

# 增温条件下不同土壤粒级有机碳和全氮的分布

徐 昕, 马伟胜, 代静玉, 黄兆琴, 程德义, 杜 超

(南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

**摘 要:** [目的] 分析气温上升后土壤养分的变化情况, 为今后应对全球变暖提供数据支持。[方法] 以中国华北平原的耕地褐土为材料, 采用沉降虹吸法, 研究在增温条件下土壤 3 个粒级有机无机复合体组成以及有机碳和全氮的变化情况。[结果] 土壤有机无机复合体分布在增温条件下没有明显变化。有机碳含量增加而全氮含量降低。从不同粒级来看, 3 种粒级的有机碳含量都有增加, 而全氮含量在个别小粒级会有所增加而砂粒的全氮含量变化不明显。土壤碳氮比比较稳定。有机碳分配有往大粒级转移的趋势, 而全氮分布未表现出明显规律。[结论] 增温在一定程度上加速有机质分解使得土壤有机碳含量上升, 在较小粒级上更加明显。而全氮含量因为反矿化等作用会出现下降, 但是相比对照组有增长。

**关键词:** 土壤粒级; 有机碳; 全氮; 增温

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)05-0077-06

中图分类号: S152.3

**文献参数:** 徐昕, 马伟胜, 代静玉, 等. 增温条件下不同土壤粒级有机碳和全氮的分布[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 77-82. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.013. Xu Xin, Ma Weisheng, Dai Jingyu, et al. Distribution of organic carbon and total nitrogen in different soil grain under temperature increase[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 77-82.

## Distribution of Organic Carbon and Total Nitrogen in Different Soil Grain Under Temperature Increase

XU Xin, MA Weisheng, DAI Jingyu, HUANG Zhaoqin, CHENG Deyi, DU Chao

(College of Resource and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

**Abstract:** [Objective] To analyze the changes of soil nutrients after temperature increase, in order to provide data support for responses to global warming in the future. [Methods] The brown soil of cultivated land in North China plain was taken as study material. Sedimentation Siphon method was used to study the composition of three granular organic-inorganic complexes and the variation of organic carbon and total nitrogen in soil under increasing temperature. [Results] The distribution of soil organic and inorganic complexes showed no significantly change under the condition of increasing temperature. Organic carbon content increased while total nitrogen content decreased. In terms of different grain levels, the content of organic carbon in all three grain grades increased, while the content of total nitrogen only increased in some small soil grain. No significant change was found in the content of total nitrogen in sand grains. The soil carbon nitrogen ratio was relatively stable. The distribution of organic carbon tended to shift to large grain size, while the distribution of total nitrogen showed no obvious pattern. [Conclusion] Temperature increase accelerated the decomposition of organic matter, and increased the content of soil organic carbon, especially in smaller grain size. In contrast, the total nitrogen content decreased as a result of anti-mineralization, but it showed a relative increase trend compared with the control group.

**Keywords:** soil grain size; organic carbon; total nitrogen; temperature increase

当前因为温室气体的排放, 全球碳循环失衡等原因, 导致全球气候变暖日益加剧。土壤庞大的有机碳

库存约占陆地总碳库的 2/3~3/4, 在全球碳循环过程中有重要作用<sup>[1-2]</sup>。土壤理化性质、农业耕作措施

收稿日期: 2018-05-21

修回日期: 2018-05-26

资助项目: 江苏省高校自然科学研究面上项目“生物质炭对土壤腐殖物质的组成、结构及环境效应的影响”(15KJB610002)

第一作者: 徐昕(1992—), 男(汉族), 安徽省马鞍山市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤污染修复。E-mail: 2015103029@njau.edu.cn.

通讯作者: 代静玉(1965—), 男(汉族), 吉林省延吉市人, 博士生导师, 教授, 主要从事环境保护学、土壤化学研究。E-mail: daijy@njau.edu.cn.

和环境因子等诸多措施都对土壤矿化产生影响,其中温度是关键因素之一<sup>[3]</sup>。气温的升高将对土壤中有有机碳和全氮的含量产生影响<sup>[4-7]</sup>。而土壤中有有机质含量的变化也必然导致农作物养分吸收产生变化。因为土壤是由不同粒级的颗粒构成,不同粒级的土壤颗粒其吸附力和粘着性不同,从而导致不同类型土壤对有机物吸附的差异。对土壤不同粒级的有机碳和全氮的分析可发现,土壤中有有机质和全氮的含量与粉粒和黏粒的含量呈显著正相关而与砂粒的含量呈显著负相关<sup>[8-10]</sup>。还有研究表明<sup>[11]</sup>,土壤不同粒径对氮磷钾的分配和时效性也有所不同。Robertson 等<sup>[12]</sup>还发现火烧过的区域上氮的矿化、硝化与反硝化作用明显升高,这可能与土壤表层温度增加有关。综上所述,本文拟采用不同增温处理的褐土进行各粒级碳氮分布的研究,了解土壤各粒级有机质的分布和温度变化条件下有机质分布变化情况,以期揭示土壤肥力本质、使用合理的施肥措施,应对气候变暖。

## 1 研究地区和研究方法

### 1.1 研究区概况

试验地点在中国气象局河北省定兴县固城镇农业气象站(39°08'N,115°40'E),该地区年均气温 11.7 ℃,年平均降雨量 551.5 mm,属于中国冬小麦主产区黄淮海区北区,该地区主要农作物为冬小麦和夏玉米,土壤为典型褐土,多数土壤质地较轻,全县耕地土壤的土质多数为轻壤和中壤质<sup>[13]</sup>。

### 1.2 研究方法

试验设 20 kg 播种量正常温度对照、夜间增温、昼夜增温、晚 15 d 播种和晚 15 d 播种并进行夜间增温共 5 个处理,各个处理都采用正常施肥。每个处理 4 个重复,增温处理冠层气温较对照平均增温 2.5 ℃,每个试验小区的大小为 2 m×4 m,不同处理和对照之间有一个样区隔离。增温从小麦起身开始,到小麦收割结束。试验选择当地普遍种植的小麦品种超优-626(冬性)。采用红外线辐射器(infrared radiators)

作为增温装置。该装置是通过悬挂在样地上方,以散发红外线辐射的灯管来实现环境增温。

播种前对 5 种不同处理所对应的地块进行土壤样品的采集,采集深度为 0—20 cm 的耕作层。在小麦成熟收割完毕后,以同样的方法进行样品采集。样品烘干后,过 2 mm 筛,放在干燥处备用。

取 10 g 烘干土样,用去离子水浸泡过夜,去除可见杂质,使用频率为 40 kHz,功率 200 W 的超声波清洗机分散土壤颗粒,制备悬浮液放入 1 L 的高型烧杯中,根据 Stokes 定律,利用不同粒径的土壤颗粒在静水中沉降速率的不同,采用虹吸法分别提取出黏粒(<2 μm)、粉粒(2~20 μm)、砂粒(>20 μm)(国际制)。经过离心和低温烘干后,称重最后计算出各粒级质量百分比并测定各粒级的有机碳和全氮。

### 1.3 分析方法

pH 值采用 pH 计测定(水土比 3:1);机械组成采用吸管法测定;土壤有机碳的测定采用重铬酸钾容量法—外加热法;土壤全氮测定采用半微量开氏法;土壤速效磷测定采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 法;有效钾测定采用冷的 2 mol/L HNO<sub>3</sub> 溶液浸提—火焰光度法。

### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 及 SPSS 19.0 统计分析软件进行数据处理和显著性差异检验,并用 Microsoft Excel 2007 软件进行绘图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同粒级土壤有机无机复合体的分布

本文仅选取 0—20 cm 耕层的土壤为研究对象。排除对照组和迟播组,由表 1 中可以看出,经过增温处理的土壤,砂粒处理前平均质量百分比为 56.1%,处理后平均百分比达到 56.7%,远高于处理前后的粉粒和黏粒。其中含量最低的黏粒,处理前后平均分别只占 20.8%和 19.7%,而粉粒处理前后平均含量为 23.0%和 23.3%。从研究对象土壤的有机无机复合体组成可以看出该土壤质地较轻。

表 1 不同处理下土壤有机无机复合体组成

| 粒级 | 质量百分比/% |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|----|---------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
|    | CK      |      | 昼夜增温 |      | 夜间增温 |      | 迟播   |      | 迟播+夜增 |      |
|    | 处理前     | 处理后  | 处理前  | 处理后  | 处理前  | 处理后  | 处理前  | 处理后  | 处理前   | 处理后  |
| 黏粒 | 19.0    | 19.1 | 21.5 | 21.2 | 20.4 | 18.7 | 20.2 | 18.7 | 20.6  | 19.2 |
| 粉粒 | 24.5    | 24.8 | 22.8 | 23.8 | 23.9 | 23.2 | 23.1 | 22.5 | 22.3  | 22.9 |
| 砂粒 | 56.5    | 56.1 | 55.7 | 55.1 | 55.6 | 58.1 | 56.7 | 58.8 | 57.1  | 57.0 |

再从不同处理下各粒级颗粒前后对比可以看出,处理后的黏粒质量百分比普遍减少,粉粒和砂粒的质量百分比普遍增大,说明土壤表层中黏粒减少而粉粒砂粒增多。可能是由于浇灌和复种指数,土壤表层的水分移动频繁,导致表层 $<2\ \mu\text{m}$ 的土壤复合体流失或者往下部土层迁移,使得表层黏粒复合体含量下降<sup>[14]</sup>或试验误差两方面原因。

## 2.2 土壤颗粒的有机碳和全氮分布

2.2.1 整体有机碳和全氮的变化 表 2 为土壤颗粒有机碳和全氮的变化,从表 2 来看,各个处理下的土壤整体有机碳含量都有所上升,处理前平均有机碳含量是 13.54 g/kg,处理后平均含量是 13.79 g/kg,平均上升了 0.25 g/kg,可见温度的增加一定程度上导致研究对象有机碳增加,但增加幅度很小。

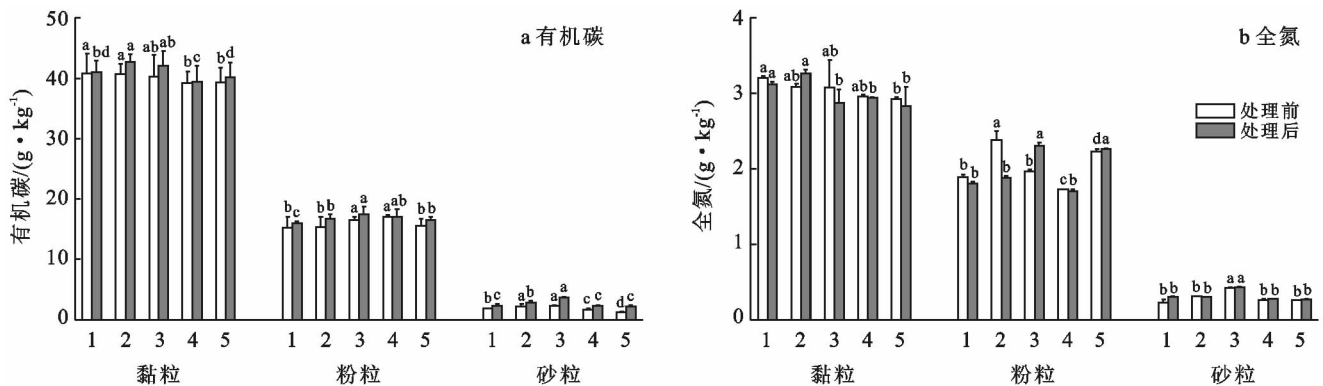
表 2 土壤基本理化性质

| 处理方法    | 有机碳/(g·kg <sup>-1</sup> ) |       | 全 N/(g·kg <sup>-1</sup> ) |      | 有效 P/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |       | 有效 K/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |        | pH 值 |      |
|---------|---------------------------|-------|---------------------------|------|-----------------------------|-------|-----------------------------|--------|------|------|
|         | 处理前                       | 处理后   | 处理前                       | 处理后  | 处理前                         | 处理后   | 处理前                         | 处理后    | 处理前  | 处理后  |
| CK      | 13.43                     | 13.47 | 0.93                      | 0.83 | 76.17                       | 49.77 | 132.54                      | 109.67 | 6.60 | 6.50 |
| 昼夜增温    | 13.62                     | 14.16 | 0.98                      | 0.97 | 74.06                       | 52.93 | 133.87                      | 110.99 | 6.80 | 6.80 |
| 夜间增温    | 13.43                     | 13.96 | 1.00                      | 0.96 | 46.78                       | 26.31 | 145.12                      | 125.83 | 6.60 | 6.50 |
| 迟播 15 d | 13.66                     | 13.71 | 0.86                      | 0.84 | 38.11                       | 52.00 | 156.00                      | 114.11 | 6.60 | 6.70 |
| 迟播+夜增   | 13.65                     | 13.76 | 1.04                      | 0.97 | 52.51                       | 48.56 | 147.50                      | 112.79 | 6.70 | 6.60 |

增温处理前全氮的平均含量是 1.01 g/kg,处理后平均含量是 0.97 g/kg,增温后相较于增温前全土壤全氮的含量下降了 0.04 g/kg,昼夜增温组和夜间增温组与 CK 组对比发现全氮的损失相对较大,迟播+夜间增温组相比迟播组全氮减少量也偏小,所以适当的增温会减少土壤全氮的损失。

2.2.2 各粒级有机碳和全氮的变化 首先,粒级越小,有机碳的含量越高。从图 1a 可以明显看出黏粒的有机碳含量远高于粉粒和砂粒。3 组增温处理中,昼夜增温组黏粒的有机碳含量增长最多,为 2.10 g/kg,其次为夜间增温组的 1.68 g/kg,最后是迟播+夜间增

温组的 0.75 g/kg。对照组和迟播组方面,也分别增加了 0.16,0.30 g/kg,增长量相比增温处理小很多。昼夜增温组和夜间增温组在粉粒上的有机碳增加量相比黏粒粒级要小。砂粒方面,包括对照组和迟播组在内的所有处理组中,有机碳含量都得到了较大的增长,增长量最大的夜间增温组达到 1.49 g/kg,几乎与其粉粒有机碳增长量持平。但是由于砂粒的颗粒直径较大,造成吸附有机质的能力较弱,且被吸附的有机质大量暴露在空气中,容易被微生物利用分解,造成有机质含量的不稳定<sup>[15]</sup>。这些原因都会引起样品的测定结果产生波动。



注:横坐标中 1 为 CK; 2 为昼夜增温; 3 为夜间增温; 4 为迟播; 5 为迟播+夜增。

图 1 不同处理下各粒级有机碳和全氮分布

土壤全氮在各粒级的分布的规律与有机碳类似(图 1b)。随着粒级的变小,全氮含量大幅上升。这说明氮素更容易在较小颗粒上富集。处理前,土壤平均全氮含量由高到低分别是黏粒 3.05 g/kg,粉粒 2.04 g/kg,砂粒 0.30 g/kg,处理后,土壤平均全氮含

量由高到低分别是黏粒 3.00 g/kg,粉粒 1.99 g/kg,砂粒 0.32 g/kg。可以发现,粒级较小的黏粒和粉粒在处理后全氮量有减小的趋势,而粒级较大的砂粒全氮量反而有所增加。从增温前后来看,黏粒方面,昼夜增温后全氮增加了 0.17 g/kg,夜间增温后则减少

了 0.2 g/kg, 对比 CK 组减少 0.08 g/kg, 昼夜增温使氮素产生了一定的增加而夜间增温则相反。同样的, 迟播+夜间增温组的全氮含量对比迟播组下降的更多。粉粒中, 昼夜增温组的全氮量下降了 0.50 g/kg, 夜间增温则上升 0.33 g/kg, 对比 CK 下降 0.08 g/kg, 昼夜增温使氮素产生一定下降而夜间增温则相反, 这与黏粒的变化情况有所不同。迟播+夜间增温组的

全氮含量比迟播组有所上升; 砂粒来看, 除去 CK 组, 其余 4 组处理前后下的全氮含量基本持平, 温度变化对砂粒的全氮含量几乎不产生影响。

2.2.3 各粒级有机碳和全氮的比重 将土壤每种粒级有机碳和全氮的含量对比土壤整体有机碳和全氮含量, 得出各粒级有机碳和全氮占总含量的比重(图 2)。

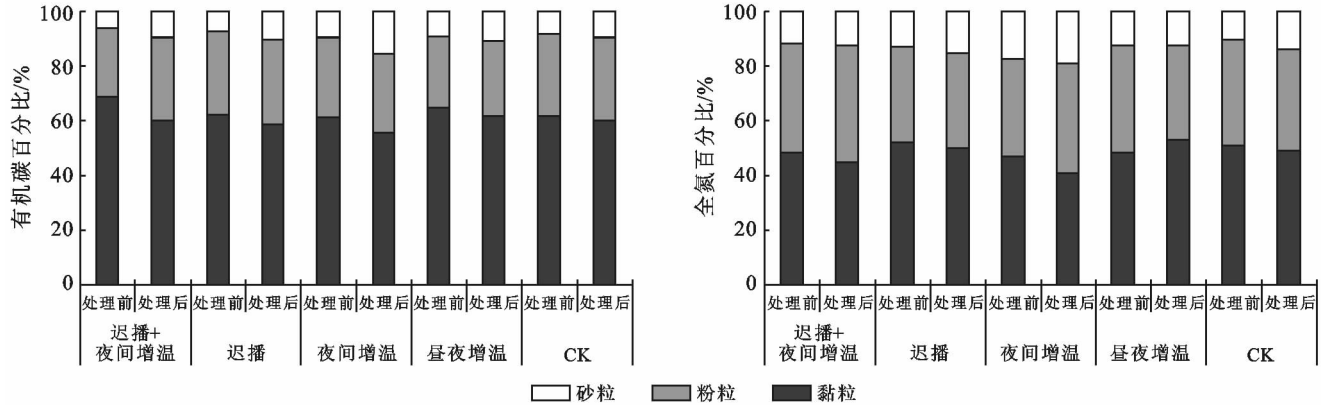


图 2 不同处理下各粒级有机碳和全氮所占的比重

图 2 中可以看出, 虽然黏粒在土壤 3 种粒级的质量百分比最低, 但因为其吸附有机质的能力最强, 所以黏粒有机碳占总有机碳的比重最大, 大约是粉粒所占的 2.5 倍, 砂粒的 6 倍。再从处理前后对比来看, 黏粒有机碳比重无论是在增温处理组还是对照组和迟播组均出现了一定的下降, 原因之一是粉粒有机碳和砂粒有机碳比重出现了一定程度的上升。一种粒级有机碳占总有机碳比重除了其自身所含有有机碳的量之外还和其颗粒在土壤中的质量百分比有直接关系, 所以尽管黏粒有机碳含量最多, 但因为其较低的质量百分比, 所以仍然在总有机碳占比中出现了下降的情况。而相较于黏粒, 砂粒在各个处理组中, 总有机碳占比都有上升的现象, 这得益于它本身有机碳含量的增加和较大的质量百分比。粉粒方面, CK 组、昼夜增温组和迟播+夜间增温组的比重增大。在夜间增温和迟播两组中有机碳占比虽然有所下降, 但是相应的, 这两组处理中砂粒的有机碳比重提升最大。

与有机碳占总有机碳的百分比规律类似, 土壤中各粒级全氮的含量占总全氮的比值依旧是: 黏粒 > 粉粒 > 砂粒。从处理前后对比来看, 昼夜增温使黏粒全氮含量占总全氮的比值上升了 4.84%。夜间增温组和迟播+夜间增温组的粉粒全氮含量占比则分别上升了 5.04% 和 2.73%。

砂粒中全氮的占比处理前后几乎没有变化。从上述比例的变化不难看出, 适当的增温会使土壤中较小粒级的全氮含量增加, 但是从总体上看还是呈现下降趋势。

2.2.4 不同处理下各粒级碳氮比 由表 3 可知, 大多数粒级碳氮比比较稳定, 少部分有增大的情况。主要原因是有机碳含量的增加和全氮含量的相对降低。土壤的有机碳越多, 则它的微生物生物量碳越高, 也就是土壤微生物群体量越大<sup>[16]</sup>。碳氮比为 10, 15 的时候, 土壤氮素有较高的生物利用率<sup>[17]</sup>, 说明此时的土壤环境较适合微生物的活动。

表 3 不同处理下各粒级碳氮比

| 粒级 | 碳氮比 C/N |        |        |        |        |        |         |        |         |        |
|----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|
|    | CK      |        | 昼夜增温   |        | 夜间增温   |        | 迟播 15 d |        | 迟播+夜间增温 |        |
|    | 处理前     | 处理后    | 处理前    | 处理后    | 处理前    | 处理后    | 处理前     | 处理后    | 处理前     | 处理后    |
| 黏粒 | 13 : 1  | 13 : 1 | 13 : 1 | 13 : 1 | 13 : 1 | 15 : 1 | 13 : 1  | 13 : 1 | 13 : 1  | 14 : 1 |
| 粉粒 | 8 : 1   | 9 : 1  | 5 : 1  | 9 : 1  | 8 : 1  | 8 : 1  | 10 : 1  | 10 : 1 | 7 : 1   | 7 : 1  |
| 砂粒 | 8 : 1   | 8 : 1  | 7 : 1  | 10 : 1 | 5 : 1  | 9 : 1  | 6 : 1   | 8 : 1  | 8 : 1   | 8 : 1  |

2.2.5 不同处理与有机碳和全氮变化的关系 由表 4 说明,除去砂粒,尽管各处理组的黏粒和粉粒含量相比处理前都有一定程度增加,但是相关性来看依然不显著( $p>0.05$ ),这也就表示短期内温度的提升对黏粒和

粉粒两种粒级有机碳的含量影响不大。再看砂粒,夜间增温和迟播+夜间增温两组相较于 CK 组出现了显著的变化( $p<0.05$ ),这可能是由于秸秆还田后该粒级恰巧吸附了含 C 量较高的物质或者试验的误差所致。

表 4 不同处理与各粒级土壤碳氮变化的关系

g/kg

| 处理方式  | 有机碳                    |                         |                        | 全氮                      |                         |                         |
|-------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|       | 黏粒                     | 粉粒                      | 砂粒                     | 黏粒                      | 粉粒                      | 砂粒                      |
| CK    | 0.16±3.08 <sup>a</sup> | 0.69±1.29 <sup>ab</sup> | 0.39±0.29 <sup>c</sup> | -0.08±0.04 <sup>b</sup> | -0.08±0.04 <sup>c</sup> | 0.07±0.03 <sup>b</sup>  |
| 昼夜增温  | 2.10±1.90 <sup>a</sup> | 1.27±1.54 <sup>a</sup>  | 0.69±0.46 <sup>c</sup> | 0.17±0.06 <sup>a</sup>  | -0.50±0.10 <sup>d</sup> | -0.01±0.00 <sup>c</sup> |
| 夜间增温  | 1.68±3.76 <sup>a</sup> | 0.91±1.17 <sup>ab</sup> | 1.49±0.19 <sup>a</sup> | -0.20±0.36 <sup>c</sup> | 0.33±0.04 <sup>b</sup>  | 0.01±0.02 <sup>c</sup>  |
| 迟播    | 0.30±2.78 <sup>a</sup> | 0.00±1.11 <sup>b</sup>  | 0.64±0.25 <sup>c</sup> | -0.02±0.02 <sup>b</sup> | -0.03±0.03 <sup>c</sup> | 0.02±0.01 <sup>c</sup>  |
| 迟播+夜增 | 0.75±3.06 <sup>a</sup> | 0.99±1.19 <sup>ab</sup> | 0.88±0.27 <sup>b</sup> | -0.09±0.23 <sup>b</sup> | 0.99±0.03 <sup>a</sup>  | 0.88±0.01 <sup>bc</sup> |

注:数据为不同处理下土壤各粒级碳氮含量前后差值±标准差,数据后不同字母表示同一列数据在 0.05 水平上差异显著。

温度变化主要在两方面影响土壤碳循环的过程:一是影响植物生产速率和凋落速率;二是影响微生物活性从而改变表层凋落物和土壤有机碳的分解速率<sup>[18]</sup>。即土壤有机碳含量主要取决于其原有有机质的分解,以及外源有机碳的加入,如植物凋落物和根系分泌物的分解、人为施加的有机肥料等,在输入和降解中有机碳含量得以维持平衡。熊德成等<sup>[19]</sup>研究发现植物在遭受根际高温胁迫时会分泌一些特定的物质以有利于地域环境的变化如一些脱落酸,氨基酸以及酚酸类物质,这在一定程度上增加了土壤的外源有机碳。温度和外源有机质的进入影响土壤矿化速率<sup>[20-23]</sup>,有机质进入土壤后既有可能加速有机碳矿化产生正激发效应;也可能抑制矿化,产生负激发效应。一般认为新鲜有机碳的加入为微生物提供了能量和营养元素,提高了微生物活性,从而加速了有机物的分解和矿化<sup>[24]</sup>。所以虽然数据中表明各个粒级有机碳含量有一定增长,但是短期内温度的增加对土壤有机碳的影响不显著。说明了土壤有机碳的含量始终处于一种循环平衡的状态。至于表 3 反映的增温后有机碳的分布有向大颗粒转移的趋势,主要原因是土壤耕作导致的表层黏粒流失以及作物产生的大量粗有机体主要集中在较大的有机无机复合体内<sup>[25]</sup>。

温度对全氮的影响相比有机碳要明显。黏粒上,昼夜增温和夜间增温对比 CK 组产生了显著影响,迟播+夜间增温组对比迟播影响不明显;粉粒上,昼夜增温组和夜间增温组对比 CK 组,迟播+夜间增温组对比迟播组,都有了显著影响;砂粒的影响则较小。

土壤全氮包含有机氮、矿质氮和土壤固定态氮,其中 90% 以上是有机氮<sup>[26]</sup>。它的含量变化取决于氮素输入输出的相对大小<sup>[27]</sup>。氮素的输入依赖于植物残体归还量、生物固氮和大气沉降<sup>[28]</sup>。氮素的输出则

是因为分解和侵蚀两方面,其受到各种生物和非生物因素的控制<sup>[29]</sup>。Sims<sup>[30]</sup>研究发现,在 0~40 °C 范围内,土壤氮累计速率和矿化速率均随着培养温度的升高而增加。

适当的增温,增加了土壤微生物的活性,通过硝化作用和固氮作用增加土壤中氮素的含量。但同时进行的反硝化作用又将硝酸盐还原成氮气,降低了土壤中氮素含量。所以全氮含量时刻处于这种动态平衡之下,总体上看增温后土壤全氮含量虽然下降,但是增温后的含量大于不增温的对照组。因为黏粒和粉粒具备更强的吸附性,所以短期增温所产生的氮素累计大部分附着在较小颗粒下,且因为这部分颗粒有结合紧密和与空气接触少等特点,难以被分解利用,这就导致增温处理后部分全氮含量和占总全氮的比值上升。砂粒因其较低的吸附性和易被氧化等特点,全氮的分布不具有很强的规律性。

2.2.6 有机碳和全氮的变化 增温下土壤有机碳的增长量是:黏粒>粉粒>砂粒,且昼夜增温的增长量比夜间增温增长量大。全氮含量除少部分粒级外会有所下降,但是相比对照组均有相对增长,增长量规律与有机碳一致。迟播组和迟播+夜间增温组的变化规律与普通对照组和增温组的规律一致。上述现象说明土壤粒级越小,有机碳和全氮更容易受温度变化影响,并且增温时间越长,影响越明显。全氮对比有机碳对增温更加敏感,也就是温度因素对全氮含量影响更大。

### 3 结论

(1) 经过增温处理后土壤表层黏粒质量分数平均下降 0.96%,粉粒和砂粒平均分别上升 0.12% 和 0.7%,有机碳含量平均增加了 1.27 g/kg,全氮含量

平均降低 0.05 g/kg。

(2) 3 种粒级的有机碳含量均有上升。全氮在绝大部分粒级含量则呈现下降,但是与对照组相比依然有增长。碳氮比比较稳定。增温后黏粒有机碳占总有机碳比重下降,有机碳有往大颗粒转移的趋势。同时黏粒、粉粒全氮占总全氮的比重增大。上述现象与各粒级所含有有机质的量和各个粒级占总质量百分比两方面的变化有关。

(3) 短期增温与各土壤粒级有机碳增长普遍相关性不显著,但是能对黏粒和粉粒 2 个粒级的全氮分布产生比较显著影响( $p < 0.05$ )。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 曹丽花,刘合满,杨东升. 农田土壤固碳潜力的影响因素及其调控(综述)[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 16-20.
- [2] Jenkinson D S, Adams D E, Wild A. Model estimates of CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to global warming [J]. Nature, 1991, 351(6324): 304-306.
- [3] 贾宇平,侯志华,安祥生. 土地利用变化对土壤有机碳、全氮的影响:以右玉县牛心堡乡为例[J]. 山西农业科学, 2016, 44(11): 1648-1652.
- [4] 邬建红,潘剑君,葛序娟,等. 不同土地利用方式下土壤有机碳矿化及其温度敏感性[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 130-135.
- [5] 宋卓然,李兆磊,陈学萍,等. 土壤有机碳分解温度敏感性及其形成机理研究[J]. 复旦学报:自然科学版, 2016, 55(2): 257-266.
- [6] 马昕昕. 温度对太谷县农田土壤有机碳矿化的影响[J]. 山西农业科学, 2017, 45(5): 769-772.
- [7] 陈健,王艺杰,胡正华,等. 增温和降水减少对冬小麦和大豆生长季土壤氮素的影响[J]. 生态环境学报, 2017, 26(7): 1107-1113.
- [8] 安国英,牛三义,陈玉娥,等. 土壤有机质全氮与机械组成之间关系的探讨[J]. 河北林业科技, 1993(3): 46-48.
- [9] 于君宝,刘景双,刘淑霞,等. 不同开垦年限黑土耕层有机无机复合体变化及有机碳组分分布特征[J]. 农业系统科学与综合研究, 2004, 20(3): 224-228.
- [10] 朱静华,周艺敏,景海春,等. 天津地区土壤机械组成与土壤养分状况相关关系的探讨[J]. 天津农业科学, 1994(1): 1-3.
- [11] 王岩,沈其荣,杨振明. 土壤不同粒级中 C, N, P, K 的分配及 N 的有效性研究[J]. 土壤学报, 2000, 37(1): 85-94.
- [12] Robertson G P, Hutson M A, Evans F C, et al. Spatial variability in a successional plant community: Patterns of nitrogen availability[J]. Ecology, 2008, 69(5): 1517-1524.
- [13] 秦亚楠. 定兴县土壤养分时空格局演变规律及作物分区施肥研究[D]. 石家庄:河北农业大学, 2014.
- [14] 朱洁,慈恩,杨林章,等. 不同区域稻田土壤复合体有机碳分配及  $\delta^{13}\text{C}$  特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 173-176.
- [15] 庞祥锋,宇万太,苏壮,等. 下辽河平原潮棕壤不同粒级碳和氮分布研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 77-81.
- [16] 张春霞,郝明德,魏孝荣,等. 不同农田生态系统土壤微生物生物量碳的变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 81-83.
- [17] 王利利,董民,张璐,等. 不同碳氮比有机肥对有机农业土壤微生物生物量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1073-1077.
- [18] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积[M]. 北京:气象出版社, 2003.
- [19] 熊德成,黄锦学,杨智杰,等. 增温对杉木幼树细根分泌物的影响研究初报[J]. 亚热带资源与环境学报, 2016, 11(4): 85-88, 92.
- [20] 陈春梅,谢祖彬,朱建国. 土壤有机碳激发效应研究进展[J]. 土壤, 2006, 38(4): 359-365.
- [21] 黄文昭,赵秀兰,朱建国,等. 土壤碳库激发效应研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 149-154.
- [22] Zak D R, Holmes W E, Macdonald N W, et al. Soil temperature, matric potential, and the kinetics of microbial respiration and nitrogen mineralization[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(3): 575-584.
- [23] Fang Changming, Smith P, Moncrieff J B, et al. Corrigendum: Similar response of labile and resistant soil organic matter pools to changes in temperature[J]. Nature, 2005, 433(7021): 57-59.
- [24] 袁淑芬,汪思龙,张伟东. 外源有机碳和温度对土壤有机碳分解的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(4): 916-922.
- [25] 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.
- [26] 徐明岗. 陕西土壤有机质与全氮量的关系[J]. 陕西林业科技, 1993(2): 9-10, 37.
- [27] 李忠佩,王效举. 小区域水平土壤有机质动态变化的评价与分析[J]. 地理科学, 2000(2): 182-188.
- [28] 王其兵,李凌浩,刘先华,等. 内蒙古锡林河流域草原土壤有机碳及氮素的空间异质性分析[J]. 植物生态学报, 1998, 22(5): 409-414.
- [29] 余晓鹤,朱培立,黄东迈,等. 土壤表层管理对稻田土壤氮矿化势、固氮强度及铵态氮的影响[J]. 中国农业科学, 1991, 24(1): 73-79.
- [30] Sims J T. Nitrogen transformations in a poultry manure amended soil-Temperature and moisture effects [J]. Journal of Environmental Quality, 1986, 15: 59-63.