

解 钰,朱同彬. 氮肥和秸秆用量对水稻—小麦轮作体系土壤团聚体组分及碳氮分布的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):310-314.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.05.102

# 氮肥和秸秆用量对水稻—小麦轮作体系土壤团聚体组分及碳氮分布的影响

解 钰, 朱同彬

(南京师范大学地理科学学院, 江苏南京 210023)

**摘要:**通过 5 年的水稻—小麦长期定位试验,研究了不同氮肥用量与秸秆配施(氮肥和秸秆用量均为 4 个水平)对土壤水稳性团聚体组成及各组分中全碳和全氮含量的影响。结果表明,氮肥、秸秆及氮肥与秸秆配施显著增加了土壤 > 2 mm 团聚体的含量。同时,氮肥和秸秆的添加均增加了土壤全氮、全碳在大团聚体中的含量及分配比例,对改良土壤结构,提高氮肥利用率,减少氮肥损失具有积极的意义。不同氮肥与秸秆配施对团聚体碳、氮分布的影响并不显著,这可能与测定的氮、碳形态有关。

**关键词:**氮肥;秸秆;土壤;团聚体;全氮;全碳;水稻;小麦

**中图分类号:** S158.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)05-0310-04

稻麦轮作是我国水稻生产的重要种植制度,为保证其产量的提高,优化施肥是主要措施,其中氮肥与作物秸秆配施较为广泛。不同配比的秸秆和化学氮肥输入到土壤,会显著影响土壤中原有的碳库和氮库,使其发生复杂的变化,进而改变土壤中的碳氮循环,影响碳氮在土壤中的分布和去向<sup>[1]</sup>。基于土壤碳氮对土壤肥力和环境的重要影响,研究不同用量配比的秸秆和化学氮肥对土壤碳氮转化和各形态含量的影响,对指导氮肥和作物秸秆的合理施用具有重要意义。土壤团聚体是指示土壤肥力状况的重要表征指标。土壤团聚体是形成土壤结构的基础,又是土壤肥力的物质基础,显著影响土壤中的许多理化性质及生物学性质<sup>[2]</sup>。通过分析土壤团聚体的组成及碳氮含量的分布,可有效表征施用肥料后土壤物质循环的变化。土壤各团聚体组分中的碳氮含量及转化速率有着明显差异,受施肥和利用方式的显著影响。Elliott 研究认为,土壤大团聚体中的有机碳矿化速率快于微团聚体<sup>[3]</sup>;Six 等则认为耕作会减少土壤大团聚体的形成<sup>[4-5]</sup>。由于土壤团聚体各组分具有不同的孔隙特征,组分内碳氮的有效性有较大差异,使得土壤碳库和氮库含量与团聚体中的某一组分具有很大的关系。高会议等研究发现,黑垆土有机碳含量与粒径 > 5 mm 和 5 ~ 2 mm 的团聚体含量呈显著正相关关系,与 < 0.125 mm 的团聚体含量呈极显著负相关<sup>[6]</sup>。目前,有关氮肥与有机肥配施对团聚体组成及其碳氮分配的研究较多<sup>[6-12]</sup>,但多数研究局限于同一氮肥或有机肥施用量条件下,其他外源物质输入后土壤团聚体的变化;关于不同用量的氮肥与秸秆配施如何影响土壤团聚体分配及碳氮分布的研究

则较少。稻麦轮作特殊体系下,淹水和好气条件交替出现,作物秸秆的分解可能会与其他农作物系统有较大差异,其对各团聚体的形成和碳氮分配的影响较大,应引起充分重视。因此,本研究选取稻田轮作体系下的土壤,采用湿筛法,分析不同用量水平的氮肥和秸秆配施对土壤团聚体组成及各组分中碳氮分布变化的影响,以此评价不同氮肥与秸秆配施对改善土壤肥力状况的作用,为提高土壤碳氮贮量提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

本试验供试土壤采自江苏省句容市行香镇(31°58'N, 119°18'E)。句容地处北亚热带中部气候区,具有明显的季风特征,四季分明,雨量充沛。无霜期 229 d。年均气温 15.2℃,年均降水量 1 058.8 mm。土壤类型为发育于下蜀黄土的爽水性水稻土。试验开始前试验地供试土壤 pH 值为 5.7,有机碳含量为 8.2 mg/kg,全氮含量为 1.1 mg/kg。稻—麦轮作是该地的主要耕作制度。

### 1.2 试验设置

定位试验开始于 2006 年。试验共设 4 个秸秆处理:(1)不施秸秆( $S_0$ );(2)秸秆添加量为 1 600 kg/hm<sup>2</sup>( $S_1$ );(3)秸秆添加量为 3 200 kg/hm<sup>2</sup>( $S_2$ );(4)秸秆添加量为 4 800 kg/hm<sup>2</sup>( $S_3$ )。秸秆在水稻移栽前施用。每个秸秆处理设置 4 个施氮水平(氮肥为尿素):(1)不施氮肥( $N_0$ );(2)尿素添加量(以纯氮计)为 100 kg/hm<sup>2</sup>( $N_1$ );(3)尿素添加量为 200 kg/hm<sup>2</sup>( $N_2$ );(3)尿素添加量为 300 kg/hm<sup>2</sup>( $N_3$ )。氮肥施用分配为稻季基肥:分蘖肥:穗肥为 2:1:1,麦季基肥:返青肥为 3:2;磷钾肥作为基肥一次性施入,磷肥为硫酸钙,添加量(以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计)为 54 kg/hm<sup>2</sup>,钾肥为氯化钾,添加量(以 K<sub>2</sub>O 计)为 31 kg/hm<sup>2</sup>。试验共 16 个处理,随机排列,每个处理设置 3 次重复。作物轮作方式为水稻—小麦,每年 1 季。

### 1.3 土壤样品采集和分析

土壤样品采于 2012 年。采集表层 0 ~ 15 cm 土样,每个

收稿日期:2015-03-16

基金项目:国家自然科学基金青年基金(编号:41301313);土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放课题(编号:0812201211)。

作者简介:解 钰(1988—),女,山西大同人,博士研究生,从事土壤氮素循环过程研究。E-mail:xiexu0625@gmail.com。

通信作者:朱同彬,博士研究生,主要从事土壤氮素循环过程研究。E-mail:zhutongbin@gmail.com。

处理随机多点取样后混合均匀,作为一个土壤样品。挑出石子和根系后,带至实验室,风干,待测。土壤水稳性团聚体通过湿筛法采用团聚体分析仪分析:称取 100.00 g 土样置于孔径为 2~0.25~0.053 mm 的套筛的最顶层,放入水桶中,湿润 10 min 后振荡 5 min,振幅为 3 cm。振荡完成后,将各级筛子上的土壤用蒸馏水冲洗至已称质量的烧杯中,50 ℃下烘干,称量,计算各组分质量。然后将各组分土壤磨细,采用 SerCon SL C/N Elemental Analyzer(Sercon Ltd.,Crewe,UK)测定土壤各级团聚体中的土壤 C、N 含量。

土壤 pH 值(水土比 2.5:1)采用 DMP-2 pH 计(Quark Ltd,Nanjing,China)测定;土壤有机碳采用重铬酸钾容量法测定;全氮采用半微量凯氏定氮法测定。

1.4 数据计算

各级土壤团聚体的质量百分数计算公式:各级团聚体质量百分含量=各级团聚体质量/各土壤样品总质量×100%;团聚体碳、氮对土壤有机碳、氮贡献率计算公式:团聚体碳的比率=该级团聚体中有机碳、氮含量×该团聚体含量/耕层土壤有机碳、氮含量×100%。

1.5 统计分析

试验数据采用 SPSS 软件(Version 17.0,SPSSinc,Chicago,IL,USA)进行分析。不同处理之间的各级团聚体分布,各级团聚体有机碳、氮含量及贡献率采用 One-way ANOVA 进行分析。施氮处理、秸秆处理及二者交互作用对团聚体分布及各级团聚体中碳氮分布的影响采用 Two-way ANOVA 进行分析。各结果表达均采用平均值±标准差的形式。

表 1 不同施肥处理对水稳性团聚体分布的影响

秸秆处理	施氮处理	不同粒径团聚体百分比(%)			
		>2 mm	2~0.25 mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm
S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub>	0.61±0.40aA	35.66±7.62aBC	46.23±8.20aC	17.50±3.77aD
	N <sub>1</sub>	1.05±0.61aA	51.19±4.66abcB	21.88±15.43bAB	25.88±30.06bAB
	N <sub>2</sub>	2.69±1.82adA	79.42±0.88bB	8.59±2.66cCD	9.30±0.25aD
	N <sub>3</sub>	4.43±3.17bA	78.14±6.98bB	8.76±2.00cA	8.68±2.51aA
S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub>	1.76±0.61abA	82.26±3.03bB	7.61±3.60cC	8.37±0.69aC
	N <sub>1</sub>	2.21±0.59abA	78.57±8.88bB	11.54±7.04bcA	7.68±2.31aA
	N <sub>2</sub>	3.05±1.09abA	77.12±7.29bB	9.16±6.24cC	10.67±2.45aC
	N <sub>3</sub>	2.15±0.96abA	72.09±2.55bB	13.51±4.52bcA	12.26±3.48aA
S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub>	2.66±1.11abA	79.95±4.52bB	8.91±2.07cC	10.48±1.75aC
	N <sub>1</sub>	3.24±1.51acA	75.31±2.82bB	11.26±1.38cC	10.20±0.78aC
	N <sub>2</sub>	2.37±0.74aA	74.06±1.74bB	12.44±2.31bcC	11.12±1.40aC
	N <sub>3</sub>	3.62±0.78aA	69.48±3.74bB	15.55±3.68bcC	11.35±1.41aC
S <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	2.33±2.31aA	78.28±1.86bcB	10.64±3.54cC	8.70±0.64aC
	N <sub>1</sub>	6.79±5.27cA	72.99±6.94bB	9.74±7.23cA	10.48±0.89aA
	N <sub>2</sub>	5.61±1.69dA	69.22±4.54bB	14.08±6.54bcC	11.10±3.20aAC
	N <sub>3</sub>	2.65±0.77aA	72.43±8.23bB	12.45±8.62bcA	12.47±0.38aA

注:同一行中不同大写字母代表同一处理不同粒级团聚体间的差异水平达 0.05;同一列中不同小写字母表示同一团聚体不同处理之间的差异水平达 0.05。

2.2 不同施肥处理对土壤团聚体各组分中碳氮分布的影响

秸秆施用及氮肥与秸秆配施均对土壤全氮分布产生影响(表 2)。各处理土壤含氮量均以 >2 mm 团聚体最高,2~0.25 mm 团聚体次之,<0.053 mm 团聚体含氮量最低(表 3)。未施用秸秆的处理,随着氮肥施用量的增加,>2 mm 团聚体含氮量呈先上升后下降的趋势,N<sub>3</sub>处理>2 mm 团聚体含氮量仅为对照的 80%。施用秸秆后,各处理含氮量显著高

2 结果与分析

2.1 不同秸秆和氮肥配施对土壤水稳性团聚体分布的影响

由表 1 可知,各处理均以 2~0.25 mm 团聚体为主,其次为 0.25~0.053 mm 团聚体。在秸秆施用量相等的条件下,随着氮肥施用量的增加,土壤>2 mm 团聚体含量呈上升趋势,且各处理均显著高于对照,但处理之间差异不显著( $P<0.05$ )。氮肥施用量相等的条件下,除 S<sub>3</sub>外,其余各处理均随着秸秆添加量的增加,土壤>2 mm 的水稳性团聚体含量呈上升趋势。S<sub>3</sub>处理中,各氮肥处理>2 mm 团聚体的含量均低于对照,但处理之间的含量变化为 N<sub>3</sub>>N<sub>2</sub>>N<sub>1</sub>。秸秆施用及秸秆与氮肥交互作用显著影响土壤 2~0.25 mm 团聚体的含量(表 2, $P<0.05$ )。氮肥施用量为 0 和 100 kg/hm<sup>2</sup>时,随着秸秆添加量的增加,土壤 2~0.25 mm 团聚体含量显著增加,各处理均显著高于对照,但处理之间差异不显著。氮肥施用量为 200、300 kg/hm<sup>2</sup>时,各秸秆处理中的 2~0.25 mm 团聚体含量呈下降趋势,介于 69%~79%之间,但差异不显著( $P>0.05$ )。未施秸秆处理中,随着氮肥施用量的增加,0.25~0.053 mm 团聚体显著下降,N<sub>0</sub>为 46%,N<sub>1</sub>为 21%。N<sub>2</sub>和 N<sub>3</sub>显著降低,分别为 8.59%和 8.76%( $P<0.05$ )。添加秸秆后,各处理 0.25~0.053 mm 团聚体含量介于 9%~15%之间,但差异不显著。以上结果表明,氮肥、秸秆及二者配施有助于土壤>2 mm 及 2~0.25 mm 团聚体的形成,减少 0.25~0.053 mm、<0.053 mm 团聚体的含量;但不同氮肥与秸秆配施对团聚体分布的影响并不显著。

于对照,介于 1.36~2.12 mg/kg 之间,S<sub>3</sub>N<sub>0</sub>处理最高,为 2.12 mg/kg,但各处理之间差异不显著( $P<0.05$ )。秸秆施用显著影响 2~0.25 mm 及 0.25~0.053 mm 土壤含氮量(表 2)。同一施氮量,随着秸秆施用量的增加,2~0.25 mm 土壤团聚体含氮量呈上升趋势,最高为 N<sub>1</sub>S<sub>1</sub>处理,为 1.43 mg/kg。仅 S<sub>0</sub>N<sub>1</sub>处理 0.25~0.053 mm 团聚体含氮量较高,为 1.34 mg/kg,其余各处理差异不显著( $P>0.05$ )。秸秆添加

量为 3600 kg/hm<sup>2</sup> 和 4800 kg/hm<sup>2</sup> 时,添加氮肥,显著增加了 < 0.053 mm 团聚体含量,但各处理之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

秸秆施用及氮肥与秸秆配施也显著影响土壤水稳性团聚体有机碳含量和分布(表 2,  $P < 0.05$ )。各处理含碳量均为 >2 mm 团聚体最高,0.25 ~ 0.053 mm 次之, <0.053 mm 的含氮量最低(表 3)。秸秆添加量相等时,氮肥添加显著提高了土壤 >2 mm 团聚体含碳量( $P < 0.05$ )。同一施氮量下,随着秸秆添加量的增加, >2 mm 团聚体含碳量显著增加, S<sub>3</sub> 处理的含碳显著高于 S<sub>0</sub>、S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ )。秸秆及氮肥与秸秆配施均导致土壤 2 ~ 0.25mm 及 0.25 ~ 0.053 mm 团聚体的含碳量改变,但趋势并不明显。

2.4 各级团聚体碳、氮对土壤全碳、全氮的贡献率

从表4可见,2 ~ 0.25 mm 团聚体碳、氮对土壤全碳、全

表 2 氮肥、秸秆及二者配施对土壤各级团聚体分布及各组分中全碳和全氮的交互作用

指标	试验处理	P 值			
		>2 mm	2 ~ 0.25 mm	0.25 ~ 0.053 mm	< 0.053 mm
团聚体	N	0.15	0.83	0.05	0.79
	秸秆	0.45	0.04	0.00	0.31
	N × 秸秆	0.37	0.01	0.00	0.40
全氮	N	0.17	0.67	0.50	0.40
	秸秆	0.01	0.01	0.01	0.46
	N × 秸秆	0.00	0.25	0.26	0.45
全碳	N	0.12	0.43	0.38	0.99
	秸秆	0.17	0.00	0.00	0.00
	N × 秸秆	0.04	0.00	0.00	0.00

注:表中差异显著性水平为  $P < 0.05$ 。

表 3 长期秸秆和氮肥配施对土壤各级团聚体全氮、全碳含量的影响

秸秆处理	施氮处理	全氮(g/kg)				全碳(g/kg)			
		>2 mm	2 ~ 0.25 mm	0.25 ~ 0.053 mm	<0.053 mm	>2 mm	2 ~ 0.25 mm	0.25 ~ 0.053 mm	< 0.053 mm
S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub>	1.83 ± 0.39 abcA	1.37 ± 0.07 aB	1.02 ± 0.05 aBD	0.73 ± 0.05 acD	18.91 ± 9.03 abcA	4.33 ± 0.56 acB	13.17 ± 5.96 acBC	0.59 ± 0.50 adC
	N <sub>1</sub>	2.20 ± 0.09 bcA	1.20 ± 0.14 aB	1.02 ± 0.03 aC	0.69 ± 0.03 abD	22.84 ± 8.64 aA	2.32 ± 0.41 acB	10.85 ± 5.43 aB	1.66 ± 0.07 aC
	N <sub>2</sub>	2.15 ± 0.59 cA	1.21 ± 0.04 aB	1.07 ± 0.06 aB	0.72 ± 0.06 aB	21.61 ± 8.84 aA	7.16 ± 0.43 acB	10.54 ± 5.80 aB	0.47 ± 0.70 aB
	N <sub>3</sub>	1.51 ± 0.19 aA	1.09 ± 0.06 daB	0.93 ± 0.04 dB	0.70 ± 0.06 aC	13.15 ± 7.04 bA	2.23 ± 0.51 bB	8.87 ± 4.56 bBC	1.09 ± 0.88 abdC
S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub>	1.71 ± 0.42 abcA	1.12 ± 0.07 daB	0.96 ± 0.09 aB	0.60 ± 0.11 aC	13.77 ± 6.48 bA	4.31 ± 0.69 bB	7.87 ± 4.33 bB	0.74 ± 0.48 bB
	N <sub>1</sub>	1.51 ± 0.11 acA	0.62 ± 0.53 bB	0.80 ± 0.08 bB	0.49 ± 0.04 bB	14.74 ± 7.23 bcA	0.29 ± 0.93 dB	6.02 ± 4.81 bdB	5.10 ± 0.55 abB
	N <sub>2</sub>	1.36 ± 0.26 abA	1.15 ± 0.21 aB	0.97 ± 0.19 adBC	0.61 ± 0.13 abC	13.30 ± 8.70 abA	2.58 ± 1.12 cA	11.14 ± 5.41 adAB	2.98 ± 0.67 abB
	N <sub>3</sub>	1.85 ± 0.24 abcA	1.30 ± 0.03 aB	1.13 ± 0.03 aBC	0.77 ± 0.05 aC	18.51 ± 9.41 abA	3.05 ± 0.27 cB	11.46 ± 5.94 aBC	0.38 ± 0.28 aC
S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub>	1.66 ± 0.40 aA	1.43 ± 0.38 cAB	1.34 ± 0.33 cAB	0.95 ± 0.38 cB	17.63 ± 10.61 abA	7.86 ± 1.30 cAB	12.24 ± 6.89 cAB	1.53 ± 2.21 cB
	N <sub>1</sub>	1.72 ± 0.12 acA	1.29 ± 0.05 aB	1.10 ± 0.12 aC	0.88 ± 0.05 aD	16.78 ± 8.75 abA	1.48 ± 1.04 cB	11.19 ± 6.72 adC	0.43 ± 0.57 cD
	N <sub>2</sub>	1.78 ± 0.10 abcA	1.33 ± 0.10 aB	1.08 ± 0.02 aC	0.81 ± 0.02 cD	16.82 ± 8.41 abA	1.90 ± 0.35 cB	11.04 ± 6.19 adC	1.11 ± 0.33 cD
	N <sub>3</sub>	1.76 ± 0.18 abcA	1.39 ± 0.05 aB	1.12 ± 0.05 aC	0.99 ± 0.06 cBC	16.65 ± 9.06 aA	2.92 ± 0.65 cB	12.08 ± 7.28 adB	1.16 ± 0.41 cdC
S <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	2.12 ± 0.31 abcA	1.30 ± 0.04 aB	1.13 ± 0.08 aBC	0.98 ± 0.10 cC	22.85 ± 9.57 aA	4.16 ± 0.67 cB	11.86 ± 7.82 acBC	0.51 ± 0.48 cC
	N <sub>1</sub>	1.88 ± 0.24 abcA	1.43 ± 0.04 aB	1.21 ± 0.10 aBC	0.97 ± 0.10 cC	19.36 ± 9.91 abA	2.97 ± 0.71 cB	13.02 ± 7.67 cBC	0.52 ± 0.73 cC
	N <sub>2</sub>	1.55 ± 0.15 aA	1.39 ± 0.09 aAB	1.11 ± 0.02 aBC	0.94 ± 0.24 cC	14.86 ± 9.00 bcA	2.03 ± 0.32 cB	12.48 ± 7.53 adBC	1.18 ± 2.03 cC
	N <sub>3</sub>	1.64 ± 0.01 acA	1.28 ± 0.10 aB	1.02 ± 0.09 aC	0.80 ± 0.12 ad	10.03 ± 8.10 bcA	8.69 ± 0.68 cB	10.94 ± 7.24 dBC	1.00 ± 0.38 cC

注:同一行中不同大写字母代表同一处理不同粒级团聚体间的差异水平达 0.05;同一列中不同小写字母表示同一团聚体不同处理之间的差异水平达 0.05。

氮的贡献率最高,其次为 0.25 ~ 0.053 mm 团聚体。施用氮肥及秸秆,显著降低了 0.25 ~ 0.053 mm 团聚体碳、氮的比重, <0.053 mm 团聚体的贡献率也呈下降趋势。各处理中, S<sub>3</sub>N<sub>3</sub> 的下降率最高,0.25 ~ 0.053 mm 总碳贡献率为对照 (N<sub>0</sub>S<sub>0</sub>) 的 24%,全氮贡献率为对照的 2%,但 <0.053 mm 团聚体氮的贡献率为对照的 336%,团聚体碳的贡献率为对照的 85%。上述结果表明,不同施肥条件下,2 ~ 0.25 mm 及 0.25 ~ 0.053 mm 团聚体中全碳和全氮对土壤有机碳、氮的贡献起主导作用。虽然 >2 mm 团聚体的有机氮、氮含量在各粒级团聚体中最高,但由于该粒级团聚体在土层中所占的比重较低,其对土壤有机碳、氮的贡献率低于其他团聚体。

3 讨论

土壤水稳性团聚体的形成及分解与土壤的有机质组成及含量密切相关<sup>[6-11]</sup>。土壤大团聚体是土壤小团聚体通过胶结物质胶结而形成的。本研究中,随着氮肥施用量的增加,土壤中大团聚体的团聚体比例显著增加,微团聚体含量显著下降。这说明,氮肥施用有助于增加土壤团聚体稳定性。该结

果与 Fonte 等的结果<sup>[12]</sup>不同,其原因可能有作物的生长有关。氮肥的添加促进了作物的生长,进而使较多新鲜有机物及根系分泌物输入到土壤中,使大团聚体合成增加。高会议等也发现,施氮有助于黑垆土大团聚体的形成,并将其原因归结于根茬还田<sup>[6]</sup>。秸秆及氮肥与秸秆配施各处理中,大团聚体含量相较于对照也呈上升趋势,这主要是由于肥料的添加增加了土壤碳氮输入量,刺激土壤微生物的活性而促进了微生物菌丝的生长,同时,秸秆中含有的多糖、蛋白质、木质素及微生物分解有机质产生的有机酸以及合成的土壤腐殖质,这些均增加了土壤的胶结物质,进而促进土壤微团聚体合成大团聚体<sup>[6]</sup>。但不同氮肥与秸秆配施各处理大团聚体含量差异不显著,这说明该地区影响土壤团聚体组成的主要因素并非添加物的量,而是添加物的组成。李捷等研究了 18 年冬小麦、夏玉米长期定位试验中,不同施肥处理对土壤干筛团聚体组成及有机碳含量的影响,也发现不同组分有机物与氮肥配施增加了土壤大团聚体的比例,但不同施肥管理措施之间没差异<sup>[13]</sup>。Fonte 等研究了不同植物残体和氮肥对土壤团聚体的影响,也发现,虽然碳的输入增加了土壤大团聚体的含量,

表 4 各级团聚体碳氮含量对土壤全碳和全氮含量的贡献率

秸秆处理	施氮处理	对全氮贡献率(%)				对有机碳贡献率(%)			
		>2 mm	2~0.25 mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm	<2 mm	2~0.25mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm
S <sub>0</sub>	N <sub>0</sub>	0.98	47.26	45.97	5.79	0.84	37.49	33.28	28.39
	N <sub>1</sub>	2.12	76.13	13.94	7.81	1.84	62.37	10.09	25.70
	N <sub>2</sub>	1.04	90.40	6.62	1.94	0.92	66.70	4.64	27.75
	N <sub>3</sub>	6.45	82.80	7.84	2.91	4.86	55.14	5.00	35.01
S <sub>1</sub>	N <sub>0</sub>	2.40	77.82	5.96	13.83	2.03	58.49	4.32	35.17
	N <sub>1</sub>	2.68	58.62	7.12	31.58	2.85	43.15	6.93	47.08
	N <sub>2</sub>	3.17	70.21	7.59	19.03	3.36	72.36	7.14	17.15
	N <sub>3</sub>	3.20	78.81	12.82	5.17	3.39	73.69	11.39	11.53
S <sub>2</sub>	N <sub>0</sub>	2.10	82.55	9.92	5.42	2.45	77.44	7.98	12.13
	N <sub>1</sub>	4.61	80.96	10.75	3.68	4.67	73.06	8.87	13.40
	N <sub>2</sub>	3.51	78.93	10.83	6.73	3.37	67.20	8.68	20.75
	N <sub>3</sub>	4.96	76.27	11.83	6.94	4.82	68.56	9.87	16.75
S <sub>3</sub>	N <sub>0</sub>	3.56	76.04	9.22	11.18	4.05	75.01	8.46	12.47
	N <sub>1</sub>	8.18	71.00	7.63	13.20	9.36	74.06	7.26	9.32
	N <sub>2</sub>	6.38	70.90	11.49	11.24	6.53	68.85	10.07	14.54
	N <sub>3</sub>	1.94	69.97	9.62	18.47	3.28	64.31	8.28	24.14

注:表中各值均为各处理的平均值。

但不同品质植物残体对土壤团聚体分布无显著影响,且氮肥和不同植物残体配施对团聚体和有机碳分布的影响也不显著<sup>[12]</sup>。除此之外,土壤组成、耕作措施等也会影响土壤团聚体的分布特征。在土壤有机质含量较高、黏粒和氧化铁铝含量较低的土壤中,团聚体的形成主要依靠有机质,而在有机质含量低、黏粒含量较高的土壤中,团聚体的形成主要受黏粒的内聚力、铁铝氧化物的胶结作用的影响<sup>[14-17]</sup>。本研究土壤为下蜀黄土发育的爽水性水稻土,质地较为黏重,因此,不同施肥处理之间团聚体差异不显著。

本试验中,随着团聚体粒级的增大,团聚体碳含量逐渐增加,这说明土壤团聚体的形成与土壤有机碳含量密切相关。未施肥处理,微团聚体(0.25~0.053 mm 及<0.053 mm 团聚体)对土壤的贡献率高于大团聚体,但施用肥料后,土壤团聚体对土壤有机碳的贡献率则主要集中在大团聚体(2~0.25 mm),这说明,施用肥料改变了土壤有机碳在团聚体中的分布,导致土壤固碳潜力发生变化。大团聚体比微团聚体周转快,不利于有机碳的保持。但大团聚体增加,能够提高土壤对有机质的固定作用,进而促进微团聚体的形成,因此,氮肥与秸秆配施增加了大团聚体对全氮、全碳的贡献率,从长远角度来看,更利于氮的保持和氮肥利用率的提高。不同氮肥与秸秆配施,对土壤团聚体碳含量的影响不显著,这说明该地区不同的氮肥及秸秆配比并非影响团聚体碳分布的主要因素。这可能是由于,肥料、秸秆的施用使土壤 C、N 含量增加,并显著高于微生物对碳氮的需要,导致不同处理之间差异不显著。也可能与本试验的测定形态有关。本研究中团聚体氮与团聚体碳表现出同样的变化趋势,这一方面与土壤有机碳的变化有关,另一方面,由于有机肥的添加导致土壤微团聚体氮的淋溶损失增加。

4 结论

通过长达 5 年的定位试验研究发现,长期施用氮肥、秸秆及氮肥与秸秆配施均能明显改善土壤物理结构,提高大团聚体的含量。同时,又可增加土壤全氮、全碳在大团聚体中的含

量及分配比例,对改良土壤结构,提高氮肥利用率,减少氮肥损失具有积极意义;但不同氮肥与秸秆配施对团聚体碳、氮分布的影响并不显著,这可能与测定的全氮、全碳形态有关。本研究中,仅测定了土壤全氮、全碳,而未区分其形态,下一步研究需测定不同粒级团聚体中碳、氮形态,以进一步确定不同氮肥与不同秸秆配施对土壤不同粒级碳、氮的影响。

参考文献:

[1] 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1992.

[2] 卢金伟,李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002,9(1):81-85.

[3] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils[J]. Soil Science Society of America Journal,1986,50(3):627-633.

[4] Six J, Conant R T, Paul E A, et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C - saturation of soils: review [J]. Plant and Soil,2002,241(2):155-176.

[5] Six J, Paustian K, Elliott E T, et al. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate - size classes and aggregate - associated carbon[J]. Soil Science Society of America Journal,2000,64(2):681-689.

[6] 高会议,郭胜利,刘文兆,等. 不同施肥处理对黑垆土各粒级团聚体中有机碳含量分布的影响[J]. 土壤学报,2010,47(5):931-938.

[7] 冷延慧,汪景宽,薛菁芳. 连续施肥 20 年后棕壤团聚体分布和碳储量变化[J]. 土壤通报,2008,39(4):743-747.

[8] 安婷婷,汪景宽,李双异. 施肥对棕壤团聚体组成及团聚体中有机碳分布的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2007,38(3):407-409.

[9] 袁颖红,李辉信,黄欠如,等. 不同施肥处理对红壤性水稻土微团聚体有机碳汇的影响[J]. 生态学报,2004,24(12):2961-2966.

[10] 陈晓芳,李忠佩,刘明,等. 不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳、氮分布和微生物生物量的影响[J]. 中国农业科学, 2013,46(5):950-960.

原野,师学义,牛姝烨,等.煤炭基地村庄土壤重金属分布规律及来源分析[J].江苏农业科学,2015,43(5):314-317.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.05.103

# 煤炭基地村庄土壤重金属分布规律及来源分析

原野,师学义,牛姝烨,张琛

(中国地质大学(北京)土地科学技术学院,北京 100083)

**摘要:**运用多元统计和地统计等方法,分析了山西省晋城市泽州县巴公镇西部村 23 个土样的重金属含量特征、分布规律及来源。结果表明:西部村 7 种重金属含量均未超过国家土壤环境质量二级标准。Cd、Cr 含量没有超过山西省土壤背景值,而 Hg、As、Pb、Cu、Zn 含量同山西省土壤背景值相比有不同程度超标。相关系数分析、因子分析结果表明,西部村土壤重金属来源主要有 3 种:As-Cd-Cr 主要来源于农业活动,Pb-Cu-Zn 来源于居民生活和工业生产活动,Hg 来源具有多样性。

**关键词:**煤炭基地;重金属;分布;来源

**中图分类号:** S151.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)05-0314-04

黄土高原是我国重要的能源基地,近年来黄土高原煤炭基地范围内,由于被压占煤炭资源的开发、人口城镇化、新农村建设,以及土地塌陷、水资源枯竭、生态环境恶化等灾害性问题,有大量村庄土地被废弃,仅山西省晋城市就有此类可复垦土地 4 900 hm<sup>2</sup>。村庄土地的复垦整理已成为该地区土地综合整治的重要内容之一<sup>[1]</sup>。研究煤炭基地村庄待复垦区土壤重金属具有现实意义,是进行煤炭基地村庄复垦土壤重构的基础之一。

土壤重金属污染具有多种潜在危害,会破坏土壤的正常功能,阻碍作物正常生长,造成农作物体内重金属积累,进而通过食物链危害人类身体健康,也可导致大气和水环境质量的恶化。目前对不同区域不同尺度下土壤重金属进行研究,主要集中于重金属累积特征描述、含量空间分异分析、污染评价及来源分析<sup>[2-5]</sup>等领域。但是对于煤炭基地待复垦村庄土壤重金属研究很少。

收稿日期:2014-11-25

基金项目:公益性行业(国土资源)科研专项(编号:201111015-04)。

作者简介:原野(1989—),男,山西晋城人,硕士研究生,主要研究方向为土地资源评价与利用规划。E-mail: 1054943649@qq.com。

通信作者:师学义,博士,教授,主要研究方向为土地利用规划与整理复垦开发。E-mail: shixueyi60@163.com。

山西省晋城市泽州县巴公镇西部村位于山西煤炭运销集团永丰煤业有限公司开采区范围内,煤炭开采历史较早,现村庄范围内煤炭资源储量约 300 万 t。村庄现有人口 2 430 人,土地总面积为 35.71 hm<sup>2</sup>,大部分为农村居民点用地。居民点布局相对分散,居住环境恶劣,群众生产生活不便,村庄压占大量煤炭资源,亟待进行整村搬迁改造。本研究测定了西部村村庄 23 个点土壤 7 种重金属含量,借助 ArcGis 软件对土壤重金属进行空间插值来揭示其分布规律,并用相关系数法与因子分析法分析重金属来源,以期对村庄土地复垦整理中土壤重构提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于山西省泽州县巴公镇西部村(112°51′38″~112°52′09″E,35°40′01″~35°40′39″N),地势呈东西北高,中部、南部低的簸箕状,海拔高度在 750~850 m 之间,属暖温带大陆性季风气候区,年平均气温为 11.5℃,年降水量 600~680 mm。土壤属褐土地带,土层深厚,土壤熟化度较高,土质偏黏,土体干旱,土壤养分总体上比较低,地质构造复杂,母质为太行山石灰岩风化冲积物,陡坡地由石灰岩构成,缓坡处以砂岩、黄色钙质岩为主,土类以褐土为主。研究区面积 34.55 hm<sup>2</sup>,周围分布有西部煤矿、铸铁厂、水渣厂和瓦厂(图 1)。

### 1.2 土壤样品采集方法

根据西部村当地实际情况,在宅基地范围内采用均匀采样 319-329。

[11]何淑勤,郑子成.不同土地利用方式下土壤团聚体的分布及其有机碳含量的变化[J].水土保持通报,2010,30(1):7-10.

[12]Fonte S J, Yeboah E, Ofori P, et al. Fertilizer and residue quality effects on organic matter stabilization in soil aggregates[J]. Soil Science Society of America Journal, 2009, 73(3): 961-966.

[13]李婕,黎青慧,李平儒,等.长期有机肥施用、秸秆还田对壤土团聚体及其有机碳含量的影响[J].土壤通报,2012,43(6):1456-1460.

[14]Arduino E, Barberis E, Boero V. Iron oxides and particle aggregation in B horizons of some Italian soils[J]. Geoderma, 1989, 45(3/4):

319-329.

[15]Churchman G J, Tate K R. Aggregation of clay in different types of New Ireland soils[J]. Geoderma, 1986, 37(3): 207-220.

[16]Bossuyt H, Denef K, Six J, et al. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability[J]. Applied Soil Ecology, 2001, 16(3): 195-208.

[17]Gentile R, Vanlauwe B, Kavoo A, et al. Residue quality and N fertilizer do not influence aggregate stabilization of C and N in two tropical soils with contrasting texture[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 88(1): 121-131.