 8.47$), 有极显著差异。可见, 影响湘南地区土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量差异的因素是不同地区之间的理化性质, 而非稻草还田处理。分析 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 变异系数, 由对照处理的 29.5%, 下降到 26.1%, 下降 3.4%, 所以稻草还田处理能使各地区土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量的差异减小。

表 2 烟稻轮作中稻草还田对土壤有机 N 各组分含量的影响 (g/kg)

Table 2 Effects of rice-straw-returning under tobacco-rice rotation on contents of organic nitrogen fractions in soils

土壤	$\text{NH}_4^+\text{-N}$		氨基酸态 N		氨基糖态 N		酸解未知 N		酸不溶性 N	
	对照	稻草还田	对照	稻草还田	对照	稻草还田	对照	稻草还田	对照	稻草还田
江化涛圩	0.456	0.446	0.721	0.622	0.079	0.047	0.706	0.873	1.147	1.456
宁远清水桥	0.259	0.358	0.380	0.559	0.035	0.045	0.363	0.595	0.815	1.048
蓝山土市	0.327	0.422	0.418	0.543	0.029	0.055	0.312	0.667	1.020	1.694
嘉禾龙潭	0.326	0.406	0.610	0.472	0.063	0.035	0.347	0.802	1.460	1.685
桂阳梧桐	0.222	0.245	0.296	0.245	0.042	0.031	0.301	0.461	0.994	0.756
常宁板桥	0.385	0.365	0.657	0.653	0.064	0.018	0.380	0.547	1.458	1.373
衡南宝盖	0.199	0.205	0.377	0.452	0.080	0.089	0.372	0.367	0.592	0.781
$\bar{x} \pm s$	0.311 $\pm$ 0.092	0.349 $\pm$ 0.091	0.494 $\pm$ 0.165	0.507 $\pm$ 0.136	0.056 $\pm$ 0.021	0.046 $\pm$ 0.023	0.397 $\pm$ 0.139	0.616 $\pm$ 0.180	1.070 $\pm$ 0.319	1.256 $\pm$ 0.398
CV (%)	29.5	26.1	33.4	26.9	37.2	49.8	35.1	29.2	29.8	31.7
方差分析 (列)	$F = 4.02 < F_{0.05} = 5.99$		$F = 0.08 < F_{0.05} = 5.99$		$F = 1.02 < F_{0.05} = 5.99$		$F = 15.10 > F_{0.01} = 13.75^{**}$		$F = 2.86 < F_{0.05} = 5.99$	
方差分析 (行)	$F = 11.72 > F_{0.01} = 8.47^{**}$		$F = 5.55 > F_{0.05} = 4.28^*$		$F = 1.69 < F_{0.05} = 4.28$		$F = 3.67 < F_{0.05} = 4.28$		$F = 5.10 > F_{0.05} = 4.28^*$	

由表2可见, 湘南对照区氨基酸态N含量变化范围是0.296~0.721 g/kg, 稻草还田区变化范围是0.245~0.653 g/kg。稻草还田后湘南4个地区氨基酸态N含量降低, 其中嘉禾龙潭地区降幅最大, 达到22.6%; 其次是桂阳梧桐降幅17.3%, 江华涛圩降低13.8%, 常宁板桥地区略有下降仅为0.7%。由于这4个地区降幅要小于其他3个地区的增幅, 如宁远清水桥稻草还田后氨基酸态N含量提高47.2%, 蓝山土市地区提高29.9%, 衡南宝盖地区提高20.0%。因此, 氨基酸态N平均含量在稻草还田处理下提高了, 由对照处理的0.494 g/kg $\pm$ 0.165 g/kg, 提高到0.507 g/kg $\pm$ 0.136 g/kg, 增幅为2.51%。对稻草还田前后各地区土壤氨基酸态N含量做方差分析, 稻草还田与对照处理之间: $F=0.08$ ($F_{0.05}=5.99$), 无显著差异; 各地区之间: $F=5.55$ ($F_{0.05}=4.28$), 有显著差异。可见, 影响湘南地区土壤氨基酸态N含量差异的主要因素是各地区之间的理化性质, 与稻草还田处理关系不大。分析稻草还田前后氨基酸态N变异系数, 由对照处理的33.4%下降到26.9%, 下降6.5%, 可见, 稻草还田处理有助于减小各地区土壤氨基酸态N含量差异。

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和氨基酸态N分子结构比较简单, 氨基酸态N含有 α -氨基酸, 是有机N组分中的活跃部分, 是易被矿化组分, 稻草还田形成的那一部分 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和氨基酸态N会迅速被矿化成无机N, 为植物提供N素营养, 所以二者在稻草还田下含量增幅不大, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 增加12.5%, 氨基酸态N仅增加2.5%。方差分析显示稻草还田对湘南各地区土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和氨基酸态N并无显著性影响, 但各地区之间土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量存在极显著性差异, 氨基酸态N含量存在显著性差异。

2.1.2 烟稻轮作中稻草还田对氨基糖态N含量的影响 湘南对照区土壤氨基糖态N含量变化范围是0.029~0.080 g/kg, 平均含量0.056 g/kg $\pm$ 0.021 g/kg, 稻草还田区变化范围是0.031~0.089 g/kg, 平均含量0.046 g/kg $\pm$ 0.023 g/kg, 下降18.1% (表2)。氨基糖态N的主要组分是葡糖胺其次是乳糖胺, 占有机N组分最少不到3%。在5种有机N组分中, 氨基糖态N含量变异系数最大, 对照区变异系数为37.2%, 稻草还田区变异系数为49.8%, 提高12.6%。从表2可见, 稻草还田后, 蓝山土市氨基糖态N含量增幅高达92.4%, 但嘉禾龙潭地区氨基糖态N含量下降44.3%。对湘南各地区稻草还田前后土壤氨基糖态N含量做方差分析, 稻草还田与对照处理之间: $F=1.02$ ($F_{0.05}=5.99$), 无显著差异; 各地区之间: $F=1.69$ ($F_{0.05}=4.28$), 无显著影响。可见, 影响土壤氨基糖态N含量差异的直

接因素不是地区之间的理化性质和稻草还田, 主要是土壤微生物含量。因为氨基糖很少在高等植物组织中发现, 主要存在于真菌几丁质结构中, 与微生物的关系密切。

2.1.3 烟稻轮作中稻草还田对酸解未知N和酸不溶性N含量的影响 湘南对照区土壤酸解未知态N含量变化范围在0.301~0.706 g/kg, 平均含量0.397 g/kg $\pm$ 0.139 g/kg, 稻草还田区酸解未知态N含量变化范围在0.367~0.873 g/kg, 平均含量0.616 g/kg $\pm$ 0.180 g/kg, 比对照处理提高55.1%。嘉禾龙潭地区增幅最大, 高达131.2%, 其次是蓝山土市提高113.4%, 宁远清水桥地区提高64.0%, 桂阳梧桐地区提高53.2%, 常宁板桥地区提高44.1%, 江华涛圩地区提高23.7%, 衡南宝盖地区几乎不变。对稻草还田前后各地区土壤酸解未知N含量做方差分析, 稻草还田与对照处理之间: $F=15.10$ ($F_{0.01}=13.75$), 有极显著差异; 各地区之间: $F=3.67$ ($F_{0.05}=4.28$), 无显著差异。可见, 影响各地区土壤酸解未知N态含量差异的因素是稻草还田处理, 而与各地区土壤的理化性状显著关系。分析稻草还田前后酸解未知态N含量的变异系数, 由对照处理的35.1%下降到29.2%, 下降5.9%, 可见稻草还田处理能减小各地区土壤酸解未知态N含量差异。

湘南对照区土壤酸不溶性N含量变化范围在0.592~1.460 g/kg, 平均含量1.070 g/kg $\pm$ 0.319 g/kg, 稻草还田区土壤酸不溶性N含量变化范围在0.756~1.694 g/kg, 平均含量1.256 g/kg $\pm$ 0.398 g/kg, 比对照处理增加17.5% (表2)。蓝山土市地区酸不溶性N含量增幅最大, 达到66.1%, 其次是衡南宝盖地区增幅为32.0%, 桂阳梧桐和常宁板桥地区不增反降, 分别降低24.0%和5.9%。对稻草还田前后各地区土壤酸不溶性N含量做方差分析, 稻草还田和对照处理之间: $F=2.86$ ($F_{0.05}=5.99$), 无显著差异; 各地区之间: $F=5.10$ ($F_{0.05}=4.28$), 有显著差异。可见影响各地区土壤酸不溶性N含量差异的主要原因是地区之间的理化性状差异, 与稻草还田处理关系不大。分析稻草还田前后土壤酸不溶性N含量的变异系数, 由对照处理29.8%, 稻草还田后上升到31.7%, 提高幅度1.9%, 说明施入稻草5年后, 酸不溶性N的含量一直在变化, 这和其本身分子的复杂结构, 形成过程比较缓慢一致。

酸解未知N是水解性全N中的主要组分, 由于其分子内含非 α -氨基酸态N, 是酸解液中较不易分解的 $\text{N}^{[4]}$, 不易被矿化, 容易累积, 所以稻草还田后增幅最大, 达到55.1%, 方差分析显示稻草还田处理对酸解未知态N含量有极显著影响。酸不溶性N占土壤有机

N 组分 40% 以上,是被矿物牢固结合的 N、与酚环联结的氨基酸和杂环状氮化物及由木质素固定的 N,形态比较得复杂、稳定,是有机 N 组分中难以被矿化的组分,形成过程也是一个漫长复杂的过程,所以提高幅度介于氨基酸态 N 和酸解未知态 N 之间,为 17.5%。

2.2 烟稻轮作中稻草还田对土壤氮素组成的影响

从图 1 可以看出,与对照区相比,稻草还田区有机 N 组分中 NH_4^+ -N、氨基酸态 N、氨基糖态 N 和酸不溶性 N 占全 N 比例均下降,只有酸解未知 N 占全

N 比例上升。 NH_4^+ -N 占全 N 的平均比例从对照区的 $13.30\% \pm 1.48\%$ 下降到稻草还田区的 $12.62\% \pm 1.10\%$,下降 0.68%。前面分析,各地区之间土壤 NH_4^+ -N 含量有极显著性差异,因此地区不同增减幅度不同,蓝山土市下降幅度最大,从 15.53% 下降到 12.47%,下降 3.06%,宁远清水桥的下降幅度最小,从 13.99% 下降到 13.74%,下降 0.25%。各地区土壤 NH_4^+ -N 占全 N 平均比例在稻草还田后降幅不超过 1%,可见稻草还田处理对湘南各地区土壤 NH_4^+ -N 无显著性影响。

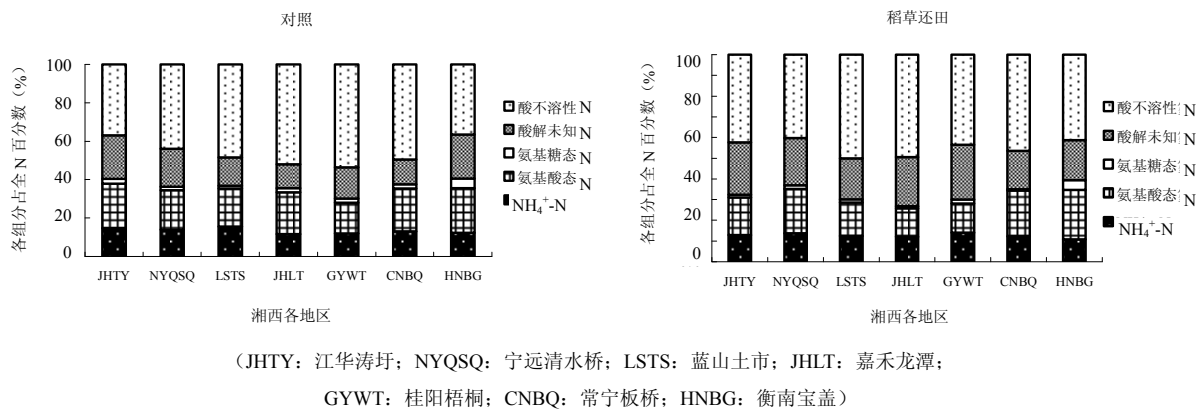


图 1 烟稻轮作中稻草还田对土壤 N 素组成的影响

Fig. 1 Effects of rice-straw-returning under tobacco-rice rotation on nitrogen components in soils

氨基酸态 N 占全 N 平均比例从对照区的 $20.98\% \pm 2.56\%$ 下降到稻草还田区的 $18.50\% \pm 4.03\%$,下降 2.48%。其中,嘉禾龙潭地区降幅最大,从 21.75% 下降到 13.89%,下降 7.86%,常宁板桥地区降幅最小,从 22.32% 下降到 22.09%,下降 0.23%。结合前面分析可知湘南各地区土壤氨基酸态 N 含量的差异主要来自于地区间的不同。

氨基糖态 N 占全 N 平均比例从对照区的 $2.49\% \pm 1.15\%$ 下降到稻草还田区的 $1.84\% \pm 1.34\%$,下降 0.65%。其中常宁板桥地区降幅最大,从 2.19% 下降到 0.60%,下降 1.59%,衡南宝盖地区降幅最小,从 4.95% 下降到 4.72%,仅下降 0.22%。稻草还田前后氨基糖态 N 占全 N 比例在有机 N 组分中变化最小,结合前面的分析,稻草还田处理对土壤氨基糖态 N 含量无显著性影响,地区之间的差异也不明显。

酸解未知 N 占全 N 平均比例从对照区的 $17.36\% \pm 4.43\%$ 提高到稻草还田区的 $22.27\% \pm 3.13\%$,提高 4.91%。其中嘉禾龙潭地区增幅最大,从 12.36% 提高到 23.58%,提高 11.22%。江华涛圩地区增幅最小,从

22.69% 提高到 25.35%,提高 2.66%。酸解未知 N 占全 N 比例在有机 N 组分中变化最大。结合前面的分析,稻草还田处理能显著影响土壤酸解未知态 N 含量,各地区之间的差异并不明显,可见影响土壤酸解未知 N 含量的主要因素是稻草还田与否。

地区不同酸不溶性 N 占全 N 比例增减幅度也有差异,平均比例从对照区的 $45.87\% \pm 6.94\%$ 下降到稻草还田区的 $44.77\% \pm 3.98\%$,下降 1.10%。其中桂阳梧桐地区降幅最大,从 53.61% 下降到 43.52%,下降 10.09%。江华涛圩地区不降反升,由对照区的 36.90% 上升到 42.29%,提高 5.38%。可见稻草还田处理不是主导土壤酸不溶性 N 含量变化的主要因素,地区之间土壤理化性质是其主导因素。

稻草还田提高了有机 N 组分中 NH_4^+ -N、氨基酸态 N、酸解未知 N 和酸不溶性 N 含量,同时土壤全 N 含量提高幅度要大于 NH_4^+ -N、氨基酸态 N 和酸不溶性 N 含量的提高幅度,土壤全 N 含量从对照区的 $2.32 \text{ g/kg} \pm 0.61 \text{ g/kg}$ 增加到稻草还田区的 $2.77 \text{ g/kg} \pm 0.72 \text{ g/kg}$,增幅 19.2% (表 1)。因此,稻草还田处理有机 N 组分

中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、氨基酸态 N、氨基糖态 N 和酸不溶性 N 占全 N 比例相比对照处理均降低。酸解未知态 N 占全 N 比例在稻草还田处理下提高了, 增幅达到 28.3%。可见, 烟稻轮作中稻草还田处理主要是提高有机 N 组分中酸解未知态 N 含量, 这与酸解未知态 N 在土壤中的活性介于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和酸不溶性 N 二者之间有关, 活性太高, 稻草还田后, 微生物大量繁殖, 容易被分解; 活性太低, 不易累积, 形成积累过程比较漫长。

2.3 烟稻轮作中稻草还田对有机氮各组分与有机质、全氮和碱解氮之间相关性的影响

稻草还田前后, 土壤有机 N 各组分与有机质、全 N 和碱解 N 之间的相关性均呈现出一定规律 (表 3)。与对照区相比, 稻草还田区加强了 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与有机质、全 N 和碱解 N 之间相关性。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与有机质、碱解 N 之间分别从对照区的无相关性 $r=0.740$, $r=0.732$, 加强为稻草还田后的极显著相关性 $r=0.943$, $r=0.939$ 。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 主要包括无机形态的交换性铵和部分固定态铵, 其中交换性铵是碱解 N 重要来源之一, 固定态铵是有机质的一部分, 稻草还田增加的那部分 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 一部分分解为碱解 N, 多余的部分积累成固定态铵。

氨基酸态 N 与有机质、全 N、碱解 N 之间, 由对照区的极显著相关性 ($r>0.917$), 减弱为稻草还田后的无显著相关性 ($r<0.811$)。氨基酸态 N 主要是由蛋白质或多肽裂解后释放出来的, 主要存在于土壤有机质中的蛋白质和多肽中, 与对照区相比, 高 C/N 比的

稻草还田后, 土壤 N 素被微生物用来合成自身氨基酸、蛋白质, 减弱了氨基酸态 N 与有机质、全 N、碱解 N 之间的相关性。

氨基糖态 N 与有机质、全 N 和碱解 N 之间, 由对照区的无显著正相关 ($r<0.811$), 减弱为稻草还田后的无显著负相关 ($r<0$)。氨基糖态 N 占有机 N 组分中很小比例, 不到 3%, 其增幅程度对土壤有机质、全 N 和碱解 N 的含量无显著影响。

酸解未知 N 与有机质、全 N 和碱解 N 之间, 由对照区无显著相关性 ($r<0.811$), 加强为稻草还田后的显著相关性, 相关系数 r 分别为 0.899, 0.886 和 0.866。酸解未知态 N 主要是氨基酸缩合 N, 来自土壤腐殖质, 是非 α -氨基酸。与对照区相比, 稻草还田区酸解未知 N 在大量微生物分解作用下, 释放出碱解 N, 同时分解木质素合成有机质。

酸不溶性 N 与有机质、全 N 之间, 由对照区显著相关性 ($r>0.811$), 加强为稻草还田后的极显著相关性, 相关系数 r 分别是 0.926, 0.966。与碱解 N 之间由对照区的无显著相关性 $r=0.674$, 加强为显著相关性, 相关系数 $r=0.838$ 。酸不溶性 N 是腐殖质结构成分缩和程度较高的一部分, 其来源有两部分: 一部分是不溶性的土壤残渣吸附酸解产物生成的; 另一部分是土壤矿质紧密结合或进入黏土矿物晶格内的含 N 化合物。稻草还田下微生物大量繁殖对土壤残渣吸附的那一部分有分解作用, 因此酸不溶性 N 与全 N、碱解 N 的相关性均加强。

表 3 稻草还田对有机 N 各组分与有机质、全 N 和碱解 N 相关关系 (r) 的影响

Table 3 Effects of rice-straw-returning on correlation coefficients (r) between organic nitrogen fractions and organic matter, total nitrogen, and alkali-hydrolyzable nitrogen

有机 N 各组分	有机质		全 N		碱解 N	
	对照	稻草还田	对照	稻草还田	对照	稻草还田
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.740	0.943	0.925	0.966	0.732	0.939
氨基酸态 N	0.932	0.626	0.966	0.704	0.924	0.659
氨基糖态 N	0.553	-0.404	0.419	-0.291	0.579	-0.277
酸解未知态 N	0.479	0.899	0.600	0.886	0.583	0.866
酸不溶性 N	0.820	0.926	0.853	0.966	0.674	0.838

注: 相关系数显著性水平临界值: $r_{0.05}(4)=0.811$, $r_{0.01}(4)=0.917$ 。

3 讨论

气候条件的差异对土壤有机 N 各组分有一定的影响, 特别是温度、降水、光照等对土壤有机 N 的固定与矿化有显著影响。由于本试验 7 个试验点均设在湘南地区, 气候条件差异小, 对试验的影响无差异, 因

此, 试验未做气候条件对稻草还田的影响分析。

试验结果显示, 常年稻草还田可以提高湘南地区土壤有机 N 组分中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、氨基酸态 N、酸解未知态和酸不溶性 N 的含量, 提高幅度依次为: 12.5%、2.5%、55.1% 和 17.5%。稻草还田提高土壤的 C/N 比, 在高

C/N 比条件下土壤微生物生长受 N 的限制而处于缺 N 状态,矿化出的 N 素被迅速固定用于合成微生物本身,因此,稻草还田处理增加了土壤有机 N 各组分含量。同时由于各地区土壤理化性状存在差异,导致土壤内的微生物种群存在差异,分解稻草形成的有机 N 种类也就各异,因此地区不同,有机 N 各组分增减幅度也不同,但总体趋势是增加的,这与李世清等^[13]的研究有出入。李世清等^[13-20]通过试验研究得出,化肥和秸秆或厩肥配施会显著地增加水解性有机 N 含量及其比例,其中增加最显著的是氨基酸态 N 和水解 $\text{NH}_4^+\text{-N}$,而本试验显示增加最显著的是酸解未知态 N。氨基酸态 N 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是有机 N 组分中活跃部分,稻草累积的那部分很快被矿化,供当季作物吸收,因此其稻草还田处理对其含量的提高并无显著性影响。

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、氨基酸态 N、酸不溶性 N 在土壤中的含量虽然提高了,但提高的幅度要小于全 N 的 19.2%,因此,它们占土壤 N 素组分的比例均下降,只有酸解未知态 N 占土壤全 N 的比例是上升的。表 1 显示,嘉禾龙潭地区在稻草还田前后,其有机质含量和碱解 N 含量均是湘南 7 个地区中最高的,该地区酸解未知态 N 含量在稻草还田后的提高量最大(表 2),且占全 N 的比例提高最大(图 1);相应的衡南宝盖地区有机质、碱解 N 含量最小(表 1),该地区酸解未知态 N 含量在稻草还田后提高量最小(表 2),占全 N 的比例提高最小(图 1)。可见,酸解未知态 N 与土壤有机质、碱解 N 含量关系密切,且稻草还田主要是提高土壤有机 N 组分中的酸解未知态 N 的含量,酸解未知态 N 在土壤中相当于一个 N 的缓冲库,这为土壤 N 素的供应提供保障。同时由于酸解未知态 N 的供 N 速度不及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和氨基酸态 N,因此在耕作过程中还要配合化肥的施用。

上面的分析显示,桂阳梧桐地区碱解 N 含量最少(表 1),稻草还田后该地区酸不溶性 N 含量降幅最大(表 2),占全 N 的比例下降最大(图 1),可见酸不溶性 N 和碱解 N 之间相关性密切,与表 3 分析结果一致:稻草还田处理后土壤酸不溶性 N 和碱解 N 之间加强为显著相关性。这和我们平常理解的酸不溶性 N 是有机 N 中比较复杂,难水解的组分有出入,可能是因为稻草还田后,土壤中微生物大量繁殖,要消耗大量 N 素来构成自身,因此,微生物将酸不溶性 N 中那部分附着在土壤残渣上的氮化合物(比在矿物品格里的含氮化合物易分解)分解组成自身。酸不溶性 N 是土壤腐殖质的重要组分,被微生物分解过多,会影响土壤肥

力。可见,要提高土壤保肥性,仅靠稻草还田是不够的,还要配施一定量的化肥。

参考文献:

- [1] 徐阳春,沈其荣,茆泽圣. 长期施用有机肥对土壤及不同粒级中酸解有机氮含量与分配的影响. 中国农业科学, 2002, 35(4): 403-409
- [2] 张玉玲,张玉龙,虞娜,姬景虹. 长期不同施肥对水稻土有机氮素矿化特性影响的研究. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 272-276
- [3] Keeney DR, Bremner JM. Effect of cultivation on the nitrogen distribution in soils. Soil Science Society of America Proceeding, 1964, 28: 653-661
- [4] 许春霞,吴守仁. 土壤有机氮的构成及其在施肥条件下的变化. 土壤通报, 1991, 22(2): 54-56
- [5] 杨志谦,王维敏. 秸秆还田后碳、氮在土壤中的积累和释放. 土壤肥料, 1991(5): 43-46
- [6] 王岩,蔡大同,史瑞和. 肥料残留氮的有效性及其与形态分布的关系. 土壤学报, 1993, 30(1): 19-25
- [7] 巨晓棠,刘学军,张福锁. 长期施肥对土壤有机氮组成的影响. 中国农业科学, 2004, 37(1): 87-91
- [8] 王克鹏,张仁陟,索东让. 长期施肥对河西灌漠土有机氮组分的影响. 生态环境, 2008, 17(2): 699-703
- [9] 张俊清,朱平,张夫道. 有机肥和化肥配施对黑土有机氮形态组成及分布的影响. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 245-249
- [10] 肖伟伟,范晓晖,杨林章,郝明德. 长期施肥对黄土旱塬黑垆土有机氮和有机碳的影响. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 672-675
- [11] 查春梅,颜丽,郝长红,关连珠. 不同土地利用方式对棕壤有机氮组分及其剖面分布的影响. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 22-26
- [12] 鲍士旦主编. 土壤农化分析. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2005: 25-114
- [13] 李世清,李生秀,邵明安,郭大勇. 半干旱农田生态系统长期施肥对土壤有机氮组分和微生物体氮的影响. 中国农业科学, 2004, 37(6): 859-864
- [14] 孙天聪,李世清,邵明安,赵坤. 半湿润农田生态系统长期施肥对土壤团聚体中有机氮组分的影响. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2233-2238
- [15] 王淑平,周广胜,姜亦梅,姜岩. 施用玉米残体对土壤有机氮组分特征的影响. 吉林农业大学学报, 2003, 25(3): 311-314
- [16] 王瑞军,李世清,张兴昌,李生秀,邵明安. 西北地区不同生态系统几种土壤有机氮组分和微生物体氮的差异. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 21-27

- [17] 肖伟伟, 范晓晖, 杨林章, 孙波. 长期定位施肥对潮土有机氮组分和有机碳的影响. 土壤学报, 2009, 46(2): 274-280
- [18] 宗海英, 王凯荣, 谢小立. 长期施肥对红壤性水稻土有机氮组分的影响. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1 721-1 726
- [19] 肖伟伟, 范晓晖, 杨林章, 沈明星. 长期施肥对太湖地区黄泥土有机氮和有机碳的影响. 土壤, 2008, 4(1): 93-99
- [20] 富东英, 田秀平, 薛菁芳, 韩晓日. 长期施肥与耕作对白浆土有机态氮组分的影响. 农业环境科学学报, 2005, 24(6): 1 127-1 131

Effects of Rice-straw-returning Under Tobacco-rice Rotation on Soil Organic Nitrogen Fractions

XIAO Qiao-lin¹, LUO Jian-xin^{1,2}, YANG Qiong²

(1 College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2 Middle South Agricultural Experimental Station of China Tobacco, Changsha 410128, China)

Abstract: 14 different soils under tobacco-rice rotation in southern Hunan Province were collected to study the effects of rice-straw-returning on the contents and components of organic nitrogen fractions in soils based on Keeney and Bremner's classification of organic nitrogen. The results showed rice-straw-returning only increased the content of unknown hydrolysable nitrogen rather than the contents of ammonia nitrogen, amino acid nitrogen and unhydrolysable nitrogen; Rice-straw-returning enhanced the correlations between ammonia nitrogen, unknown hydrolysable nitrogen, unhydrolysable nitrogen and organic matter, total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen, while weakened the correlations between amino acid nitrogen, amino sugar nitrogen and organic matter, total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen.

Key words: Tobacco-rice rotation, Rice-straw-returning, Organic nitrogen fraction