

# 秸秆与地膜覆盖春玉米和春小麦耕层土壤碳氮动态\*

卜玉山<sup>1</sup> 邵海林<sup>1</sup> 王建程<sup>1</sup> 苗果园<sup>2</sup>

(1. 山西农业大学资源环境学院 太谷 030801; 2. 山西农业大学农学院 太谷 030801)

**摘要** 采用田间试验研究了秸秆和地膜覆盖处理春玉米和春小麦生育期耕层土壤有机碳、全氮和硝态氮的动态变化。结果表明: 秸秆覆盖处理明显提高了春玉米和春小麦生育期土壤有机碳含量, 而地膜覆盖处理土壤有机碳含量呈下降趋势; 灌溉同时降低了春小麦地膜覆盖处理土壤有机碳的降低幅度和秸秆覆盖处理土壤有机碳的增加幅度; 秸秆和地膜覆盖处理土壤全氮与硝态氮含量在春玉米和春小麦生育期的动态变化都呈“增加-降低-增加”的趋势, 但土壤全氮变化幅度较小, 处理间差异不显著, 而硝态氮变化剧烈, 处理间差异达显著或极显著水平; 灌溉对不同覆盖处理春小麦生育期土壤全氮含量影响较小, 但灌溉显著降低了不同覆盖处理春小麦拔节期土壤硝态氮的增加幅度。

**关键词** 秸秆覆盖 地膜覆盖 春玉米 春小麦 耕层土壤 有机碳 全氮 硝态氮

**中图分类号:** S158 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2010)02-0322-05

## Dynamics of soil carbon and nitrogen in plowed layer of spring corn and spring wheat fields mulched with straw and plastic film

BU Yu-Shan<sup>1</sup>, SHAO Hai-Lin<sup>1</sup>, WANG Jian-Cheng<sup>1</sup>, MIAO Guo-Yuan<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract** Field experiments were conducted to study the dynamics of soil organic carbon, total nitrogen and nitrate in plowed layer of spring corn and spring wheat fields under straw and plastic film mulching. The results indicate that straw mulching significantly increases soil organic carbon content during growth periods of spring corn and spring wheat. However, organic carbon content decreases under plastic film mulching. Irrigation reduces both the decline degree under plastic film mulching treatment, and the increase degree in straw mulching treatment of soil organic carbon during the growth periods of spring wheat. Soil total nitrogen and nitrate contents show “increase-decrease-increase” trend under both straw and plastic film mulching during growth periods of spring corn and spring wheat. However, the change range in soil total nitrogen, which is not significantly different among treatments, is much smaller than that in soil nitrate, which is significantly different among treatments. The effect of irrigation on soil total nitrogen content is insignificant for all mulching treatments during growth period of spring wheat, but it significantly limits the degree of increase in soil nitrate for all mulching treatments at jointing stage of spring wheat.

**Key words** Straw mulching, Plastic film mulching, Spring corn, Spring wheat, Plowed soil, Organic carbon, Total nitrogen, Nitrate  
(Received July 1, 2009; accepted Oct. 23, 2009)

土壤有机碳动态反映了土壤有机质的变化, 而耕作制度和农艺措施影响着土壤有机碳含量和有机质的积累<sup>[1-4]</sup>, 从而影响土壤肥力性状和生产水平<sup>[5-7]</sup>; 同时, 土壤有机态碳作为农田生态系统重要的碳素组成部分, 其动态变化决定着农业生态系统CO<sub>2</sub>的排放与固定, 从而成为影响全球气温上升和气候变化的重要因素之一<sup>[4, 8-10]</sup>。中国作为世界上重

要的农业大国, 农田土壤对全球大气CO<sub>2</sub>浓度的影响正在引起人们的普遍关注<sup>[11]</sup>。有研究认为中国农业土壤固碳潜力较美、加两国大<sup>[12]</sup>, 且水田比旱地有更大的固碳能力<sup>[11]</sup>。不同耕作制度和农艺措施对农田土壤氮素动态和迁移的影响一直受到高度关注<sup>[2, 13-17]</sup>, 影响着氮素利用率和施肥效益, 是合理施肥的基础, 并决定着农田氮素的潜在环境风险大

\* “十一五”国家农业综合节水科技支撑项目(2007BAD88B03)资助

卜玉山(1957-), 男, 教授, 博士, 主要从事土壤肥力与肥料以及生活废弃物农业利用等方面的研究。E-mail: yushanbu@sxau.edu.cn

收稿日期: 2009-07-01 接受日期: 2009-10-23

小<sup>[18-20]</sup>。农田覆盖是旱作农业的一项重要栽培措施,目前广泛应用的覆盖材料为地膜和传统的各种秸秆。大量研究表明,秸秆覆盖具有稳温、蓄水保水和培肥地力的作用,而地膜覆盖具有增温、保水和显著增产作用<sup>[21-27]</sup>,但地膜覆盖的增产作用以消耗地力为代价,会造成土壤水分、有机质和养分的明显下降<sup>[21-22]</sup>,在水肥不能充分保证的旱地上,长期地膜覆盖会导致地力的严重耗竭<sup>[28]</sup>。目前关于秸秆和地膜覆盖下作物生长期土壤碳氮动态的研究报道不多,本文通过大田试验研究了秸秆和地膜覆盖下春玉米和春小麦生育期农田土壤有机碳、全氮和硝态氮的动态变化,为合理评价 2 种覆盖方式的经济与生态环境效益提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在山西农业大学农场进行,所属区域年均气温 10℃ 左右,1 月份平均气温 -7℃,7 月份平均气温 23℃,年均降雨量 450 mm,无霜期 160 d 左右。试验地土壤为石灰性褐土, pH 7.9,有机质 10.1 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮、速效磷和速效钾分别为 26.4 mg·kg<sup>-1</sup>、12.1 mg·kg<sup>-1</sup>和 174.2 mg·kg<sup>-1</sup>。供试春玉米品种为“农大 108”,春小麦品种为“加拿大 1 号”。

### 1.2 试验设计与实施

春玉米覆盖试验采用随机区组设计,设 CK、小麦秸秆覆盖(SM,整秸覆盖,每小区 10 kg)、地膜覆盖(PM,地膜厚度 0.008 mm,幅宽 800 mm)3 个处理,4 次重复,小区面积 3 m×3 m。播前结合耕地按 375 kg·hm<sup>-2</sup> 尿素和 750 kg·hm<sup>-2</sup> 过磷酸钙施底肥。2002 年 4 月 18 日播种,行距 50 cm,同时进行不同覆盖处理,4 月 28 日~5 月 2 日出苗后每小区留苗 45±1 株,9 月 15 日收获。生长期不追肥,不灌溉,在播种覆盖前(4 月 18 日)、苗期(5 月 18 日)、拔节期(6 月 18 日)、抽雄期(7 月 10 日)和成熟期(8 月 18 日)采用“S 型”采集试验田(播前)和小区(其余生育期)耕层(0~20 cm)土样,试验田为 10 点混合样,小区为 5 点混合样。

春小麦覆盖试验采用裂区设计,主处理为灌溉,设灌溉和不灌溉 2 个水平,副处理为覆盖,设 CK、高粱秆覆盖(SM,整秸行间覆盖,每小区 10 kg)、地膜覆盖(PM,地膜规格同上)3 个处理,4 次重复,小区面积 1.2 m×8 m。播前结合整地按 450 kg·hm<sup>-2</sup> 施磷酸二铵做基肥,2003 年 3 月 9 日播种,地膜覆盖小区先覆膜,用播种器播种,秸秆覆盖处理先播种,出苗后进行行间覆盖。每小区播种 6 行,行距 18 cm,播种量均为 225 kg·hm<sup>-2</sup>,生长期不追肥。灌溉处理在春小麦拔节初灌溉 1 次(5 月 2 日),灌水量 120

mm,6 月 29 日收获。在播种覆盖前(3 月 9 日)、苗期(4 月 10 日)、拔节期(5 月 10 日)、抽穗期(6 月 5 日)和成熟期(6 月 26 日)采集耕层(0~20 cm)土样,采集方法同上。

### 1.3 测定指标与方法

不同生育期采集的混合土样风干后,分别过 1 mm 和 0.25 mm 筛进行有机碳、全氮和硝态氮含量测定。土壤有机碳采用油浴加热-K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 容量法,全氮采用半微量凯氏法,硝态氮采用酚二磺酸比色法<sup>[29]</sup>。数据统计处理采用 ASA8.2,图表绘制采用 Excel2003。

## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆与地膜覆盖下春玉米和春小麦农田耕层土壤有机碳动态变化

图 1a 和 b 分别为春玉米和春小麦不同生育期不同覆盖处理耕层土壤(0~20 cm)有机碳含量。春玉米在拔节期、孕穗期和成熟期不同处理耕层土壤有机碳含量差异显著,而春小麦在灌溉和不灌溉条件下各生育期处理间差异均不显著。但春玉米和春小麦耕层土壤有机碳均以秸秆覆盖处理略高,春玉米 4 个生育期平均比对照高 4.2%,春小麦 4 个生育期灌溉条件下平均比对照高 2.3%,不灌溉条件下比对照高 3.8%;地膜覆盖处理略低,春玉米 4 个生育期平均比对照低 3.8%,春小麦 4 个生育期灌溉条件下平均比对照低 3.2%,不灌溉条件下比对照低 2.4%。

随春玉米和春小麦的生育进程,秸秆覆盖处理土壤有机碳含量均呈增加趋势,前者成熟期比播种覆盖前增加 7.4%,后者在灌溉条件下增加 3.7%,不灌溉条件下增加 4.9%;对照土壤有机碳基本持平;而地膜覆盖处理土壤有机碳含量却随春玉米生育进程呈下降趋势,前者成熟期比播种覆盖前下降 4.4%,后者灌溉条件下下降 3.8%,不灌溉条件下下降 6.7%。灌溉同时降低了春小麦地膜覆盖处理土壤有机碳的下降幅度和秸秆覆盖处理土壤有机碳的增加幅度。

### 2.2 秸秆与地膜覆盖下春玉米和春小麦农田耕层土壤全氮动态变化

图 2a 和 b 分别为春玉米和春小麦各生育期不同覆盖处理耕层土壤全氮含量。春玉米不同覆盖处理耕层土壤全氮在孕穗期和成熟期差异达极显著水平,而春小麦仅灌溉条件下在成熟期处理间差异达显著水平,不灌溉条件下各生育期和灌溉条件下其余生育期处理间差异均不显著。但春玉米和春小麦各生育期耕层土壤全氮含量均以秸秆覆盖处理相对较高,春玉米 4 个生育期平均比对照高 9.0%,春小麦 4 个生育期灌溉条件下平均比对照高 6.4%,不灌溉条件下平均比对照高 7.3%;而地膜覆盖处理与对照相近。

3 种覆盖处理土壤全氮含量随春玉米和春小麦生育进程的动态变化基本呈“增加-降低-增加”趋势,即从播种覆盖前到春玉米和春小麦苗期土壤全氮含量略有增加,而后缓慢下降,到成熟期又有所回升,其中秸秆覆盖处理土壤全氮变化幅度比较明显。3 种覆盖处理对土壤全氮含量的最终影响结果为,春玉米秸秆覆盖处理土壤全氮含量成熟期比播种覆盖前增加 6.6%,对照和地膜覆盖处理成熟期比播种覆盖前分别下降 4.1%和 5.7%;春小麦对照土壤全氮含量成熟期与播种覆盖前基本相同,秸秆和地膜覆盖处理

在灌溉条件下成熟期比播种覆盖前分别增加 10.1%和 3.4%,在不灌溉条件下分别增加 7.7%和 2.1%。

### 2.3 秸秆与地膜覆盖下春玉米和春小麦农田土壤硝态氮动态变化

图 3a 和 b 分别为不同覆盖处理耕层土壤硝态氮在春玉米和春小麦各生育期的含量。除春玉米孕穗期外,春玉米其余生育期和春小麦各生育期不同覆盖处理耕层土壤硝态氮含量差异均达显著或极显著水平。春玉米苗期、拔节期和成熟期秸秆覆盖处理土壤硝态氮含量分别比对照增加 45.3%、41.3%和

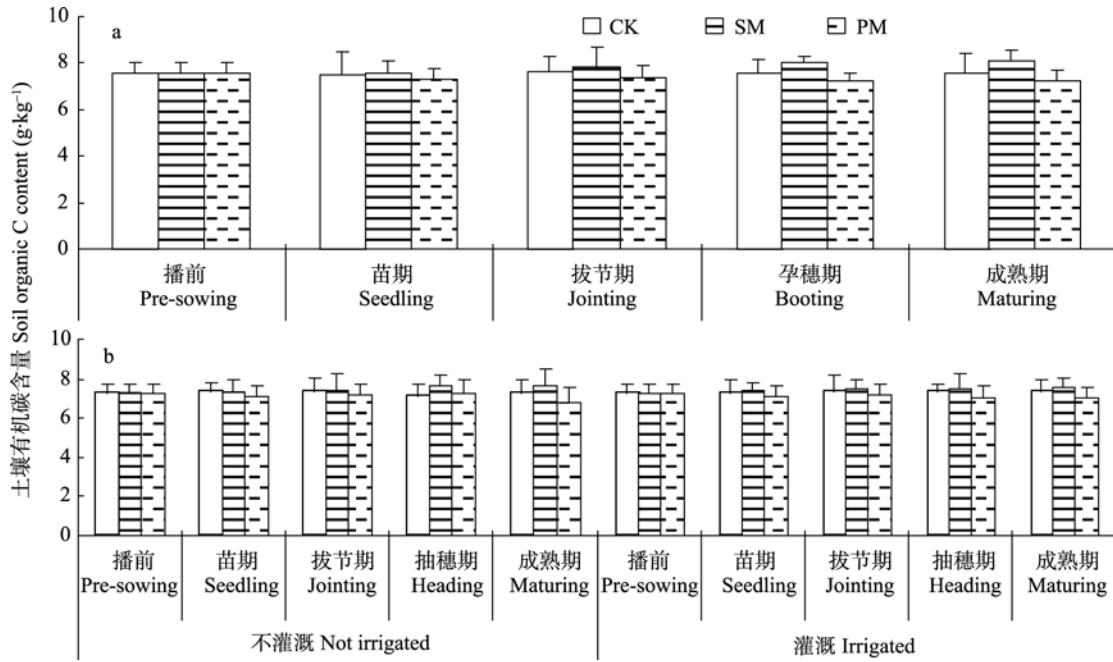


图 1 不同覆盖处理下春玉米(a)和春小麦(b)生长期耕层土壤有机碳动态变化

Fig. 1 Dynamics of soil organic C in spring maize (a) and spring wheat (b) growth periods in different mulch treatments

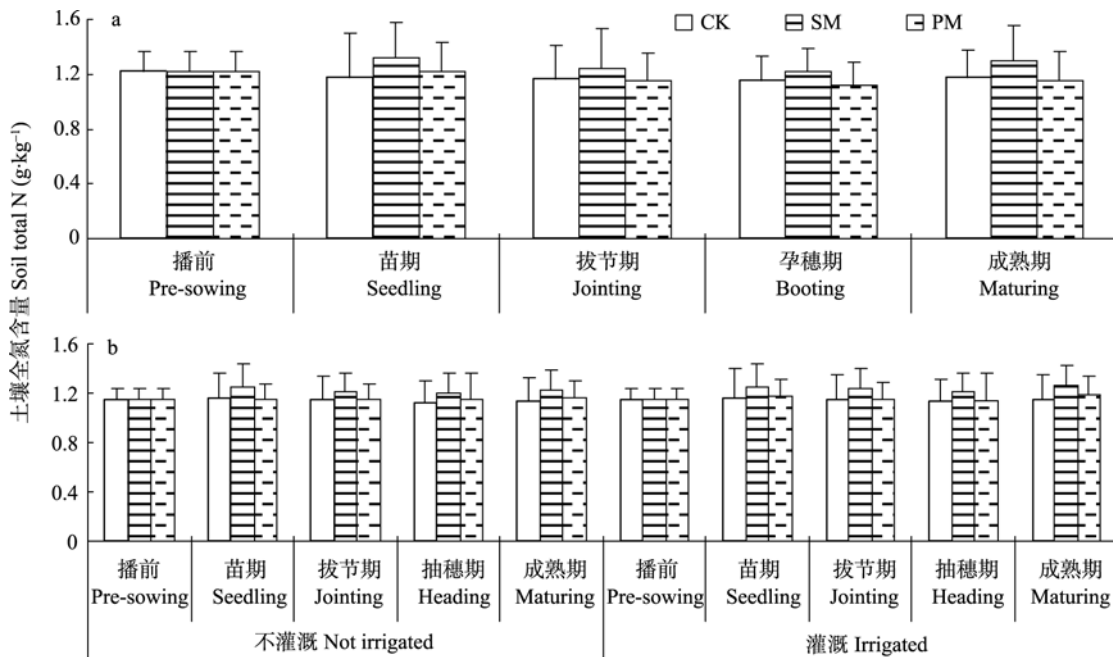


图 2 不同覆盖处理春玉米(a)和春小麦(b)生长期土壤全氮动态变化

Fig. 2 Dynamics of soil total N in spring maize (a) and spring wheat (b) growth periods in different mulch treatments

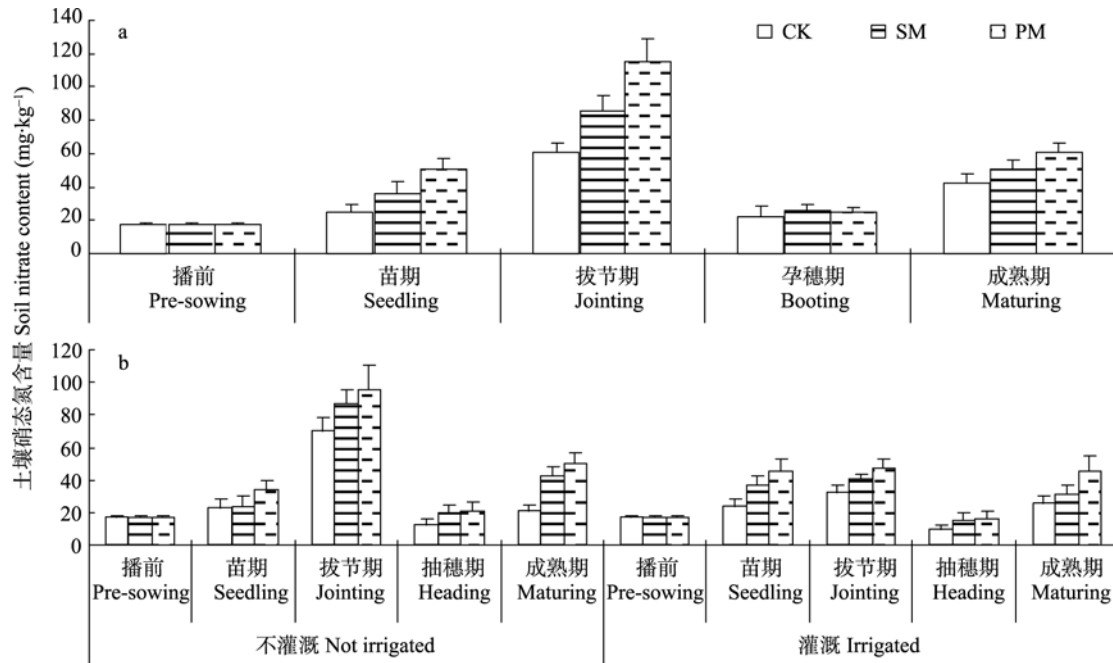


图 3 不同覆盖处理下春玉米(a)和春小麦(b)生长期土壤硝态氮动态变化

Fig. 3 Dynamics of soil nitrate in spring maize (a) and spring wheat (b) growth periods in different mulch treatments

18.7%，地膜覆盖处理分别比对照增加 107.4%、90.4%和 43.5%；春小麦苗期、拔节期、抽穗期和成熟期不灌溉条件下秸秆覆盖处理分别比对照增加 6.25%、24.0%、55.6%和 105.9%，地膜覆盖处理分别比对照增加 50.0%、36.0%、68.3%和 146.3%；灌溉条件下秸秆覆盖处理分别比对照增加 54.6%、25.6%、57.1%和 22.2%，地膜覆盖处理分别比对照增加 92.4%、46.3%、63.3%和 80.6%。

3 种覆盖处理土壤硝态氮含量在春玉米和春小麦生长期基本呈“增加-降低-增加”的变化趋势，但变化幅度大于土壤全氮。从播种覆盖前到拔节期 3 种覆盖处理土壤硝态氮含量都明显增加，春玉米增加幅度达 42.6~99.3  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，增加顺序依次为地膜覆盖>秸秆覆盖>对照，由拔节期到抽穗期 3 种覆盖处理的土壤硝态氮含量都显著下降，下降幅度达 33.8~90.5  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，且以地膜覆盖处理下降最大，到成熟期，3 种覆盖处理土壤硝态氮含量又有所回升。3 种覆盖处理对春玉米土壤硝态氮含量的最终影响结果都表现为较播种覆盖前明显增加，对照、秸秆和地膜覆盖处理春玉米成熟期土壤硝态氮含量分别比播种覆盖前增加 136.6%、180.8%和 239.5%。春小麦在灌溉条件下，对照、秸秆和地膜覆盖处理土壤硝态氮含量在成熟期比播种覆盖前分别增加 40.0%、71.1%和 152.8%；在不灌溉条件下相应覆盖处理分别增加 21.3%、149.7%和 198.8%。灌溉对春小麦成熟期不同覆盖处理土壤硝态氮含量增加幅度的影响也不一致，且影响较小，但灌溉显著降低了各覆盖处理春小麦拔节期土壤硝态氮含量增加的幅度，在不灌溉条件下，对照、秸秆和地膜覆盖处理土

壤硝态氮含量春小麦拔节期比播种覆盖前分别增加 314.2%、413.6%和 463.3%，而灌溉条件下相应覆盖处理土壤硝态氮含量的增加幅度分别下降到 66.7%、123.3%和 160.0%。

### 3 结论与讨论

春玉米和春小麦秸秆覆盖均不同程度提高了土壤有机碳含量，这一方面由于秸秆在覆盖期间降解产生的有机物质颗粒随降雨下渗到土壤中增加了土壤有机碳，另一方面由于秸秆覆盖处理显著的降温稳温和保水作用又有利于土壤有机碳的积累。地膜覆盖处理土壤有机碳含量在春玉米和春小麦生长期呈下降趋势，这不仅由于地膜覆盖无有机碳补给土壤，更主要由于地膜覆盖显著的增温保水作用加速了土壤有机质的分解，导致土壤有机碳含量降低。灌溉降低了地膜覆盖处理土壤有机碳的降低幅度和秸秆覆盖处理土壤有机碳的增加幅度，该结果尚需进一步研究证实。

不同覆盖处理土壤全氮含量在春玉米和春小麦生长期基本呈“增加-降低-增加”变化趋势，即从播种覆盖前到春玉米和春小麦苗期土壤全氮含量略有增加，而后再经拔节期到抽穗(穗)期略有降低，到成熟期又有所回升。但春玉米和春小麦苗期土壤全氮含量的增加，除秸秆覆盖比较明显外，地膜覆盖和对照都很小，这一现象可能与春天地温回升，土壤生物活性增加有关，秸秆覆盖处理土壤微生物数量相对高于其他处理，土壤生物氮含量也相对较高，但还需进一步的研究证实。到成熟期秸秆覆盖处理土壤全氮含量比播种覆盖前有比较明显的提高，但

地膜覆盖春小麦土壤全氮含量略有增加,而春玉米土壤全氮含量却略有下降,这一现象可能与两种作物的生物学特性如生育期长短、生长季节等有关,春玉米生育期长,对土壤养分耗竭强度比春小麦大,地膜覆盖加剧了这一现象,到收获期土壤氮素仍没有恢复到播前水平,出现下降,而春小麦土壤氮素到收获期已基本恢复。本研究春小麦覆盖试验所设的灌溉处理仅在拔节初期(2003年5月2日)灌水1次,表明灌溉对不同覆盖处理土壤全氮含量的动态变化影响不明显。

不同覆盖处理土壤硝态氮在春玉米和春小麦生长期的动态变化也表现为前期增加,而后下降,到成熟期又有所回升的趋势,但变化幅度远大于土壤全氮。从播种覆盖前到拔节期随着土壤温度的上升,土壤生物活性增强,土壤有机氮矿化率和硝化速率也随之增加,尽管这一时期春小麦和春玉米的吸氮量在不断增加,但仍表现为土壤硝态氮的净积累,不同覆盖处理土壤硝态氮含量的增加幅度从大到小依次为:地膜覆盖>秸秆覆盖>对照。而后随着春小麦和春玉米吸氮量的进一步增加以及土壤有机氮的矿化率可能趋于稳定甚至下降,到抽穗期不同覆盖处理土壤硝态氮含量都显著降低。进入成熟期,春小麦和春玉米的吸氮量显著下降,不同覆盖处理下土壤硝态氮含量又明显回升。在春小麦拔节初期进行的1次灌溉虽然对不同覆盖下土壤全氮含量的动态变化没有明显影响,却显著影响了不同覆盖处理下土壤硝态氮含量的动态变化,主要表现在灌溉后明显降低了不同覆盖处理拔节期土壤硝态氮含量。总体来看,在春玉米生长期,不同覆盖处理之间的土壤有机碳、全氮和硝态氮的动态变化趋势明显不同,但不同覆盖处理土壤有机碳和全氮含量在春玉米生长期间的变化幅度都较小,而不同覆盖处理土壤硝态氮含量的变化极其明显。

## 参考文献

- [1] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 等. 土壤有机质对农田管理措施的动力响应[J]. 生态学报, 2003, 23(4): 787-796
- [2] 乔云发, 苗淑杰, 韩晓增. 长期施肥条件下黑土有机碳和氮的动态变化[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 545-548
- [3] Al-Kaisi M M, Yin X H, Licht M A. Soil carbon and nitrogen changes as influenced by tillage and cropping systems in some Iowa soils[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 105(4): 635-647
- [4] 李小涵, 郝明德, 王朝辉, 等. 农田土壤有机碳的影响因素及其研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3): 176-181
- [5] 陈小红, 段争虎. 土壤碳素固定及其稳定性对土壤生产力和气候变化的影响研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 765-772
- [6] Chan K Y, Heenan D P, Oates A. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management[J]. Soil & Tillage Research, 2001, 63(3/4): 133-139
- [7] Ishaq M, Ibeahim M, Lal R. Tillage effects on soil properties at different levels of fertilizer application in Punjab, Pakistan[J]. Soil & Tillage Research, 2002, 68(2): 93-99
- [8] 刘允芬. 中国农业系统碳汇功能[J]. 农业环境保护, 1998, 17(5): 197-202
- [9] Lal R. Global potential of soil C sequestration to mitigate the greenhouse effect[J]. Plant Science, 2003, 22(2): 151-184
- [10] Tan Z X, Lal R. Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio, USA[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 111(1/4): 140-152
- [11] 韩冰, 王效科, 欧阳志云. 中国农田生态系统土壤碳库的饱和水平及其固碳潜力[J]. 农村生态环境, 2005, 21(4): 6-11
- [12] 杨学明, 张晓平, 方华军. 农业土壤固碳对缓解全球变暖的意义[J]. 地理科学, 2003, 23(1): 101-106
- [13] 戴明宏, 陶洪斌, 王利纳, 等. 华北平原春玉米种植体系中土壤无机氮的时空变化及盈亏[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 417-423
- [14] 郝芳华, 孙雯, 曾阿妍, 等. HYDRUS2D模型对河套灌区不同灌溉情景下氮素迁移的模拟[J]. 环境科学学报, 2008, 28(5): 853-858
- [15] 郝芳华, 欧阳威, 李鹏, 等. 河套灌区不同灌季土壤氮素时空分布特征分析[J]. 环境科学学报, 2008, 28(5): 845-852
- [16] 王西娜, 王朝辉, 李生秀. 施氮量对夏季玉米产量及土壤水氮动态的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 197-204
- [17] Oikeh S O, Carsky R J, Kling J G, et al. Differential N uptake by maize cultivars and soil nitrate dynamics under N fertilization in West Africa[J]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 2003, 100(2/3): 181-191
- [18] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 660-667
- [19] Rimski-Korsakov H, Rubio G, Lavado R S. Potential nitrate losses under different agricultural practices in the pampas region, Argentina[J]. Agricultural Water Management, 2004, 65(2): 83-94
- [20] Hack-ten Broeke M J D. Irrigation management for optimizing crop production and nitrate leaching on grassland[J]. Agricultural Water Management, 2001, 49(2): 97-114
- [21] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 秸秆与地膜覆盖玉米农田土壤水分时空动态变化——兼评回归等值线法的应用[J]. 土壤学报, 2004, 41(5): 795-802
- [22] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 1069-1075
- [23] 胡芬, 陈尚模. 寿阳试验区玉米地农田水分平衡及其覆盖调控试验[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 146-148
- [24] 任军荣, 杨建利, 李殿荣. 旱地油菜地膜覆盖栽培的水热效应研究[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(3): 34-37
- [25] Unger P W. Straw-mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield[J]. Soil Sci Soc Am J, 1978, 42(3): 486-491
- [26] 钟兆站, 赵聚宝, 薛军红, 等. 草纤维膜与塑料地膜覆盖农田的生态效应比较[J]. 中国农业气象, 1996, 17(4): 28-33
- [27] 巩杰, 黄高宝, 陈利顶, 等. 旱作麦田秸秆覆盖的生态综合效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 69-73
- [28] 汪景宽, 张继宏, 须湘成, 等. 地膜覆盖对土壤肥力影响的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1992, 23(专辑): 32-37
- [29] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 67-75, 79-82, 91-94