

# 秸秆与地膜覆盖条件下旱作玉米田土壤氮组分生长季动态

毛海兰<sup>1</sup>, 付鑫<sup>1</sup>, 赵丹丹<sup>1</sup>, 李蓉蓉<sup>1</sup>, 王俊<sup>1,2</sup>

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 西北大学陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127)

**摘要:** 研究不同覆盖措施下农田土壤全氮及其活性和半活性组分在作物生长季的动态变化, 有助于深入理解农田土壤氮循环过程。基于黄土高原 8 年春玉米覆盖定位试验, 系统分析了土壤全氮、矿质氮、微生物量氮、潜在可矿化氮以及颗粒有机氮在玉米不同生育期的动态特征。试验包括全生育期 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 秸秆覆盖、全生育期地膜覆盖和不覆盖对照 3 个处理。结果表明: (1) 除硝态氮和铵态氮在苗期上升外, 秸秆和地膜覆盖下土壤全氮及其组分含量在春玉米生育期基本呈苗期下降、拔节期上升、大喇叭口—抽雄期下降、灌浆和收获期回升的变化趋势; (2) 与对照相比, 秸秆覆盖提高了大多数生育时期 0—40 cm 土层全氮和硝态氮含量及 0—20 cm 土层铵态氮含量, 提高各生育时期 0—40 cm 土层微生物量氮、潜在可矿化氮以及颗粒有机氮含量; (3) 地膜覆盖较对照提高大多数生育时期 0—40 cm 土层硝态氮和 0—20 cm 土层铵态氮含量, 降低作物生育后期 0—20 cm 土层全氮和 0—40 cm 土层颗粒有机氮含量, 降低大多数时期 0—40 cm 土层微生物量氮和 10—20 cm 土层潜在可矿化氮含量; (4) 除了地膜覆盖下 20—40 cm 土层颗粒有机氮相对含量在作物不同生育期差异不显著外, 秸秆和地膜覆盖下 0—40 cm 土层微生物量氮、潜在可矿化氮、颗粒有机氮对土壤全氮的动态均有重要贡献。总之, 黄土高原的春玉米田秸秆覆盖具有明显的提升土壤全氮及其组分含量的作用, 有助于培肥地力和土壤固氮; 地膜覆盖则降低了作物生育后期土壤全氮及其组分含量, 同时显著提高了土壤硝态氮水平, 导致农田土壤氮素淋溶风险提高。

**关键词:** 秸秆覆盖; 地膜覆盖; 土壤全氮; 微生物量氮; 潜在可矿化氮; 颗粒有机氮

中图分类号: S158.2; S513

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)04-0246-09

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.04.039

## Seasonal Dynamics of Soil Nitrogen Fractions in Dryland Spring Maize Field Under Straw and Plastic Film Mulching

MAO Hailan<sup>1</sup>, FU Xin<sup>1</sup>, ZHAO Dandan<sup>1</sup>, LI Rongrong<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>1,2</sup>

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127; 2. Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Northwest University, Xi'an 710127)

**Abstract:** Dynamics of soil microbial biomass nitrogen, potentially mineralizable nitrogen and particulate organic nitrogen during crop growing stages are important to understand the nitrogen cycling responding to mulching practices in dryland cropping systems. Based on a long-term mulching experiment in the Losses Plateau, this study investigated the dynamics of soil nitrogen fractions at different crop growth stages under straw and plastic film mulching conditions. Three treatments as straw mulching at a rate of 9 000 kg/hm<sup>2</sup> (SM), plastic film mulching (PM) and no mulching (CK) were included. The results showed that: (1) The contents of soil total nitrogen, microbial biomass nitrogen, potentially mineralizable nitrogen, particulate organic nitrogen and mineral nitrogen showed a tendency of decreasing at seedling stage, increasing at jointing stage, decreasing again at bellling-heading stage and recovering at filling and harvest stages, except for nitrate nitrogen and ammonium nitrogen which increased at seedling stage. (2) Compared with CK, straw mulching effectively increased the contents of soil total nitrogen and nitrate nitrogen in 0—40 cm soil layer and soil ammonium nitrogen in 0—20 cm soil layer at most growth stages of spring maize, and increased soil microbial biomass nitrogen, potentially mineralizable nitrogen, and particulate organic nitrogen in 0—40 cm soil layer at nearly all growth stages. (3) Compared with CK, plastic film mulching improved soil nitrate nitrogen in 0—40 cm soil layer and ammonium nitrogen in 0—20 cm soil layer at most growth stages of maize, and

收稿日期: 2018-03-28

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(31570440)

第一作者: 毛海兰(1992—), 女, 硕士研究生, 主要从事旱作农田土壤碳氮研究。E-mail: maohl0414@163.com

通信作者: 王俊(1974—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农田生态系统管理研究。E-mail: wangj@nwu.edu.cn

decreased soil total nitrogen in 0—20 cm soil layer and particulate organic nitrogen in 0—40 cm soil layer at the later growth stages, and decreased microbial biomass nitrogen in 0—40 cm soil layer and potentially mineralizable nitrogen in 10—20 cm soil layer at most stages of maize. (4) Soil microbial biomass nitrogen, potentially mineralizable nitrogen and particulate organic nitrogen under mulching all had an important contribution to the dynamics of total nitrogen, except for the ratio of particulate organic nitrogen to total nitrogen in 20—40 cm layer under plastic film mulching. In conclusion, straw mulching in the Loess Plateau has a significant role in increasing the contents of soil nitrogen and its fractions in spring maize field, which is conducive to improve the soil fertility and nitrogen fixation levels as well as crop production. While plastic film mulching would reduce soil nitrogen fractions at the later growth stages of maize. Higher soil nitrate nitrogen level with plastic film mulching would increase the nitrogen leaching risk in maize field.

**Keywords:** straw mulching; plastic film mulching; soil total nitrogen; microbial biomass nitrogen; potentially mineralizable nitrogen; particulate organic nitrogen

氮素是植物生长发育所需的大量营养元素之一,也是植物从土壤中吸收量最大的矿质元素<sup>[1]</sup>。研究<sup>[2]</sup>表明,植物吸收的氮素大部分来源于土壤。土壤全氮因其库存较大,对耕作措施的响应缓慢,因此单独测定土壤全氮并不能准确反映土壤氮素的动态变化<sup>[3]</sup>。硝态氮和铵态氮是植物可以直接吸收利用的矿质态氮素,其含量虽低却是农田生态系统中最易耗竭和限制作物生长的氮素形态<sup>[4]</sup>。土壤微生物量氮和潜在可矿化氮是重要的土壤活性氮库组分,可以在一个作物生长季内对田间管理措施的改变做出快速响应<sup>[5]</sup>。土壤颗粒有机氮被认为是介于活性有机氮与惰性有机氮之间的中间组分,其对管理措施的响应也非常迅速<sup>[5]</sup>。因此,针对土壤硝态氮、铵态氮、微生物量氮、潜在可矿化氮及颗粒有机氮等土壤活性或半活性氮库的测定对于评价由耕作、覆盖、施肥等措施所引起的土壤氮库变化具有重要意义。

近年来,秸秆和地膜覆盖技术因其良好的保墒增产作用在我国北方旱作农业区得到广泛应用<sup>[6]</sup>,其对土壤氮库的影响也颇受关注。已有研究<sup>[7-9]</sup>表明,秸秆覆盖可以提高土壤全氮、矿质氮和微生物量氮,而

地膜覆盖对土壤全氮及其组分的影响却因气候条件、作物生育期、覆盖年限等不同而结果迥异<sup>[10-14]</sup>。目前来看,相关研究<sup>[10]</sup>多集中在覆盖方式对某一时期(如收获期)土壤氮组分的影响,对土壤全氮的生育期动态关注较少,对土壤活性或半活性氮组分的季节动态更是鲜有报道。本文以黄土高原旱作春玉米田为研究对象,基于长期田间定位试验,比较分析了秸秆和地膜覆盖条件下作物不同生育期土壤氮组分的动态变化特征,旨在探讨旱作农田不同氮组分对地表覆盖的季节性响应规律,加深对农田土壤氮循环过程的理解。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地位于陕西省长武县十里铺村南 1 km 的旱塬上(35°12'N,107°45'E),海拔 1 200 m,年平均气温 9.1 °C,年平均降水量 579 mm,且 55% 以上集中在 7—9 月。土壤母质为中壤质马兰黄土,土层深厚。2008 年布设试验前土壤基本化学性质见表 1<sup>[15]</sup>。2016 年为干旱年,生育期降水及气温分布见图 1。气温、降水数据来自中国科学院长武黄土高原农业生态试验站。

表 1 试验布设前试验地 0—40 cm 土壤基本化学性质

土层深度/ cm	有机氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	pH	矿质氮	
						NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
0—10	8.73	0.81	5.4	139.9	8.18	13.0	2.9
10—20	8.32	0.73	3.6	119.4	8.17	13.2	2.2
20—40	6.28	0.58	1.6	122.0	8.24	8.6	1.8

### 1.2 试验设计

春玉米覆盖试验布设于 2008 年 9 月<sup>[16]</sup>,设全生育期秸秆覆盖(SM)、全生育期地膜覆盖(PM)和不覆盖对照(CK)3 个处理。各处理重复 3 次,共 9 个小区。小区长为 10.40 m,宽为 6.40 m,面积 66.56 m<sup>2</sup>,各小区随机排列。秸秆覆盖处理使用收获后的玉米秸秆整株于玉米播种后均匀覆盖于行间,覆盖量

为 9 000 kg/hm<sup>2</sup>。地膜覆盖处理采用 1.2 m 宽白色透明地膜覆盖整个小区。春玉米在每年 4 月中旬播种,9 月中旬收获,随后试验田闲置。每年播种前清除上一年的秸秆或地膜,松土并施加基肥(尿素 135 kg N/hm<sup>2</sup> 和重过磷酸钙 90 kg P/hm<sup>2</sup>)。作物生长期间不追肥、不灌溉,人工除草。本研究于 2016 年春玉米生育期进行,供试玉米品种为“先玉 335”,于 4 月 21 日播种,9

月 10 日收获。在播种施肥前(4 月 8 日)、苗期(5 月 17 日)、拔节期(6 月 17 日)、大喇叭口—抽雄期(7 月 17 日)、灌浆期(8 月 17 日)及收获期(9 月 17 日),采用“S”形五点采样法采集各小区 0—10, 10—20, 20—40 cm 土样,剔除石块和动植物残体等杂质,置于避光处自然风干。研磨土样过 0.1 mm 筛以待测土壤全氮,过 2 mm 筛以待测土壤潜在可矿化氮、微生物量氮、颗粒有机氮、硝态氮及铵态氮。

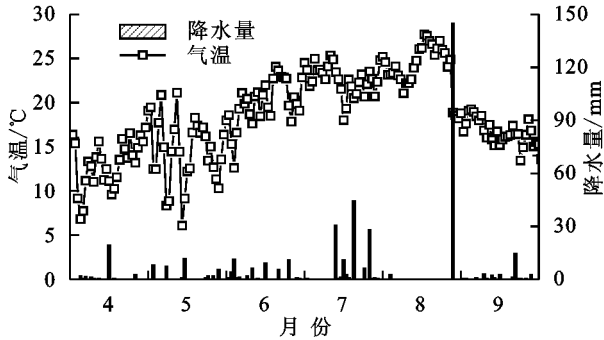


图 1 2016 年春玉米生育期内降水及气温分布

### 1.3 测定指标及方法

土壤全氮使用 EA 3000 元素分析仪测定;土壤硝态氮及铵态氮使用 2 mol/L KCl 浸提全自动间断化学分析仪(CleverChem 200+)测定。

土壤潜在可矿化氮采用密闭培养法测定,即取 10 g 风干土样于烧杯中,用蒸馏水调节至 50% 的田间持水量,放于培养箱中培养 10 天后,用浓度为 2 mol/L 的 KCl 溶液 50 mL 浸提 1 h,使用全自动间断化学分析仪测定浸提液中的矿质氮(硝态氮和铵态氮)含量,潜在可矿化氮含量即为土壤矿质氮之和在培养前后的差值。土壤微生物量氮采用氯仿熏蒸培养法测定,先将复湿土壤培养 10 天,在真空容器中用氯仿熏蒸 24 h,再放入培养箱中培养 10 天,然后用与潜在可矿化氮测定相同的方式浸提土壤,测定微生物量氮。

土壤颗粒有机氮采用六偏磷酸钠分散法测定,称取过筛土样 10 g,加入 5 g/L 的六偏磷酸钠溶液 30 mL,在往复式振荡器(150 r/min)上振荡 16 h 后将溶

液置于 53  $\mu\text{m}$  筛上,用蒸馏水冲洗至沥滤液澄清,将过滤出的土壤在 55  $^{\circ}\text{C}$  下烘干至恒重,计算其占整个土样的百分比。将烘干样品中的有机氮含量换算为单位质量土样对应组分的有机氮含量即为颗粒有机氮含量。

不同氮活性组分的相对含量为其绝对含量占土壤全氮的百分比值<sup>[3]</sup>。

### 1.4 数据统计分析

采用 Excel 2010 处理数据,Origin 19 作图,SPSS 20 进行单因素方差分析,各处理、各生育时期之间差异显著性的多重比较采用最小显著差异(LSD<sub>0.05</sub>)法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同覆盖处理下土壤全氮含量动态

从表 2 可以看出,0—10, 10—20 cm 土层不同处理土壤全氮均呈玉米苗期下降、拔节期上升、随后下降、灌浆至收获期回升的趋势;20—40 cm 土层,SM 处理土壤全氮在苗期下降,拔节期无明显变化,随后下降,灌浆和收获期回升。PM 与 CK 处理则表现为苗期下降,随后保持稳定,灌浆、收获期回升。除 PM 处理收获期 10—20 cm 土壤全氮显著低于播前外( $p < 0.05$ ),其余处理收获期各土层土壤全氮与播前差异均不显著。

处理间比较而言,SM 处理全氮含量始终高于 CK 和 PM。在 0—10 cm 土层,除大喇叭口—抽雄期之外,SM 土壤全氮较 CK 提高了 3.04%~8.21% ( $p < 0.05$ ),PM 处理全氮在拔节和灌浆期分别较 CK 降低了 4.56% 和 3.63% ( $p < 0.05$ )。在 10—20 cm 土层,SM 全氮在除拔节期外的其他时期较 CK 提高了 2.65%~6.67% ( $p < 0.05$ ),而 PM 处理在苗期、大喇叭口—抽雄期和收获期分别较 CK 降低了 4.85%, 2.36% 和 4.49% ( $p < 0.05$ )。在 20—40 cm 土层,SM 在播前、灌浆和收获期分别较 CK 提高了 5.70%, 4.29% 和 6.05% ( $p < 0.05$ ),PM 仅在苗期较 CK 降低土壤全氮 7.82% ( $p < 0.05$ )。

表 2 长期不同地表覆盖下春玉米不同生育期土壤全氮含量动态

单位:g/kg

土层深度/cm	处理	播前	苗期	拔节期	大喇叭口—抽雄期	灌浆期	收获期
0—10	CK	1.38±0.03bA	1.16±0.03bD	1.32±0.01bB	1.22±0.02abC	1.29±0.03bB	1.38±0.01bA
	SM	1.47±0.03aA	1.25±0.03aC	1.36±0.01aB	1.25±0.01aC	1.33±0.02aB	1.49±0.02aA
	PM	1.36±0.15bA	1.10±0.02bD	1.26±0.01cB	1.20±0.01bC	1.24±0.01cB	1.37±0.02bA
10—20	CK	1.34±0.03bA	1.10±0.02bC	1.22±0.03aB	1.13±0.01bC	1.21±0.02bB	1.34±0.03bA
	SM	1.39±0.03aA	1.17±0.00aC	1.25±0.02aB	1.16±0.01aC	1.25±0.01aB	1.42±0.02aA
	PM	1.32±0.02bA	1.05±0.02cE	1.22±0.02aC	1.10±0.02cD	1.20±0.02bC	1.28±0.02cB
20—40	CK	1.17±0.05bA	0.98±0.04aBC	0.96±0.01abBC	0.94±0.02abC	1.01±0.02bB	1.16±0.02bA
	SM	1.23±0.01aA	1.01±0.01aC	1.00±0.02aC	0.96±0.01aD	1.05±0.02aB	1.23±0.02aA
	PM	1.16±0.02bA	0.90±0.04bC	0.93±0.03bBC	0.92±0.02bC	0.97±0.02bB	1.13±0.01bA

注:CK 为不覆盖对照;SM 为全生育期 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 覆盖秸秆;PM 为全生育期地膜覆盖。同一土层、同一列数据后不同小写字母表示各处理间差异显著( $p < 0.05$ ),同一土层、同一行数据后不同大写字母表示各生育时期间差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

## 2.2 不同覆盖处理下土壤矿质氮含量动态

从表3可以看出,土壤硝态氮呈苗期和拔节期上升、随后下降、灌浆至收获期回升的趋势,处理与土层间变化基本一致。各处理各土层收获期硝态氮含量均高于播前水平( $p < 0.05$ )。

处理间比较,PM各土层土壤硝态氮含量在除大喇叭口一抽雄期外的其他生育时期均显著高于SM和CK。0—10 cm土层,SM和PM较CK的增幅分别为12.60%~186.08%和40.34%~260.95%( $p <$

0.05)。在10—20 cm土层,SM与PM处理在除大喇叭口一抽雄期外的其他时期均较CK显著提高硝态氮含量( $p < 0.05$ )。SM和PM较CK的增幅分别为14.27%~197.40%和63.44%~226.40%( $p < 0.05$ )。在20—40 cm土层,SM硝态氮含量在苗期、拔节期、灌浆期和收获期较CK提高了14.31%~84.04%( $p < 0.05$ ),PM在除大喇叭口一抽雄期的其他时期较CK提高了45.62%~200.48%( $p < 0.05$ )。

表3 不同地表覆盖下春玉米不同生育期土壤硝态氮含量动态

单位:mg/kg

土层深度/cm	处理	播前	苗期	拔节期	大喇叭口—抽雄期	灌浆期	收获期
0—10	CK	18.67±0.66cF	22.37±2.08cE	58.60±2.26cA	30.39±0.74aD	33.21±1.06cC	41.07±0.53cB
	SM	23.15±1.18bF	64.00±1.64bB	68.56±0.44bA	31.62±0.88aE	41.31±1.25bD	46.25±0.90bC
	PM	58.51±2.02aD	80.75±1.00aB	89.90±1.45aA	30.54±0.63aF	46.60±1.85aE	77.29±0.96aC
10—20	CK	14.54±1.73cD	18.81±0.54cC	33.52±0.53cA	11.85±0.26aE	21.98±1.00cB	32.73±1.02cA
	SM	19.72±2.36cE	55.94±1.06bB	58.57±1.43bA	12.33±0.64aF	26.67±0.96bD	37.40±1.51bC
	PM	43.65±2.38aC	61.40±2.24aB	68.90±1.47aA	12.18±0.61aE	35.92±1.10aD	60.04±0.60aB
20—40	CK	13.10±1.02bD	16.91±0.34cC	30.76±1.56cA	11.37±0.29aD	16.30±1.27cC	21.32±0.79cB
	SM	14.07±0.70bD	31.13±1.57bB	39.99±0.88bA	12.25±0.49aD	18.63±0.48bC	32.93±1.46bB
	PM	39.36±1.07aC	41.71±0.83aB	44.79±0.88aA	12.25±0.50aE	28.27±1.02aD	45.88±0.97aA

表4为土壤铵态氮在玉米生长季的动态特征。0—10 cm土层铵态氮在苗期上升、随后下降、灌浆至收获期回升;10—20 cm土层SM土壤铵态氮呈苗期上升、随后下降、灌浆期保持稳定、收获期回升的趋势,PM和CK处理与0—10 cm土层类似;20—40 cm土层,SM处理土

壤铵态氮在苗期、拔节期上升,随后下降,灌浆和收获期回升,PM的趋势与SM基本一致,区别在于其在苗期上升至最高值,随后在拔节期保持稳定,CK在苗期上升,随后下降,灌浆期保持稳定,收获期回升。各处理各土层收获期铵态氮含量均高于播前水平( $p < 0.05$ )。

表4 不同地表覆盖下春玉米不同生育期土壤铵态氮含量动态

单位:mg/kg

土层深度/cm	处理	播前	苗期	拔节期	大喇叭口—抽雄期	灌浆期	收获期
0—10	CK	3.37±0.05cD	25.23±0.16bA	24.31±0.06bB	2.73±0.08bE	3.52±0.07cD	4.22±0.05cC
	SM	3.63±0.06bF	25.79±0.15aA	24.32±0.08bB	3.83±0.10aE	5.68±0.03bD	6.43±0.07bC
	PM	3.79±0.07aE	25.98±0.15aA	24.99±0.07aB	3.85±0.08aE	7.12±0.07aD	8.31±0.09aC
10—20	CK	2.35±0.08aD	24.31±0.14bA	22.87±0.16bB	1.83±0.06bE	2.26±0.06bD	3.07±0.07cC
	SM	2.45±0.12aD	24.74±0.20aA	23.52±0.14aB	2.13±0.07aE	2.27±0.05bDE	3.41±0.06bC
	PM	2.52±0.07aE	24.96±0.04aA	23.75±0.10aB	2.20±0.08aF	2.77±0.04aD	4.83±0.05aC
20—40	CK	1.17±0.03bD	23.25±0.30aA	20.33±0.06bB	1.32±0.08aD	1.56±0.04bD	2.65±0.04cC
	SM	1.19±0.04bE	23.03±0.15aB	23.65±0.11aA	1.30±0.05aE	1.58±0.03bD	3.53±0.16bC
	PM	1.49±0.05aD	23.78±0.15aA	23.73±0.14aA	1.41±0.07aD	1.95±0.03aC	4.56±0.07aB

处理间比较而言,PM在不同土层铵态氮含量始终高于SM和CK。0—10 cm土层,SM较CK显著提高除拔节期之外的土壤铵态氮含量,增幅为2.20%~61.50%( $p < 0.05$ ),PM处理在6个时期均与CK差异显著,较CK提高了2.81%~102.27%( $p < 0.05$ )。在10—20 cm土层,SM在苗期、拔节期、大喇叭口一抽雄期、收获期较CK提高了1.79%~16.90%( $p < 0.05$ ),PM在除播前的其余时期较CK提高了2.67%~57.48%

( $p < 0.05$ )。20—40 cm土层,SM在拔节、收获期分别较CK提高铵态氮16.33%和33.33%( $p < 0.05$ );PM在拔节、灌浆、收获期较CK提高土壤铵态氮16.68%,24.92%和72.21%( $p < 0.05$ )。

## 2.3 不同覆盖处理下土壤微生物量氮含量动态

从表5可以看出,SM各土层微生物量氮动态表现为苗期下降、拔节期上升、大喇叭口一抽雄期下降、灌浆期保持稳定,收获期回升。PM和CK的变化趋

势与 SM 基本一致,区别在于其在灌浆期开始回升。SM 处理 3 个土层收获期微生物量氮含量均高于播前水平( $p < 0.05$ );PM 与 CK 在 0—10 cm 和 10—20 cm 土层收获期微生物量氮含量显著低于播前水平,而在 20—40 cm 土层没有显著差异。

处理间比较,SM 处理微生物量氮含量始终高于 PM 和 CK。0—10 cm 土层,6 个时期 SM 较 CK 提高了 6.02%~17.54% ( $p < 0.05$ ),PM 处理在除苗

期和拔节期外的其余时期较 CK 有显著下降,降幅为 1.38%~16.11% ( $p < 0.05$ );10—20 cm 土层,6 个时期 SM 较 CK 提高了 9.15%~33.75% ( $p < 0.05$ ),而 PM 较 CK 降低了 2.23%~17.24% ( $p < 0.05$ );20—40 cm 土层,SM 除灌浆期外均显著高于 CK,增幅为 10.80%~25.49% ( $p < 0.05$ ),而 PM 显著降低了除播前外其他时期的微生物量氮含量,降幅为 4.09%~19.65% ( $p < 0.05$ )。

表 5 不同地表覆盖下春玉米不同生育期土壤微生物量氮含量动态

单位:mg/kg

土层深度/cm	处理	播前	苗期	拔节期	大喇叭口—抽雄期	灌浆期	收获期
0—10	CK	28.49±0.08bB	26.45±0.04bC	39.94±0.23bA	23.12±0.24bE	25.00±0.27bD	28.60±0.08bB
	SM	30.20±0.08aC	28.54±0.15aD	44.38±0.24aA	27.18±0.22aE	27.14±0.14aE	31.18±0.06aB
	PM	28.10±0.08cB	26.40±0.15bC	33.51±0.28cA	20.13±0.16cE	23.01±0.39cD	27.78±0.09cB
10—20	CK	23.79±0.26bB	20.40±0.04bC	26.35±0.26bA	16.82±0.16bE	19.13±0.33bD	23.47±0.15bB
	SM	25.97±0.14aC	25.08±0.07aD	31.30±0.28aA	22.50±0.26aE	22.81±0.15aE	26.49±0.10aB
	PM	23.26±0.16cA	19.24±0.12cC	23.09±0.25cA	15.35±0.11cE	15.83±0.17cD	22.80±0.05cB
20—40	CK	15.98±0.17bC	14.14±0.08bE	20.76±0.07bA	13.16±0.05bF	14.94±0.17aD	16.28±0.08bB
	SM	19.87±0.25aC	16.31±0.06aD	26.05±0.18aA	14.58±0.14aF	15.03±0.08aE	20.42±0.08aB
	PM	15.94±0.30bB	13.57±0.10cD	16.68±0.28cA	11.55±0.25cE	13.94±0.23bD	15.51±0.03cC

土壤微生物量氮相对含量在玉米生育期的动态与其绝对含量基本一致,区别在于其在苗期呈上升或稳定的趋势,而其绝对含量则在苗期下降(表 6)。SM 土壤微生物量氮相对含量大多数情况下均高于 PM 和 CK。0—10 cm 土层,SM 处理土壤微生物量氮相对含量在拔节期、大喇叭口—抽雄期和灌浆期均较 CK 有显著提高;

而 PM 在除播前和苗期的其余时期均显著低于 CK 和 SM;10—20 cm 土层,SM 土壤微生物量氮相对含量在各时期均显著高于 CK 和 PM,而 PM 在拔节、大喇叭口—抽雄期和灌浆期显著低于 CK;20—40 cm 土层,在除灌浆期的其余时期 SM 均较 CK 和 PM 有显著提高,PM 在拔节期、大喇叭口—抽雄期显著低于 CK。

表 6 不同地表覆盖下春玉米不同生育期土壤微生物量氮相对含量动态

单位:%

土层深度/cm	处理	播前	苗期	拔节期	大喇叭口—抽雄期	灌浆期	收获期
0—10	CK	2.06±0.05aC	2.28±0.07aB	3.03±0.07bA	1.90±0.06bD	1.94±0.02bD	2.07±0.02aC
	SM	2.05±0.03aD	2.28±0.04aB	3.27±0.05aA	2.17±0.01aC	2.05±0.02aD	2.09±0.02aD
	PM	2.07±0.05aC	2.37±0.03aB	2.67±0.03cA	1.67±0.03cE	1.86±0.04cD	2.02±0.03bC
10—20	CK	1.77±0.05bC	1.86±0.04bB	2.16±0.06bA	1.49±0.01bE	1.58±0.05bD	1.76±0.04bC
	SM	1.86±0.05aD	2.14±0.02aB	2.51±0.04aA	1.94±0.02aC	1.82±0.02aD	1.87±0.02aD
	PM	1.77±0.03bC	1.84±0.06bB	1.90±0.02cA	1.39±0.01cD	1.32±0.04cE	1.79±0.03bBC
20—40	CK	1.37±0.07bC	1.44±0.05bBC	2.16±0.03bA	1.41±0.03bBC	1.48±0.03aB	1.41±0.01bBC
	SM	1.61±0.01aB	1.62±0.03aB	2.60±0.08aA	1.52±0.01aD	1.43±0.03aE	1.67±0.03aB
	PM	1.37±0.02bC	1.50±0.07bB	1.79±0.03cA	1.26±0.01cD	1.43±0.04aC	1.37±0.02bC

#### 2.4 不同覆盖处理下土壤潜在可矿化氮含量动态

土壤潜在可矿化氮的生育期动态均呈苗期下降、拔节期上升、大喇叭口—抽雄期下降、灌浆至收获期回升的趋势(表 7),处理间和土层间变化一致。SM 处理各土层收获期潜在可矿化氮含量均高于播前水平,而 PM 与 CK 收获期与播前差异均不显著。

生育期内 SM 处理的土壤潜在可矿化氮含量始终高于 PM 和 CK。0—10 cm 土层 SM 潜在可矿化氮较 CK 提

高了 16.37%~53.50% ( $p < 0.05$ ),而 PM 仅在拔节期和大喇叭口—抽雄期较 CK 显著降低了 10.19% 和 8.96% ( $p < 0.05$ );10—20 cm 土层,SM 较 CK 提高了 10.40%~23.80% ( $p < 0.05$ ),PM 在除拔节和灌浆期外的其余时期较 CK 降低了 2.57%~6.45% ( $p < 0.05$ );20—40 cm 土层,SM 较 CK 提高了 2.87%~46.35% ( $p < 0.05$ ),PM 仅在拔节期较 CK 降低了 12.34% ( $p < 0.05$ )。

生育期内土壤潜在可矿化氮相对含量的变化与

其绝对含量基本一致(表8),与CK相比,SM在各个土层均提高了土壤潜在矿化氮相对含量,PM在拔节期、大喇叭口—抽雄期较CK降低了0—10 cm 土层

潜在可矿化氮相对含量,在20—40 cm 土层 PM 在苗期较CK提高了潜在可矿化氮相对含量,在拔节期较CK降低该指标,其余时期差异不显著。

表7 不同地表覆盖下春玉米不同生育期土壤潜在可矿化氮含量动态

单位: mg/kg

土层深度/cm	处理	播前	苗期	拔节期	大喇叭口—抽雄期	灌浆期	收获期
0—10	CK	14.89±0.25bB	13.24±0.07bD	20.01±0.18bA	11.98±0.13bE	13.64±0.01bC	14.87±0.10bB
	SM	18.79±0.16aC	16.93±0.13aD	30.10±0.08aA	13.94±0.10aE	17.05±0.06aD	22.83±0.13aB
	PM	14.80±0.16bB	13.08±0.12bD	17.97±0.16cA	10.91±0.05cE	13.52±0.08bC	14.76±0.10bB
10—20	CK	11.44±0.07bB	9.49±0.05bD	15.53±0.10bA	9.22±0.08bE	10.16±0.15bC	11.48±0.09bB
	SM	12.63±0.05aC	11.75±0.06aD	18.93±0.06aA	10.47±0.08aF	11.60±0.08aE	13.64±0.10aB
	PM	10.76±0.10cB	9.25±0.13cD	15.46±0.06bA	8.75±0.07cE	10.15±0.05bC	10.74±0.09cB
20—40	CK	8.50±0.04bB	7.36±0.12bD	8.83±0.08bA	7.17±0.05bE	8.18±0.05bC	8.51±0.06bB
	SM	8.74±0.10aD	8.34±0.06aE	12.93±0.06aA	8.24±0.05aE	9.60±0.05aC	11.28±0.08aB
	PM	8.46±0.04bA	7.33±0.14bD	7.74±0.13cC	7.17±0.05bD	8.16±0.04bB	8.48±0.08bA

表8 不同地表覆盖下春玉米不同生育期土壤潜在可矿化氮相对含量动态

单位: %

土层深度/cm	处理	播前	苗期	拔节期	大喇叭口—抽雄期	灌浆期	收获期
0—10	CK	1.08±0.01bBC	1.14±0.03bB	1.52±0.01bA	0.99±0.02bC	1.06±0.02bBC	1.08±0.01bBC
	SM	1.27±0.02aD	1.35±0.04aC	2.22±0.02aA	1.12±0.01aE	1.29±0.02aD	1.53±0.01aB
	PM	1.09±0.00bC	1.18±0.02bB	1.43±0.03cA	0.91±0.01cD	1.09±0.02bC	1.07±0.02bC
10—20	CK	0.85±0.02bC	0.86±0.01bC	1.27±0.02bA	0.82±0.01bB	0.84±0.01bC	0.86±0.02bC
	SM	0.91±0.02aD	1.00±0.01aB	1.52±0.02aA	0.90±0.02aE	0.93±0.02aCD	0.96±0.01aBC
	PM	0.82±0.01cCD	0.88±0.03bB	1.27±0.01bA	0.79±0.01bD	0.85±0.02bBC	0.84±0.00bCD
20—40	CK	0.73±0.03aC	0.75±0.04bC	0.92±0.02bB	0.77±0.01bA	0.81±0.02bC	0.74±0.01bC
	SM	0.71±0.01aD	0.83±0.02aC	1.29±0.03aA	0.86±0.01aC	0.91±0.03aB	0.92±0.02aB
	PM	0.73±0.02aC	0.81±0.03aA	0.83±0.04cA	0.78±0.01bAB	0.84±0.02bA	0.75±0.01bBC

### 2.5 不同覆盖处理下土壤颗粒有机氮含量动态

从表9可以看出,土壤颗粒有机氮在春玉米生育期内的动态基本呈苗期下降、拔节期上升、大喇叭口—抽雄期下降、灌浆和收获期回升的趋势,处理间和土层间差异不大。SM在0—10 cm和10—20 cm 土层收获期颗粒有机氮含量显著高于播前水平,而PM在10—20 cm、CK在20—40 cm 土层收获期显著低于播前水平。

生育期内SM处理的颗粒有机氮含量始终高于PM和CK。其中在0—10 cm 土层,SM较CK提高了31.58%~60.87% ( $p<0.05$ ),PM仅在灌浆期较CK降低颗粒有机氮10.00% ( $p<0.05$ );10—20 cm 土层,SM较CK的增幅为33.33%~63.16% ( $p<0.05$ ),PM在灌浆、收获期分别较CK降低了16.67%和10.53% ( $p<0.05$ );20—40 cm 土层,SM较CK的增幅为15.79%~41.48% ( $p<0.05$ ),PM在除苗期和大喇叭口—抽雄期外的其余时期较CK降低颗粒有机氮11.76%~17.65% ( $p<0.05$ )。

土壤颗粒有机氮相对含量的生育期动态与其绝对

含量基本一致(表10),区别在于除0—10 cm 土层 SM 之外,其余土层其余处理土壤颗粒有机氮相对含量均在苗期保持稳定而其绝对含量则在苗期下降。与CK相比,SM处理0—10 cm和10—20 cm 土层颗粒有机氮相对含量在各个时期均有显著提高;PM与CK在0—10 cm 差异不显著,而在10—20 cm 灌浆期及20—40 cm 播前、灌浆和收获期较CK有显著下降。

### 3 讨论

土壤全氮量是衡量土壤氮素基础肥力的重要指标<sup>[17]</sup>。本研究中,秸秆覆盖的全氮含量在春玉米绝大部分生育时期均显著高于对照处理,基本呈苗期下降、拔节期上升、大喇叭口—抽雄期下降、灌浆和收获期回升的变化趋势。秸秆还田被微生物分解后可以土壤直接补充氮素,进而提高土壤全氮含量<sup>[18]</sup>。此外,秸秆覆盖显著的稳温、保水作用也有利于土壤氮素的积累<sup>[9]</sup>。大多数研究<sup>[7,19]</sup>表明,秸秆覆盖可以提高土壤表层全氮含量;也有研究<sup>[20]</sup>表明,玉米在不同生育阶段吸收氮素的数量和比例差异较大。苗期玉米植株开始生长,土壤全氮含量下降;拔节期植株

所需氮素含量较少,同时覆盖的秸秆逐渐腐解补充土壤氮库,全氮含量上升;大喇叭口一抽雄期,玉米营养生长与生殖生长并进,植株吸收大量氮素,土壤全氮含量下降;灌浆和收获期植株生长逐渐停止,对氮素的需求较低,此外该阶段部分凋零枝叶开始补给土壤,覆盖的秸秆也充分腐解,有效增加了氮素的输入,土壤全氮回升播前水平。本文秸秆覆盖后土壤全氮的生育期动态与蔡太义<sup>[8]</sup>在渭北旱塬的报道一致,与卜玉山等<sup>[9]</sup>在山西寿阳的研究略有不同。后者研究表明,秸秆覆盖仅在春玉米生育后期(孕穗和成熟期)较对照显著提高了土壤全氮含量,这可能是由于其试验布设年限较短,秸秆覆盖对土壤全氮的累积补充效

果不显著。地膜覆盖下土壤全氮含量在大部分生育时期与对照差异均不显著,仅 0—20 cm 土层全氮在拔节期和作物生育后期较对照降低,且 10—20 cm 土层收获期土壤全氮含量显著低于播前,这与卜玉山等<sup>[9]</sup>的研究一致。地膜覆盖后土壤温度升高,加速土壤氮素的矿化过程<sup>[9]</sup>,进而降低土壤全氮含量。耕层土壤全氮的季节变化与秸秆覆盖相似,耕作下层的变化趋势为苗期至大喇叭口一抽雄期持续下降并保持稳定,随后回升。这与孔猛<sup>[21]</sup>的报道略有不同,其研究表明地膜覆盖下土壤全氮在玉米生育期呈“上升—下降—上升”的趋势,其研究土壤全氮在苗期之所以未呈现下降趋势,可能与播种前施加的氮素底肥含量较高有关。

表 9 不同地表覆盖下春玉米不同生育期土壤颗粒有机氮含量动态

单位:g/kg

土层深度/cm	处理	播前	苗期	拔节期	大喇叭口— 抽雄期	灌浆期	收获期
0—10	CK	0.24±0.01bA	0.19±0.02bC	0.21±0.02bBC	0.16±0.01bD	0.20±0.01bC	0.23±0.01bAB
	SM	0.33±0.02aB	0.25±0.01aD	0.28±0.02aC	0.24±0.01aD	0.28±0.02aC	0.37±0.01aA
	PM	0.22±0.01bA	0.18±0.02bC	0.20±0.02bBC	0.15±0.01bD	0.18±0.01cC	0.21±0.01bAB
10—20	CK	0.20±0.01bA	0.16±0.01bC	0.18±0.01bB	0.14±0.01bC	0.18±0.01bB	0.19±0.01bAB
	SM	0.28±0.02aB	0.22±0.01aE	0.26±0.01aC	0.21±0.01aE	0.24±0.01aD	0.31±0.01aA
	PM	0.19±0.01bA	0.15±0.01bC	0.17±0.01bB	0.14±0.01bC	0.15±0.01cC	0.17±0.01cB
20—40	CK	0.19±0.01bA	0.14±0.01bC	0.17±0.01bB	0.13±0.01bD	0.16±0.01bB	0.17±0.01bB
	SM	0.22±0.02aAB	0.19±0.02aC	0.21±0.01aB	0.17±0.01aC	0.22±0.01aB	0.24±0.01aA
	PM	0.16±0.01cA	0.14±0.01bBC	0.14±0.01cABC	0.13±0.02bC	0.14±0.01cBC	0.15±0.01cAB

表 10 不同地表覆盖下春玉米不同生育期土壤颗粒有机氮相对含量动态

单位:%

土层深度/cm	处理	播前	苗期	拔节期	大喇叭口— 抽雄期	灌浆期	收获期
0—10	CK	17.35±0.50bAB	16.70±1.71bAB	18.42±1.75bA	12.16±0.90bC	15.80±0.63bB	16.42±0.32bAB
	SM	22.15±0.70aB	19.95±0.74aC	22.07±1.10aB	17.45±0.94aD	21.37±1.37aBC	24.56±0.85aA
	PM	16.22±0.90bAB	15.88±1.58bAB	17.65±1.66bA	12.21±0.61bC	14.25±3.34bB	15.54±0.57bB
10—20	CK	14.90±0.60bAB	14.56±0.17bB	16.36±0.80bA	11.76±0.13bC	14.88±0.98bAB	13.96±0.22bB
	SM	19.86±1.50aB	18.47±0.45aB	21.87±0.45aA	16.58±0.54aC	18.93±0.49aB	21.88±0.66aA
	PM	14.16±0.26bB	14.01±0.28bB	15.92±0.25bA	11.78±0.47bD	12.50±0.74cCD	13.06±0.58bC
20—40	CK	16.33±1.48aB	14.63±0.31bBC	17.04±1.23bA	13.19±0.49bC	16.17±0.33bAB	14.41±0.57bC
	SM	18.12±1.11aBC	18.54±1.36aBC	20.54±0.80aA	16.95±1.08aC	20.58±0.78aA	19.29±0.34aAB
	PM	13.80±0.64bB	15.54±1.71bA	15.90±1.33bA	13.55±2.01bA	14.38±0.99cA	12.98±0.52cA

硝态氮和铵态氮是植物可以直接吸收利用的矿质氮素,其会影响作物的生长发育进程。硝态氮和铵态氮的动态与作物的生育进程密不可分,本研究中秸秆覆盖下土壤硝态氮和铵态氮基本呈苗期与拔节期上升、大喇叭口一抽雄期下降、灌浆和收获期回升的变化趋势,与汪景宽等<sup>[22]</sup>的报道一致。与土壤全氮动态的区别在于两种矿质氮在苗期并未下降反而上升,这可能是因为苗期采样时间距离施加底肥的日期较近,苗期到拔节期作物对氮素的吸收缓慢,因而使得该阶段土壤硝态氮、铵态氮含量上升。与对照相

比,秸秆覆盖显著提高了除大喇叭口一抽雄期各土层及播前 20—40 cm 外其余时期其余土层的硝态氮含量,提高了大多数生育时期表层土壤铵态氮含量,这与蔡太义<sup>[8]</sup>和卜玉山等<sup>[9]</sup>的研究一致。Murungu 等<sup>[23]</sup>的研究也表明,覆盖作物可以提高玉米农田土壤矿质氮含量。地膜覆盖下土壤矿质氮动态与秸秆覆盖下类似,较对照显著提高了除大喇叭口一抽雄期外其余时期各土层的硝态氮含量,以及生育后期 0—20 cm 土层铵态氮含量,这与海龙<sup>[12]</sup>的研究一致。

土壤微生物量氮是土壤有机氮中最活跃的组分,

其含量能够反映土壤的供氮能力、同化及矿化能力,是土壤活性大小的标志<sup>[24]</sup>。本研究秸秆覆盖下土壤微生物量氮的生长季动态与土壤全氮基本一致,秸秆覆盖较对照显著提高了几乎各土层各生育时期的土壤微生物量氮含量,且各土层收获期微生物量氮均高于播前水平,这与贾会娟<sup>[7]</sup>在西南丘陵的研究一致。这是因为秸秆分解腐化后进入土壤,可为微生物生长带来更多的碳氮养分,加快微生物生长。苗期秸秆覆盖产生的低温效应使微生物活性降低<sup>[8]</sup>,拔节期逐渐腐解的秸秆可为微生物提供充足营养,随后作物与微生物对土壤养分产生的强烈竞争可能会抑制微生物生长,而进入灌浆、收获期,更多底物的补充使得土壤微生物活性增强<sup>[25]</sup>,微生物量氮含量回升。Almeida等<sup>[26]</sup>的研究也表明,有机覆盖可以提高苹果园夏季和冬季的土壤微生物量氮含量。地膜覆盖后土壤微生物量氮的动态与秸秆覆盖下类似,除了苗期0—10 cm土层和播前与灌浆期20—40 cm土层外,地膜覆盖均较对照显著降低土壤微生物量氮,且收获期10—20 cm土层微生物量氮显著低于播前,这与张成娥等<sup>[13]</sup>在黄土高原的研究一致。于树等<sup>[14]</sup>在沈阳研究的玉米生育期微生物量氮动态与本结果基本一致,但是其结果表明地膜覆盖会提高玉米生长季土壤微生物量氮,这可能与土壤类型、试验年限等有关,具体机制还有待于进一步研究。另外,秸秆覆盖和地膜覆盖处理下各土层土壤微生物量氮相对含量在不同生育期均发生了显著变化,表明地表覆盖后容易引起土壤微生物量氮组分的改变,而这种改变对土壤全氮的动态具有重要贡献。

潜在可矿化氮可以快速、敏感地对覆盖措施做出响应。本研究秸秆覆盖下土壤潜在可矿化氮的生长季动态与微生物量氮基本一致,秸秆覆盖较对照显著提高了各土层各生育时期的土壤潜在可矿化氮含量,且各土层收获期潜在可矿化氮含量均显著高于播前水平。Fang等<sup>[27]</sup>的研究也表明,秸秆覆盖可以提高土壤潜在可矿化氮,这是由于秸秆覆盖可以增加土壤氮素的输入,将较多的矿质氮转化成可矿化有机氮,利于土壤的有机氮素积累<sup>[28]</sup>,在一定程度上减少有机氮矿化。不同生育期秸秆覆盖下土壤潜在可矿化氮的相对含量均发生了显著变化,说明秸秆覆盖后容易引起土壤潜在可矿化氮组分的改变,而这种改变对土壤全氮的动态具有重要意义。研究<sup>[28]</sup>表明,覆膜会加速土壤氮素矿化,不利于土壤氮素的积累。地膜覆盖后土壤潜在可矿化氮的动态与秸秆覆盖下类似,与对照相比,地膜覆盖降低了大多数生育时期10—20 cm

土层潜在可矿化氮,收获期与播前差异均不显著,这与谢驾阳等<sup>[28]</sup>在西北旱地的研究一致,与王永鹏<sup>[29]</sup>的研究结果略有不同。后者的研究<sup>[29]</sup>表明,地膜覆盖可以提高玉米收获期土壤潜在可矿化氮,这可能与试验布设年限有关。本研究中,不同生育期地膜覆盖下土壤潜在可矿化氮的相对含量均发生了显著变化,说明覆膜后引起土壤潜在可矿化氮组分的改变,而这种改变对土壤全氮的动态具有贡献作用。

颗粒有机氮是与土壤砂粒组分结合的有机氮,其含量高低与土壤的供氮潜能成正比<sup>[3]</sup>。本研究秸秆覆盖下土壤颗粒有机氮的生长季动态与土壤全氮基本一致,与对照相比,秸秆覆盖显著提高了各土层各生育时期的土壤颗粒有机氮含量,且各土层收获期颗粒有机氮均高于播前水平。秸秆覆盖对土壤起到一定的保护作用,可以促进土壤的团聚作用<sup>[6]</sup>,因而可以提高颗粒有机氮含量。秸秆覆盖处理土壤颗粒有机氮的相对含量在不同生育期都发生了显著变化,表明地表覆盖后引起了土壤颗粒有机氮组分的改变,而这种改变对总有机氮的动态具有贡献作用。地膜覆盖下土壤颗粒有机氮的动态与秸秆覆盖下类似,与对照相比,地膜覆盖仅在作物生育后期显著降低土壤颗粒有机氮含量,这表明覆膜引起的土壤水热条件变化后加速了土壤颗粒有机氮的矿化过程<sup>[28]</sup>。另外,需要注意的是地膜覆盖处理的耕作下层(20—40 cm)土壤颗粒有机氮在不同生育时期均出现显著波动,但其相对含量并无明显变化,这说明尽管覆盖改变了土壤全氮库,但并未影响到该土层颗粒有机氮组分所占比例,颗粒有机氮的增加或降低是土壤全氮变化的结果。

## 4 结论

(1)除硝态氮和铵态氮在苗期上升之外,秸秆和地膜覆盖下土壤全氮及其组分在春玉米生育期基本呈苗期下降、拔节期上升、大喇叭口—抽雄期下降、灌浆和收获期回升的变化趋势;

(2)与对照相比,秸秆覆盖提高了大多数生育时期0—40 cm土层全氮和硝态氮及0—20 cm土层铵态氮含量,提高了几乎各生育时期0—40 cm土层微生物量氮、潜在可矿化氮及颗粒有机氮含量,有助于培肥地力和土壤固氮;

(3)而地膜覆盖较对照提高了大多数生育时期0—40 cm土层硝态氮及0—20 cm土层铵态氮含量,降低了作物生育后期0—20 cm土层全氮和0—40 cm土层颗粒有机氮含量,降低了大多数时期0—40 cm土层微生物量氮和10—20 cm土层潜在可矿化氮含量。



(4)除了地膜覆盖下 20—40 cm 颗粒有机氮相对含量在作物不同生育期差异不显著外,其余土层秸秆和地膜覆盖下土壤微生物量氮、潜在可矿化氮、颗粒有机氮对土壤全氮的动态均有重要贡献。

#### 参考文献:

- [1] 王宇通,邵新庆,黄欣颖,等.植物根系氮吸收过程的研究进展[J].草业科学,2010,27(7):105-111.
- [2] 朱兆良.土壤中氮素的转化和移动的研究近况[J].土壤学进展,1979(2):1-6.
- [3] 赵丹丹,王俊,付鑫.长期定位施肥对旱作农田土壤全氮及其组分的影响[J].水土保持学报,2016,30(4):303-307.
- [4] Vestgarden L S, Kjnaas O J. Potential nitrogen transformations in mineral soils of two coniferous forests exposed to different N inputs [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 174(1): 191-202.
- [5] Sainju U M, Caesartonthat T, Lenssen A W, et al. Tillage and cropping sequence impacts on nitrogen cycling in dryland farming in eastern Montana, USA [J]. Soil and Tillage Research, 2009, 103(2): 332-341.
- [6] 梁贻仓,王俊,刘全全,等.地表覆盖对黄土高原土壤有机碳及其组分的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):161-167.
- [7] 贾会娟.西南丘陵区保护性耕作下旱作农田土壤有机碳、氮相关组分的研究[D].重庆:西南大学,2015.
- [8] 蔡太义.渭北旱原不同量秸秆覆盖对农田环境及春玉米生理生态的影响[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [9] 卜玉山,邵海林,王建程,等.秸秆与地膜覆盖春玉米和春小麦耕层土壤碳氮动态[J].中国生态农业学报,2010,18(2):322-326.
- [10] 付鑫,王俊,赵丹丹.地膜覆盖对黄土高原旱作春玉米田土壤碳氮组分的影响[J].水土保持学报,2017,31(3):239-243.
- [11] 潘雅文,樊军,郝明德,等.黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(6):1558-1567.
- [12] 海龙.黄土高原地膜覆盖栽培玉米的产量与土壤生态效应[D].兰州:兰州大学,2011.
- [13] 张成娥,梁银丽,贺秀斌.地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响[J].生态学报,2002,22(4):508-512.
- [14] 于树,汪景宽,高艳梅.地膜覆盖及不同施肥处理对土壤微生物量碳和氮的影响[J].沈阳农业大学学报,2006,37(4):602-606.
- [15] 李富翠.旱地夏闲期覆盖秸秆和种植绿肥协调土壤水肥供应的效应与机制[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2015:18.
- [16] 宋淑亚,刘文兆,王俊,等.覆盖方式对玉米农田土壤水分、作物产量及水分利用效率的影响[J].水土保持研究,2012,19(2):210-212.
- [17] Gale W J, Cambardella C A. Carbon dynamics of surface residue- and root-derived organic matter under simulated no-till [J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(1): 190.
- [18] 王晓波,车威,纪荣婷,等.秸秆还田和保护性耕作对砂姜黑土有机质和氮素养分的影响[J].土壤,2015,47(3):483-489.
- [19] 王淑兰,王浩,李娟,等.不同耕作方式下长期秸秆还田对旱作春玉米田土壤碳、氮、水含量及产量的影响[J].应用生态学报,2016,27(5):1530-1540.
- [20] 刘慧镗.夏玉米施肥技术[J].河南农业,2011(11):21.
- [21] 孔猛.半干旱黄土区地膜覆盖对玉米生长及土壤生态环境的影响[D].兰州:兰州大学,2016.
- [22] 汪景宽,刘顺国,李双异.长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤无机氮和氮素矿化率的影响[J].水土保持学报,2006,20(6):107-110.
- [23] Murungu F S, Chiduzza C, Muchaonyerwa P, et al. Mulch effects on soil moisture and nitrogen, weed growth and irrigated maize productivity in a warm-temperate climate of South Africa [J]. Soil and Tillage Research, 2011, 112(1): 58-65.
- [24] Diaz-Ravina M, Acea M J, Carballas T. Microbial biomass and its contribution to nutrient concentrations in forest soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1993, 25(1): 25-31.
- [25] Liesack W, Schnell S, Revsbech N P. Microbiology of flooded rice paddies [J]. Fems Microbiology Reviews, 2000, 24(5): 625-645.
- [26] Almeida, Filho O K, OsmarAlmeida, et al. Soil microbial biomass under mulch types in an integrated apple orchard from Southern Brazil [J]. Scientia Agricola, 2011, 68(2): 217-222.
- [27] Fang S, Xie B, Dong L, et al. Effects of mulching materials on nitrogen mineralization, nitrogen availability and poplar growth on degraded agricultural soil [J]. New Forests, 2011, 41(2): 147-162.
- [28] 谢驾阳,王朝辉,李生秀,等.地表覆盖对西北旱地土壤有机氮累积及矿化的影响[J].中国农业科学,2010,43(3):507-513.
- [29] 王永鹏.秸秆还田与地膜覆盖耦合对玉米产量及土壤有机质平衡的影响[D].兰州:兰州大学,2014.