

紫云英和秸秆还田对土壤肥力性状的影响

李 峰, 周方亮, 黄雅楠, 徐永昊, 耿明建, 黄 丽*

(华中农业大学, 农业农村部长江中下游耕地保育重点实验室, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 在湖北省荆州市绿肥长期定位试验的基础上, 研究紫云英种植还田(MV)和水稻秸秆还田(S)对水稻土表层(0~20 cm)各形态养分、活性有机碳及氧化铁的影响。结果表明: 与对照(CK)处理相比, 紫云英还田能有效增加土壤有机质、碱解氮、颗粒有机碳的含量, 增幅分别为1.40%~13.11%、0.08%~12.24%、1.01%~12.56%; 紫云英单独还田的处理土壤有效磷、速效钾含量较CK处理降低, 在施用化肥(NPK)及秸秆还田后明显增加; 紫云英还田各处理土壤的非晶质铁、络合铁含量和铁的活化度较CK处理增加(除部分处理外), 增幅分别为0.87%~12.30%、7.98%~30.88%、0.31%~11.66%, 均表现为S+MV+NPK处理的增幅最大。紫云英、秸秆还田均能有效提高土壤肥力水平, 紫云英还田对土壤肥力水平的提升效果好于秸秆还田, 两者配合还田效果最好。

关键词: 紫云英; 秸秆; 养分; 氧化铁; 有机碳

我国耕地质量问题突出, 实现绿色发展, 改善农田质量已成为目前农业生产关注的热点^[1]。紫云英和秸秆均是重要的有机肥源, 其还田后可以有效提高土壤肥力状况、改善土壤物理性状、防止水土流失、改善生态环境^[2-3]。冬闲期种植绿肥、稻草全量还田及两者配合还田均能起到增加土壤有机质和提高土壤养分含量的作用, 并有降低土壤容重和提高孔隙度的趋势, 其中多数指标以稻草全量还田与种植绿肥配合还田模式的变化最大^[4]。研究表明, 与CK相比, 稻草和绿肥单独还田下土壤的有机碳显著增加6.8%~8.0%, 冬种紫云英+稻草高茬全量还田处理土壤的有效磷、速效钾分别增加18%、22.8%^[5]。

活性有机碳对外界环境变化十分敏感, 为指示土壤肥力变化的重要指标之一^[6]。紫云英还田带来大量外源新鲜有机物质会对活性有机碳产生影响^[7]。洞庭湖的紫潮泥地连续5年田间试验发现, 紫云英还田下减施20%化肥有助于稻田表层土壤可溶性有机碳及易氧化有机碳的积累^[8]。

氧化铁是土壤中最常见的氧化物, 具有较高的

活性, 易随环境条件而变化^[9]。水稻田长期紫云英、秸秆还田主要通过改变土壤氧化还原状况和有机质含量, 从而改变氧化铁的形态组成。氧化铁形态和含量的变化对营养元素碳、氮、磷等的循环有着重要影响^[10]。研究表明, 长期施有机肥的土壤游离铁含量下降, 非晶质铁及氧化铁的活化度上升^[11]。长期施化肥及化肥与紫云英、稻草、猪粪配施可增加土壤中无定形铁的含量(增幅为10.5%~58.5%), 降低土壤中游离铁的含量(降幅为0.4%~13.8%), 土壤中氧化铁的活化度提高19%~76%。

紫云英、秸秆还田能带来大量的外源有机物料, 且在水稻土频繁的干湿交替环境下易影响有机碳的活性和铁的形态, 但少见相关的报道。本文基于荆州市水稻-紫云英轮作长期定位试验, 研究紫云英、秸秆还田对土壤各形态养分、活性有机碳及氧化铁等肥力性状的影响, 为紫云英、秸秆的合理利用和提高农田土壤肥力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 定位试验点概况

供试水稻土采自湖北省荆州市荆州区太湖农场(112°48'56" N, 30°53'26" E)的定位试验田。该地区年均温为17.9℃, 年均降水量为1100 mm, 试验地土壤为河流冲积物发育的水稻土, 质地是粉砂质粘土(砂粒26.46%, 粉粒46.56%, 粘粒26.98%)。

收稿日期: 2019-05-10; 录用日期: 2019-06-07

基金项目: 国家绿肥产业技术体系(CARS-22); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503122)。

作者简介: 李峰(1994-), 男, 江西赣州市人, 硕士, 主要从事土壤化学方面的研究。E-mail: 826449854@qq.com。

通讯作者: 黄丽, E-mail: daisyh@mail.hzau.edu.cn。

试验开始于2016年,设置不施肥(CK)、单施化肥(NPK)、紫云英单独种植还田(MV)、化肥+紫云英种植还田(MV+NPK)、化肥+秸秆全量还田(S+NPK)、化肥+秸秆半量还田(50%S+NPK)、化肥+紫云英种植还田+秸秆全量还田(S+M+V+NPK)、化肥+紫云英种植还田+秸秆半量还田(50%S+MV+NPK),共8个处理,各处理3次重复,随机区组排列。小区面积20 m²。所有处理绿肥季均不施肥,水稻秸秆在绿肥季还田,氮、磷、钾肥在水稻季施用,其养分总投入量分别为N 165 kg/hm², P₂O₅ 60 kg/hm², K₂O 90 kg/hm²。化学氮、磷、钾肥根据前季紫云英和秸秆还田量而定。氮肥的70%作基肥,20%作分蘖肥,10%作粒肥,磷钾肥全部作基肥施用。紫云英品种为戈江种(播种量为30 kg/hm²),水稻品种为黄华占。具体试验设计见表1。

表1 田间试验处理

编号	耕作处理
CK	冬闲,全年不施肥,不种紫云英,水稻秸秆不还田
NPK	施100%化肥,冬闲,水稻秸秆不还田
MV	不施化肥,种植紫云英并全量还田,水稻秸秆不还田
MV+NPK	施100%化肥,种植紫云英并全量还田,水稻秸秆不还田
S+NPK	施100%化肥,冬闲,秸秆全量还田
50%S+NPK	施100%化肥,冬闲,秸秆半量还田
S+MV+NPK	施100%化肥,种植紫云英并全量还田,秸秆全量还田
50%S+MV+NPK	施100%化肥,种植紫云英并全量还田,秸秆半量还田

1.2 土壤样品采集

分别于2018年4月紫云英盛花期和2018年10月水稻收获后,各小区采用“S”形布点法采集表层(0~20 cm)土壤样品,混匀风干并剔除其中根系、石块,过筛备用。

1.3 测定项目与方法

pH值采用电位法测定(水土比2.5:1,奥力龙868型pH计);碱解氮采用碱解扩散法;有效磷采用0.5 mol/L NaHCO₃浸提-比色法(Uv-1600紫外可见分光光度计);速效钾采用醋酸铵浸提-火焰

光度法(HG-3火焰光度计测定);土壤有机碳采用重铬酸钾-外加热容量法。

土壤活性有机碳的测定采用高锰酸钾氧化法^[12];土壤颗粒有机碳的测定采用六偏磷酸钠震荡法^[13]。

游离铁用连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠(DCB)提取,非晶质铁用酸性草酸铵提取,络合铁用焦磷酸钠提取,用原子吸收光谱法(AA240 FS型原子吸收光谱仪)测定各形态铁的含量。铁的活化度(%)=100×非晶质铁/游离铁^[14]。

土壤肥力主成分分析^[15-16]:以供试土壤测定的项目(pH值、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、颗粒有机碳、易氧化有机碳、游离铁、非晶质铁、络合铁和活化度)为评价指标进行主成分分析,选取累计百分率≥80%的主成分因子。根据主成分的特征向量构建主成分方程,计算各因子主成分分值,再用各公因子的特征值贡献率作为权数进行加权求和,即得各处理土壤综合得分。综合得分函数模型 $F = \sum b_j Z_j = b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + \dots + b_m Z_m$ (b为贡献率)^[17]。

1.4 数据分析

运用Excel 2010进行数据计算及作图;SPSS 20.0进行方差分析,用Duncan's新复极差法进行多重比较;用独立样本t检验进行同一处理不同取样时间的比较。

2 结果与分析

2.1 紫云英、秸秆还田对水稻土pH值、有机碳、速效养分和活性有机碳的影响

各处理土壤的pH值为7.11~7.93(表2),除S+NPK、50%S+MV+NPK处理外,水稻季各处理土壤的pH值均显著高于紫云英季。紫云英季各处理间的土壤pH值差异不显著,但CK处理的相对较高;水稻季S+NPK、S+MV+NPK处理土壤的pH值显著低于CK处理,其余处理也略有降低,但差异不显著。水稻季S+MV+NPK、50%S+MV+NPK处理的土壤有机质含量显著低于紫云英季;紫云英季中,与CK处理相比,S+MV+NPK处理的有机质含量显著增加,其余处理也有增加但没有达到显著水平;水稻季中,NPK处理的土壤有机质含量最低,除50%S+NPK处理外,其余处理的有机质含量均显著高于NPK处理,其中MV处理的含量最高,达30.42 g/kg。

表 2 不同处理的土壤 pH 值、有机质、速效养分及活性有机碳的含量

取样时间	处理	pH 值	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	颗粒有机碳 (g/kg)	易氧化有机碳 (g/kg)
紫云英季	CK	7.43 aB	28.13 bA	133.39 bB	10.56 abA	167.16 bcA	4.70 bA	0.90 aA
	NPK	7.11 aB	30.27 abA	144.24 abA	12.49 abA	164.49 cA	4.77 abA	0.90 aA
	MV	7.34 aB	29.71 abA	140.66 abA	9.32 bA	155.30 cA	4.89 abA	1.02 aA
	MV+NPK	7.36 aB	29.24 abA	136.75 abA	9.76 bA	136.55 dB	5.22 abA	0.97 aA
	S+NPK	7.35 aA	29.18 abA	139.32 abA	11.21 abA	201.22 bA	4.69 bA	0.90 aA
	50%S+NPK	7.34 aB	30.19 abA	140.66 abA	11.59 abA	195.48 bA	5.02 abA	0.95 aA
	S+MV+NPK	7.19 aB	31.82 aA	149.72 aB	13.41 aA	229.34 aA	5.59 aA	1.04 aA
	50%S+MV+NPK	7.30 aA	30.48 abA	148.26 abA	11.14 abA	191.65 bA	5.19 abA	1.02 aA
水稻季	CK	7.90 aA	29.16 aA	145.25 aA	9.55 abA	178.83 abcA	4.89 abA	0.86 aA
	NPK	7.93 aA	25.65 bB	139.66 aA	9.91 abB	175.50 bcA	4.57 bA	0.84 aA
	MV	7.84 abA	30.42 aA	150.61 aA	8.18 bA	158.85 cA	5.30 aA	0.80 aA
	MV+NPK	7.70 abA	29.95 aA	153.30 aA	10.16 abA	169.95 bcA	5.48 aA	0.82 aA
	S+NPK	7.65 bA	29.57 aA	148.04 aA	11.32 abA	199.93 aA	5.27 abA	0.87 aA
	50%S+NPK	7.78 abA	28.08 abA	145.36 aA	11.86 aA	183.28 abA	4.92 abA	0.77 aA
	S+MV+NPK	7.63 bA	29.80 aB	159.22 aA	12.55 aA	187.72 abB	5.29 aA	0.83 aB
	50%S+MV+NPK	7.73 abA	28.85 aB	152.74 aA	10.02 abA	188.83 abA	4.98 abA	0.83 aB

注：表中不同小写字母表示同一时期各处理之间 $P < 5\%$ 水平上的差异显著。不同大写字母表示同一处理不同时期之间 $P < 5\%$ 水平上的差异显著。下同。

试验点紫云英季、水稻季的土壤碱解氮含量分别为 133.39 ~ 149.72 mg/kg、139.66 ~ 159.22 mg/kg，紫云英季 CK、S+MV+NPK 处理的碱解氮含量显著低于水稻季；与 CK 处理相比，紫云英季 S+MV+NPK 处理的碱解氮含量显著增加，较 CK 处理增加 12.24%，其余处理也都有增加但未达显著水平；水稻季紫云英还田较 CK 处理的碱解氮含量都有增加，但各处理间没有显著差异。水稻季 NPK 处理的土壤有效磷含量显著低于紫云英季，其余处理两季间没有显著差异；紫云英季和水稻季土壤有效磷含量最高的均为 S+MV+NPK 处理，最低的都是 MV 处理；紫云英季 MV、MV+NPK 处理的土壤有效磷含量显著低于 S+MV+NPK 处理，其余处理差异不显著；水稻季中，与 MV 处理相比，50%S+NPK、S+MV+NPK 处理的土壤有效磷含量显著增加。紫云英季 MV+NPK 处理的速效钾含量显著低于水稻季，其余处理两季间没有显著差异；紫云英季中，与 CK 处理相比，MV+NPK 处理显著降低、S+MV+NPK 处理显著增加了土壤速效钾含量；水稻季中，与 MV 处理相比，S+NPK、50%S+NPK、S+MV+NPK、50%S+MV+NPK 处理的速效钾含量显

著增加，其中 S+NPK 处理的增幅最大，较 MV 处理增加了 25.87%，表明紫云英种植还田可能会消耗土壤钾素，秸秆还田能有效增加土壤速效钾含量，这与刘小粉等^[18]对信阳水稻土的研究结果相似。

对于同一处理而言，土壤颗粒有机碳含量在两季间没有显著差异，紫云英季 S+MV+NPK、50% S+MV+NPK 处理的土壤易氧化有机碳显著高于水稻季。与 CK 处理相比，紫云英季 S+MV+NPK 处理的土壤颗粒有机碳含量显著增加，增幅为 19.10%；与 NPK 处理相比，水稻季 MV、MV+NPK、S+MV+NPK 处理的土壤颗粒有机碳含量显著增加，MV+NPK 处理的颗粒有机碳含量最高，较 NPK 处理增加 19.93%。紫云英季和水稻季的土壤易氧化有机碳在各处理间均没有显著差异，两季土壤易氧化有机碳含量最高的分别是 S+MV+NPK、S+NPK 处理。

可见，在紫云英季和在水稻季，各形态养分和活性有机碳含量多以 S+MV+NPK 处理的含量最高，表明紫云英-秸秆联合还田可发挥紫云英、秸秆各自的培肥优势，对于土壤养分的提升更为全面，这与前人的研究结果相同^[4-5]。

2.2 紫云英、秸秆还田对水稻土中氧化铁的影响

紫云英季 CK、MV 处理的土壤游离铁含量显著高于水稻季, MV+NPK、S+NPK、50%S+NPK、S+MV+NPK、50%S+MV+NPK 处理游离铁含量显著低于水稻季, 两季土壤游离铁含量最高的均为 50%S+

MV+NPK 处理, 最低的都是 MV 处理 (表 3); 与 MV 处理相比, S+MV+NPK、50%S+MV+NPK 处理游离铁含量在紫云英季和水稻季均有显著增加, 紫云英季增幅分别为 3.97%、4.77%, 水稻季增幅分别为 12.52%、15.45%。

表 3 不同处理的土壤各形态氧化铁含量及氧化铁的活化度

取样时间	处理	游离氧化铁 (g/kg)	非晶质氧化铁 (g/kg)	络合氧化铁 (g/kg)	氧化铁的活化度 (%)
紫云英季	CK	25.60 abA	6.09 aA	0.78 bA	23.78 aB
	NPK	25.44 abA	6.63 aA	1.00 aA	26.09 aA
	MV	24.92 bA	6.07 aA	0.86 abA	24.41 aB
	MV+NPK	25.80 abB	6.34 aA	0.91 abA	24.62 aA
	S+NPK	25.76 abB	6.14 aA	0.96 abA	23.88 aA
	50%S+NPK	25.33 abB	6.36 aA	0.92 abA	25.16 aA
	S+MV+NPK	25.91 aB	6.88 aA	1.02 aA	26.55 aA
	50%S+MV+NPK	26.11 aB	6.43 aA	0.94 abA	24.66 aA
水稻季	CK	24.95 cdB	6.48 aA	0.77 bcA	25.99 aA
	NPK	25.52 cA	6.00 aA	0.73 cB	23.55 aA
	MV	24.03 dB	6.88 aA	0.87 abcA	27.61 aA
	MV+NPK	27.13 aA	6.80 aA	0.85 abcA	25.14 aA
	S+NPK	26.86 abA	6.85 aA	0.96 abA	25.60 aA
	50%S+NPK	25.91 bcA	6.77 aA	0.90 abcA	26.16 aA
	S+MV+NPK	27.04 aA	7.05 aA	1.00 aA	26.07 aA
	50%S+MV+NPK	27.75 aA	6.87 aA	0.83 abcA	24.75 aA

紫云英季和水稻季的土壤非晶质铁含量分别为 6.07 ~ 6.88、6.00 ~ 7.05 g/kg, 同一处理两季间没有显著性差异; 紫云英还田各处理与 CK 处理相比, 两季非晶质铁含量最高的均为 S+MV+NPK 处理, 但都未达到显著水平, 表明非晶质铁含量可能会随着有机物料还田量的增加而上升, 这与黑土、黄绵土、红壤施用有机肥处理的研究结果类似^[19]。

紫云英季 NPK 处理土壤络合铁含量显著高于水稻季, 其余处理的络合铁含量在两季间没有显著差异; 与 CK 处理相比, 紫云英季 NPK、S+MV+NPK 处理土壤络合铁含量均显著增加, S+MV+NPK 处理增幅最大, 较 CK 处理的增加 30.63%; 与紫云英季类似, 与 CK 处理相比, 水稻季 S+MV+NPK 处理土壤络合铁含量显著增加, 增幅为 30.88%; 此外, 与半量秸秆还田处理相比, 两季全量秸秆还田处理土壤络合铁含量均有所增加, 但差异不显著。

紫云英季和水稻季土壤氧化铁的活化度分别为

23.78% ~ 26.55%、23.55% ~ 27.61%, 水稻季 CK、MV 处理氧化铁的活化度显著高于紫云英季。与非晶质铁类似, 氧化铁的活化度在紫云英季和水稻季各处理间均无显著差异; 但在紫云英季与 CK 处理相比, 紫云英还田各处理土壤氧化铁的活化度均有增加, 其中 S+MV+NPK 处理的最高, 达 26.55%。

总的来说, 除部分处理外, 连续两年紫云英还田下土壤非晶质铁、络合铁含量及氧化铁的活化度有所增加, 即种植翻压紫云英可以提高各形态氧化铁的含量, 这与 Yadav 等^[20]的研究结果类似。

2.3 主成分分析

2.3.1 主成分提取及累积贡献率

供试土壤肥力性状的 3 个主成分累积贡献率达到 90.43% (表 4)。在第一主成分中, 有机质、碱解氮、颗粒有机碳、易氧化有机碳、非晶质铁、络合铁有较大的正向载荷, 贡献率为 61.25%。在第二主成分中, 有效磷、速效钾和游离铁有较大的负向载荷, 有机质、颗粒有机碳、易氧化有机碳和活

化度有较大的正向载荷, 贡献率为 18.30%。第三主成分中, 游离铁有较大的负向载荷, 活化度有较大的正向载荷, 贡献率为 10.88%。

表 4 主成分特征向量及累计贡献

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3
pH 值	-0.861	0.317	0.017
有机质	0.833	0.501	-0.011
碱解氮	0.937	0.172	-0.143
有效磷	0.624	-0.665	0.327
速效钾	0.649	-0.569	0.222
颗粒有机碳	0.810	0.408	-0.207
易氧化有机碳	0.763	0.403	-0.290
游离铁	0.607	-0.472	-0.615
非晶质铁	0.981	0.082	0.009
络合铁	0.875	-0.246	0.236
活化度	0.527	0.497	0.678
特征值	6.737	2.013	1.197
贡献率 (%)	61.25	18.30	10.88
累积贡献率 (%)	61.25	79.55	90.43

2.3.2 各主成分得分和综合得分

对选取的 3 个主成分进行载荷值旋转计算, 由此可得出 3 个主成分的综合得分 (表 5)。紫云英还田各处理在主成分 1 上的得分表现为 $S+MV+NPK > 50\%S+MV+NPK > S+NPK > MV+NPK > NPK > 50\%S+NPK > MV > CK$; 紫云英还田各处理在主成分 2 上的得分表现 $MV > MV+NPK > CK > S+MV+NPK > 50\%S+MV+NPK > 50\%S+NPK > NPK > S+NPK$; 紫云英还田各处理在主成分 3 上的得分表现 $50\%S+NPK > S+MV+NPK > MV > NPK > CK > S+NPK > MV+NPK > 50\%S+MV+NPK$ 。

表 5 不同处理主成分得分及综合得分

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3	综合得分
CK	-3.344	0.178	-0.024	-2.232
NPK	-0.287	-1.421	0.397	-1.789
MV	-0.875	2.893	0.745	0.082
MV+NPK	-0.075	0.807	-1.474	-0.065
S+NPK	0.361	-1.533	-0.110	-0.079
50%S+NPK	-0.362	-0.771	1.399	-0.233
S+MV+NPK	5.296	0.102	0.777	3.701
50%S+MV+NPK	1.286	-0.254	-1.710	0.614

根据综合得分的最大值和最小值, 选择适当的分值区间, 即按照等距 $d = (|F_{\text{综 max}}| + |F_{\text{综 min}}|) / 3$ 计算将综合得分划分为 3 个等级。一等 $\{S+MV+NPK\}$, 综合得分范围为 (1.723, 3.701); 二等 $\{50\%S+MV+NPK, MV, MV+NPK, S+NPK, 50\%S+NPK\}$, 综合得分范围为 (-0.255, 1.723); 三等 $\{NPK, CK\}$, 综合得分范围为 (-2.232, -0.255)。

不同紫云英、秸秆还田措施下, 土壤肥力水平可依此划为 3 个等级, 秸秆全量还田 + 紫云英种植还田 + 化肥处理最高, 紫云英种植还田、秸秆半量还田 + 紫云英种植还田 + 化肥、紫云英种植还田 + 化肥、秸秆全量还田 + 化肥、秸秆半量还田 + 化肥处理次之, 化肥、不施肥最低。表明相比不施肥以及单施化肥, 紫云英、秸秆等作为天然的有机肥还田, 可以提高土壤肥力水平, 尤其是两者配合施用效果最好, 这与相关研究结果相似^[4]。

3 讨论

本研究中, 紫云英还田处理的土壤非晶质铁、络合铁含量及活化度均增加, 这与王莹等^[21]的研究结果一致。水稻土中存在周期性的氧化还原交替, 淹水使土壤溶液中的铁离子水解形成氢氧化物单体, 脱水能使土壤中的非晶质铁老化, 氧化铁的组成发生变化。杨东伟等^[9]研究发现水田返旱后水耕表层的无定形铁、铁的活化度、络合态铁和水溶性铁显著下降。另外, 紫云英、秸秆还田能带来大量新鲜的外源有机质, 一方面, 这些有机质可与氧化铁结合, 形成有机无机复合体, 保护有机碳不被分解, 该过程还可以提高氧化铁自身的化学稳定性^[22]; 另一方面, 非晶质铁强烈吸附有机质而阻碍氧化铁晶核的生长, 在有机质被分解时部分氧化铁被还原成为水溶性铁, 再经水解或氧化生成无定形的氢氧化铁^[23-24]。有研究^[25]表明, 大量有机无机肥的施入, 会影响与铁氧化还原相关的微生物丰度以及群落结构, 这也会对水稻田中氧化铁的组成特征产生影响。

本研究表明, 紫云英、秸秆还田均能有效提高土壤肥力性状, 其中紫云英-秸秆联合还田效果最好, 这与前人^[4-5]的研究结果类似, 其原因可能是紫云英和秸秆中含有大量的碳、氮、磷、钾等元素, 还田后在微生物作用下发生腐解, 将营养元素归还到土壤中^[26-27], 而农田土壤养分主要取决于有机物料输入量 (动植物

残体、根际分泌物等)与输出量(作物收获、土壤淋溶等)^[28],紫云英-秸秆联合还田能加大有机物料的输入量,一定程度上增加了土壤中各养分含量。秸秆的C/N值高,而紫云英氮素含量较高,C/N值低,紫云英-秸秆联合还田能平衡土壤C/N值,提高土壤养分有效性^[29]。紫云英作为豆科绿肥,能提高土壤氮素含量^[30];秸秆中的钾素主要以离子态存在,易被溶解出来,补充速效钾各组分的含量^[31];紫云英和秸秆腐解产生活性酸,能活化土壤难溶性磷,提高磷的有效性^[32-33]。此外,紫云英还田能为微生物提供充足的氮源,进而提高微生物活性,加速对秸秆的分解^[34],研究表明,秸秆单独还田有充足的碳输入,但是缺乏磷、钾素,导致固氮菌含量的下降,而紫云英和秸秆联合利用有利于固氮微生物数量和活性的增加^[35]。因此紫云英-秸秆联合还田能发挥两者各自培肥优势,利于土壤肥力水平的提高。

4 结论

紫云英、秸秆还田均能增加土壤有机碳、碱解氮、颗粒有机碳的含量。紫云英单独还田时,土壤有效磷、速效钾含量较对照降低;紫云英-秸秆联合还田较紫云英单独还田,土壤的有效磷、速效钾含量显著增加。

紫云英、秸秆还田各处理土壤的非晶质铁、络合铁含量与铁的活化度均明显增加,以秸秆还田+紫云英还田+施用化肥处理增幅最大,游离铁含量无明显变化。

供试的处理中,紫云英、秸秆还田均可以提高土壤肥力水平,紫云英还田对土壤肥力水平的提升效果好于秸秆还田,两者配合还田比其单独还田的效果好,全量秸秆比半量秸秆还田更有利于土壤肥力的提高。

参考文献:

- [1] 陈印军,王晋臣,肖碧林,等.我国耕地质量变化态势分析[J].中国农业资源与区划,2011,32(2):1-5.
- [2] 曹卫东,黄鸿翔.关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J].中国土壤与肥料,2009,(4):1-3.
- [3] Kubar K A, Huang L, Lu J, et al. Long-term tillage and straw returning effects on organic C fractions and chemical composition of SOC in rice-rape cropping system [J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2019, 65: 125-137.
- [4] 刘威,秦自果,耿明建,等.冬种绿肥和稻草全量还田对单季稻田土壤理化性质的影响[J].中国土壤与肥料,2017(4):52-58.
- [5] 周国朋,谢志坚,曹卫东,等.稻草高茬-紫云英联合还田改善土壤肥力提高作物产量[J].农业工程学报,2017,33(23):157-163.
- [6] Haynes R J. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview [J]. Advances in Agronomy, 2005, 85(4): 221-268.
- [7] Chen Z, Wang H, Liu X, et al. Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice-wheat cropping system [J]. Soil and Tillage Research, 2017, 165: 121-127.
- [8] 周兴,廖育林,鲁艳红,等.肥料减施条件下水稻土壤有机碳组分对紫云英-稻草协同利用的响应[J].水土保持学报,2017,31(3):283-290.
- [9] 杨东伟,张慧敏,章明奎.水田返旱地后铁锰氧化物及其相关性状的变化[J].土壤通报,2014,45(2):257-264.
- [10] Rico K I, Sheldon N D. Nutrient and iron cycling in a modern analogue for the redoxcline of a Proterozoic ocean shelf [J]. Chemical Geology, 2019, 511(20): 42-50.
- [11] 刘侯俊,陈红娜,王俊梅,等.长期施肥对棕壤铁形态及其有效性的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,23(1):36-43.
- [12] Lefroy D B, Blair G, Stong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and ¹³C natural isotope abundance [J]. Plant and Soil, 1993, (155/156): 399-402.
- [13] 徐明岗,于荣,孙小凤,等.长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):459-465.
- [14] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [15] 刘鑫,王一博,吕明侠,等.基于主成分分析的青藏高原多年冻土区高寒草地土壤质量评价[J].冰川冻土,2018,40(3):469-479.
- [16] 杨旭初,叶会财,李大明,等.基于模糊数学和主成分分析的长期施肥红壤旱地土壤肥力评价[J].中国土壤与肥料,2018,(3):79-84.
- [17] 邱莉萍,刘军,王益权,等.土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(3):277-280.
- [18] 刘小粉,刘春增,潘兹亮,等.施用绿肥条件下减施化肥对土壤养分及持水供水能力的影响[J].中国土壤与肥料,2017,(3):75-79.
- [19] 孟思明.长期施肥对土壤粘粒矿物组成及其演变特征的影响[D].武汉:华中农业大学,2014.
- [20] Yadav R K, Purakayastha T J, Khan M A, et al. Long-term impact of manuring and fertilization on enrichment, stability and quality of organic carbon in inceptisol under two potato-based cropping systems [J]. Science of the Total Environment, 2017, 609: 1535-1543.

- [21] 王莹, 尧水红, 李辉信, 等. 长期施肥稻田土壤团聚体内氧化铁分布特征及其与有机碳的关系 [J]. 土壤, 2013, 45 (4): 666-672.
- [22] Porras R C, Hicks C P, Torn M S, et al. Synthetic iron (hydr) oxide-glucose associations in subsurface soil: Effects on decomposability of mineral associated carbon [J]. Science of the Total Environment, 2018, (613-614): 342-351.
- [23] Souza I F, Archanjo B S, Hurtarte L C C, et al. Al-/Fe-(hydr) oxides-organic carbon associations in Oxisols — From ecosystems to submicron scales [J]. Catena, 2017, 154: 63-72.
- [24] Coward E K, Thompson A T, Plante A F. Iron-mediated mineralogical control of organic matter accumulation in tropical soils [J]. Geoderma, 2017, 306: 206-216.
- [25] Huang X, Tang H, Kang W, et al. Redox interface-associated organo-mineral interactions: A mechanism for C sequestration under a rice-wheat cropping system [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2018, 120: 12-23.
- [26] 殷志遥, 黄丽, 薛斌, 等. 连续秸秆还田对水稻土中钾素形态的影响 [J]. 土壤通报, 2017, 48 (2): 351-358.
- [27] 方畅宇, 屠乃美, 张清壮, 等. 不同施肥模式对稻田土壤速效养分含量及水稻产量的影响 [J]. 土壤, 2018, 50 (3): 462-468.
- [28] 薛斌, 殷志遥, 肖琼, 等. 稻-油轮作条件下长期秸秆还田对土壤肥力的影响 [J]. 中国农学通报, 2017, 33 (7): 134-141.
- [29] 连泽晨. 绿肥和秸秆还田对水稻产量、养分吸收及土壤肥力的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [30] 袁嫚嫚, 刘勤, 张少磊, 等. 太湖地区稻田绿肥固氮量及绿肥还田对水稻产量和稻田土壤氮素特征的影响 [J]. 土壤学报, 2011, 48 (4): 797-803.
- [31] 刘智杰, 黄丽, 李峰, 等. 秸秆还田对水稻土黏土矿物组成和钾素释放的影响 [J]. 土壤通报, 2018, 49 (6): 1390-1396.
- [32] 杨昆仑, 杨守军, 辛秀琛. 玉米秸秆还田对土壤中磷有效性的影响 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (28): 13782-13783.
- [33] 李增强, 王建红, 张贤. 绿肥腐解及养分释放过程研究进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (4): 8-16.
- [34] Gao S J, Chang D N, Zhou C Q, et al. Archaea are the predominant and responsive ammonia oxidizing prokaryotes in a red paddy soil receiving green manures [J]. European Journal of Soil Biology, 2018, 88: 27-35.
- [35] Yang L, Bai J S, Zeng N H, et al. Diazotroph abundance and community structure are reshaped by straw return and mineral fertilizer in rice-rice-green manure rotation [J]. Applied Soil Ecology, 2019, 136: 11-20.

Effects of Chinese milk vetch and straw returning on soil fertility characters

LI Feng, ZHOU Fang-liang, HUANG Ya-nan, XU Yong-hao, GENG Ming-jian, HUANG Li^{*} [Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Huazhong Agricultural University, Wuhan Hubei 430070]

Abstract: Based on long-term green manure experiments in Jingzhou Hubei Province, the composition characteristics of nutrients, active organic carbon and iron oxide in the surface layer (0 ~ 20 cm) of paddy soil were studied under the conditions of Chinese milk vetch planting and returning (MV), and rice straw returning (S). The results showed that compared with control (CK) treatment, Chinese milk vetch returning effectively increased the content of soil organic matter, available nitrogen and particulate organic carbon, which increased by 1.40% ~ 13.11%, 0.08% ~ 12.24%, 1.01% ~ 12.56%, respectively. Soil available phosphorus and potassium contents in Chinese milk vetch returning alone treatment were lower than those of CK, but they increased significantly after applying chemical fertilizer (NPK) and straw returning. Except for some treatments, the contents of amorphous iron, complex iron and the activation degree of iron oxides in different treatments of Chinese milk vetch returning increased significantly compared with CK, with the increase of 0.87% ~ 12.30%, 7.98% ~ 30.88%, 0.31% ~ 11.66%, respectively, and the largest increase showed in S+MV+NPK treatment. Both Chinese milk vetch and straw returning could effectively improve soil fertility level. The effect of Chinese milk vetch returning on soil fertility was better than that of straw returning. The combination of Chinese milk vetch and straw returning had the best effect.

Key words: Chinese milk vetch; straw; nutrients; iron oxide; organic carbon