

DOI: 10.5846/stxb201707291367

付鑫,王俊,张祺,戈小荣.秸秆和地膜覆盖对渭北旱作玉米农田土壤氮组分与产量的影响.生态学报,2018,38(19): - .

FU X, WANG J, Zhang Q, Ge X R. Effects of straw and plastic film mulching on soil nitrogen fractions and corn yield in the Weibei rainfed highland. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(19): - .

秸秆和地膜覆盖对渭北旱作玉米农田土壤氮组分与产量的影响

付 鑫¹, 王 俊^{1,2,*}, 张 祺¹, 戈小荣¹

1 西北大学城市与环境学院, 西安 710127

2 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127

摘要:基于田间定位试验,研究了秸秆和地膜覆盖措施对旱作春玉米田土壤氮组分和作物产量的影响。试验包括无覆盖对照,秸秆覆盖和地膜覆盖 3 个处理,观测指标包括土壤全氮(STN)、颗粒有机氮(PON)、潜在可矿化氮(PNM)、微生物量氮(MBN)、硝态氮(NO_3^- -N)、铵态氮(NH_4^+ -N)含量及作物产量。结果表明:试验进行 5 到 7 年后,与对照相比,秸秆覆盖处理 0—10 cm 土层 STN、PON、PNM、MBN 和 NO_3^- -N 含量 3 年平均分别提高了 13.11%、64.29%、17.51%、16.94% 和 55.37%, 10—20 cm 土层 STN、PON、MBN 和 NO_3^- -N 含量 3 年平均分别提高了 5.93%、33.33%、15.78% 和 27.57% ($P < 0.05$)。而地膜覆盖处理 0—10 cm 和 10—20 cm 土层 NO_3^- -N 的含量较对照分别提高了 189.14% 和 135.75% ($P < 0.05$),其它氮组分与对照处理差异不显著。秸秆和地膜覆盖处理玉米产量较对照处理 3 年平均分别提高了 6.90% 和 36.74% ($P < 0.05$)。玉米产量与 0—20 cm 土层 NO_3^- -N 含量和 NO_3^- -N/STN 值呈显著正相关关系。总的来看,秸秆覆盖能显著增加旱地土壤全氮和活性有机氮含量,促进氮素固定,但需注意作物生长后期补充氮肥以满足作物生长需要。而地膜覆盖能显著提高土壤氮素有效性和作物产量,但不利于土壤有机氮的固定,且表层土壤存在潜在氮淋失风险。

关键词:秸秆覆盖;地膜覆盖;土壤氮组分;产量;旱作农田

Effects of straw and plastic film mulching on soil nitrogen fractions and corn yield in the Weibei rainfed highland

FU Xin¹, WANG Jun^{1,2,*}, Zhang Qi¹, Ge Xiaorong¹

1 College of Urban and Environment Science, Northwest University, Xi'an 710127, China

2 Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Xi'an 710127, China

Abstract: Mulching with straw and plastic film has been widely used to conserve soil water, increase temperatures, and increase crop yield in the dryland areas. However, its influence on soil nitrogen fractions is not well known. Based on a 7 year field experiment in the Weibei rainfed highland area of Loess Plateau of China, we compared the long-term effects of straw and plastic mulching on soil total nitrogen (STN), particulate organic nitrogen (PON), potential nitrogen mineralization (PNM), microbial biomass nitrogen (MBN), and mineral nitrogen (NO_3^- -N and NH_4^+ -N) as well as on corn yield. Three treatments were included: no mulching, straw mulching, and plastic film mulching. Averaged across 5—7 years, the concentrations of STN, PON, PNM, MBN, and NO_3^- -N at 0—10 cm depth increased by 13.11%, 64.29%, 17.51%, 16.94%, and 55.37%, and the STN, PON, MBN, and NO_3^- -N concentrations at 10—20 cm increased by 5.93%, 33.33%, 15.78%, and 27.57% with straw than with no mulching ($P < 0.05$), respectively. The concentration of NO_3^- -N

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31570440,31270484);西北大学优秀博士学位论文培育项目(YXB17017)

收稿日期:2017-07-29; **网络出版日期:**2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangj@nwnu.edu.cn

increased by 189.14% and 135.75% at 0—10 and 10—20 cm in plastic film compared to no mulching ($P < 0.05$), respectively, and no significant differences in other fractions were found between plastic film and no mulching at both soil depths. Crop yield was improved by 6.90% and 36.74% in straw and plastic film mulching compared with no mulching ($P < 0.05$), respectively. Corn yield positively correlated with NO_3^- -N and NO_3^- -N/STN contents at 0—20 cm depths. Overall, straw mulching is favorable on soil N sequestration and could increase soil N activity and crop yield. However, N fertilizer should be applied during the late growing stage to maintain corn yield. Plastic mulching can effectively increase crop yield, but had no effect on soil total nitrogen, and its fractions and increased the risk of N leaching due to high NO_3^- -N accumulation in the soil.

Key Words: straw mulching; plastic film mulching; soil nitrogen fractions; yield; dryland farming system

氮不仅是大气圈中最丰富的元素,而且也是陆地生态系统多数植物光合作用和初级生产过程中重要元素之一^[1]。土壤全氮(STN)是衡量土壤质量、反映土壤供氮能力的重要指标,但其库存量大,因此并不能快速准确地反映土壤氮素的变化特征^[2]。土壤颗粒有机氮(PON)是与土壤砂粒组分结合的有机氮,通常由未分解或半分解的动植物和根系残体组成,对土壤中植物残体的积累和根系分布的变化较为敏感,是一种半活性有机氮^[3]。土壤微生物在陆地生态系统氮循环中控制着其矿化和固定^[4],尽管土壤微生物所占比例较小,但由于对外界条件变化敏感,其大小、活性、组成等强烈受耕作措施的影响,因而土壤潜在矿化氮(PNM)、微生物量氮(MBN)等活性氮组分较 STN 更能及时反映土壤质量状况^[2,5]。

渭北旱塬地处黄土高原中南部,降水偏少且季节分布不均,是限制该地区农业发展的主要因素^[5]。近几十年来,地表覆盖措施因良好的蓄水保墒和增产效果在该地区得到广泛应用,其中秸秆和地膜覆盖措施最为普遍。地表覆盖后改变了土壤的水、气、热状况^[6-7],进而必然会对土壤的生物活性、氮素的固定与矿化等产生影响,最终影响作物产量。近几年来,国内外已对覆盖措施对土壤氮含量及产量的影响作用展开了较多研究^[8-11]。一般认为,秸秆覆盖可以有效提高土壤固氮水平^[11-12],但对产量的影响则结果不一,影响因素包括覆盖时间、覆盖量、施肥量等^[6,13]。地膜覆盖对土壤氮库的影响因不同覆盖时间和地区结果不一致,研究认为地膜覆盖可促进土壤有机氮矿化,提高作物对氮素的吸收,提高作物产量^[14-15],但其增产作用以消耗地力为代价,在水肥不能充分保证的旱地上,长期地膜覆盖容易导致土壤肥力下降^[11]。

目前国内外关于秸秆或地膜覆盖与不覆盖对照的对比试验已有较多报道,但主要集中在覆盖措施对土壤全氮和产量的影响方面,涉及土壤有机氮组分的研究较为少见。本文基于陕西长武旱作春玉米覆盖定位试验,研究了秸秆和地膜覆盖措施下土壤全氮和活性氮组分含量变化及其对春玉米产量的影响,旨在加深对覆盖措施下农田土壤氮循环过程和作物生产力形成机制方面的理解。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

试验在陕西长武生态系统国家野外科学观测研究站农田(107°44'E, 35°12'N)进行。该区地处黄土高原中南部渭北旱塬,属暖温带半干旱半湿润大陆性季风气候。多年平均降水量为 584.1 mm(图 1),主要集中在 7—9 月,年际间降水分配不均。试验站海拔 1220 m,地塬平坦,光热资源充足,年平均温度为 9.2℃,年日照时数为 2230 h,无霜期为 171 d。供试土壤属粘壤质黑垆土,土质疏松,土层深厚。试验布设前 0—20 cm 土层有机碳含量为 9.05 g/kg,全氮含量为 1.10 g/kg, pH 值为 8.4。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计

春玉米覆盖定位试验始于 2009 年 4 月,共设 3 个处理,无覆盖对照(CK),全生育期秸秆覆盖(SM)和全生育期地膜覆盖(PM),每处理重复 3 次。试验小区面积 66.7 m²,随机区组排列。区、组间距分别为 0.5、1 m,

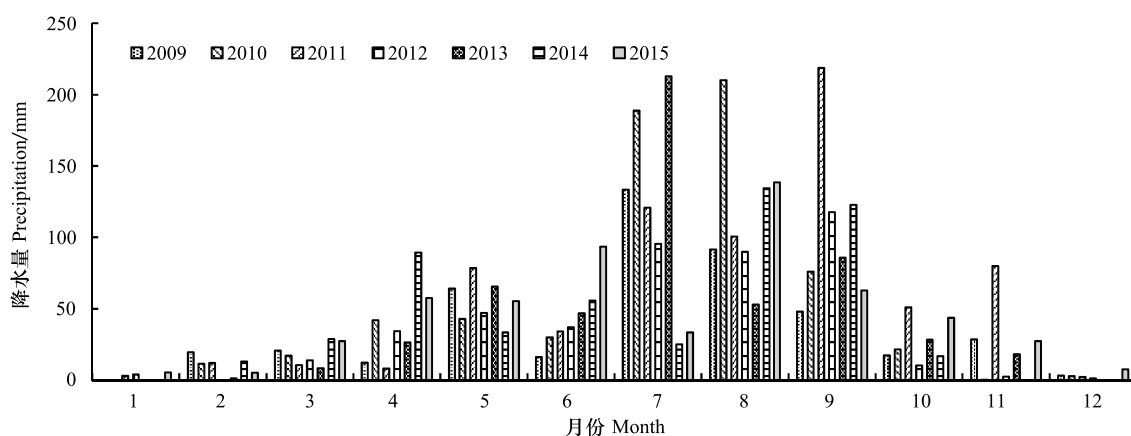


图1 2009—2015 年长武黄土高原农业生态试验站月降水量分布

Fig.1 Distribution of monthly precipitation at the Changwu Agroecological Station from 2009 to 2015

四周保护带宽 1 m。

供试春玉米品种为先玉 335, 每年 4 月中旬人工开沟播种, 南北行种植, 行距 60 cm, 株距 30 cm, 种植密度为 56000 株/hm²。每年播种前用圆盘耙机松土蓄墒, 各小区按 135 kg N/hm² 和 90 kg P/hm² 水平分别施入尿素(总氮 ≥ 46.6%) 和过磷酸钙(总 P₂O₅ ≥ 46%) 作为基肥, 作物生育期内不再施肥。秸秆覆盖处理采用春玉米整株覆盖方式进行, 覆盖量为 9000 kg/hm², 于玉米播种出苗后覆盖, 作物收获后将残余秸秆人工移除。地膜覆盖处理于播种前使用幅宽 1.2 m 的可降解地膜进行地表覆膜, 覆膜后进行人工穴播。作物生长完全依靠自然降水, 无灌溉, 人工控制杂草。玉米于当年 9 月中旬人工收获, 籽粒收获后将当年作物秸秆移除。

1.2.2 土壤样品采集

分别于 2013、2014 和 2015 年 9 月下旬玉米收获后, 采用“S”形采样法采集各小区 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的土壤样品, 室温下自然风干。风干后去除植物残体和石块, 过 2 mm 筛后用于 PON、PNM、MBN 和矿质氮(NO₃⁻-N、NH₄⁺-N) 含量的测定; 过 0.15 mm 筛后用于 STN 含量的测定。

1.2.3 测定指标与方法

STN 采用 EA 3000 元素分析仪测定。PON 采用 Cambardella 等提出的测定方法^[3], 即称取 10 g 土样放入 50 mL 塑料瓶中, 加 5 g/L 的 (NaPO₃)₆ 溶液 30 mL, 在振荡机 (150 r/min) 上震荡 16 h 后, 将溶液置于 53 μm 筛上, 用蒸馏水冲洗至沥滤液澄清, 将过滤出的土壤在 55 °C 下烘干至恒重, 计算其占整个土壤样品的百分比, 用 STN 含量减去非颗粒有机氮含量, 即为 PON 含量。PNM 采用密闭培养法测定^[16], 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 d 后, 用浓度为 2 mol/L 的 KCl 溶液 50 mL 浸提 1 h, 使用 Cleverchem380 (DeChem—Tech) 全自动间断化学分析仪测定浸提液中的 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 含量, PNM 含量即为 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 之和在培养前后的差值。MBN 采用氯仿熏蒸培养法测定^[2], 先将复湿土壤培养 10 d, 在真空容器中氯仿熏蒸 24 h, 再放入培养箱中培养 10 d, 然后用与 PNM 测定相同的方式浸提土壤, 测定 MBN。土壤矿质氮(NO₃⁻-N、NH₄⁺-N) 含量采用 2 mol/L KCl 溶液浸提后用 Cleverchem380 (DeChem—Tech) 全自动间断化学分析仪测定。在玉米成熟后, 校正田间实际种植密度, 选取小区中间两行测定产量。

1.2.4 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析。采用单因素 (one-way ANOVA) 和邓肯 (Duncan) 法进行方差分析和多重比较, 并分别对作物产量与各氮组分含量间进行相关分析。利用 Microsoft Excel 2010 软件作图, 图中变异性采用标准差表示。

2 结果与分析

2.1 土壤全氮

不同覆盖处理对 2013—2015 年 0—20 cm 土层 STN 含量具有显著影响(表 1)。在 0—10 cm 土层,从 3 年平均值来看,SM 处理 STN 含量较 CK 和 PM 处理提高了 13.11%和 12.20%($P<0.05$),CK 和 PM 处理间无显著差异。在 2013—2015 各年间,STN 含量处理间变化趋势与 3 年平均值一致。在 10—20 cm 土层,SM 处理 STN 含量较 CK 和 PM 处理 3 年平均分别提高了 5.93%和 5.04%($P<0.05$),CK 和 PM 差异不显著,其中 2013 年 SM 处理显著高于 PM 处理,2014 年各处理间无显著差异,2015 年 SM 处理显著高于 CK 和 PM 处理。

表 1 2013—2015 年不同覆盖处理下土壤全氮含量/(g/kg)

Table 1 Soil total nitrogen content under different treatments during 2013—2015

土层/cm Soil layer	处理 Treatment	年份 Year			
		2013	2014	2015	平均 Mean
0—10	CK	1.18±0.06b	1.27±0.02b	1.22±0.04b	1.22±0.02b
	SM	1.36±0.08a	1.42±0.07a	1.35±0.07a	1.38±0.04a
	PM	1.19±0.06b	1.29±0.04b	1.21±0.01b	1.23±0.02b
10—20	CK	1.19±0.01ab	1.18±0.08a	1.18±0.02b	1.18±0.02b
	SM	1.26±0.07a	1.28±0.01a	1.22±0.03a	1.25±0.04a
	PM	1.15±0.04b	1.26±0.04a	1.17±0.02b	1.19±0.03b

表中的值为平均值±SD,同一列小写字母不同表明同一土层不同处理间差异在 $P<0.05$ 水平显著;CK:无覆盖对照, control without mulching;SM:秸秆覆盖处理, straw mulching;PM:地膜覆盖处理, plastic film mulching

2.2 颗粒有机氮

由表 2 可以得出,在 0—10 cm 土层,从 3 年平均值来看,SM 处理 PON 含量较 CK 和 PM 分别提高 64.29%和 53.33%($P<0.05$),CK 与 PM 处理间无显著差异。在 2013—2015 各年间,PON 含量处理间变化趋势与 3 年平均值一致。在 10—20 cm 土层,SM 处理 PON 含量较 CK 和 PM 处理 3 年平均分别提高了 33.33%和 25.00%($P<0.05$),CK 和 PM 处理差异不显著。在 2013 年,CK 和 SM 处理 PON 含量显著高于 PM 处理,CK 和 SM 间差异不显著;在 2014 和 2015 年,PON 含量处理间变化特征与 3 年平均值相同。从 3 年平均值来看,PON/STN 值与 PON 含量处理间变化特征一致,在 0—10 cm 和 10—20 cm 土层 SM 处理 PON/STN 值显著高于 CK 和 PM 处理,CK 和 PM 间差异不显著。

表 2 2013—2015 年不同覆盖处理下土壤颗粒有机氮含量

Table 2 Soil particulate organic nitrogen content under different treatments during 2013—2015

指标 Index	土层/cm Soil layer	处理 Treatment	年份 Year			
			2013	2014	2015	平均值 Mean
颗粒有机氮 PON/(g/kg)	0—10	CK	0.16±0.05b	0.16±0.03b	0.11±0.04b	0.14±0.01b
		SM	0.28±0.09a	0.24±0.04a	0.18±0.06a	0.23±0.02a
		PM	0.18±0.03b	0.17±0.03b	0.10±0.02b	0.15±0.01b
	10—20	CK	0.19±0.02a	0.15±0.03b	0.10±0.02b	0.15±0.01b
		SM	0.19±0.04a	0.23±0.02a	0.17±0.03a	0.20±0.02a
		PM	0.16±0.03b	0.19±0.04b	0.13±0.01b	0.16±0.02b
颗粒有机氮相对含量 PON/STN/%	0—10	CK	13.33±3.11b	12.66±1.81b	9.32±2.47b	11.77±0.82b
		SM	20.59±4.86a	17.29±2.81a	13.24±3.15a	17.04±1.55a
		PM	15.22±1.69b	12.93±1.84b	8.18±1.85b	12.11±0.70b
	10—20	CK	16.37±1.72a	12.66±1.15b	8.90±1.56b	12.64±0.42b
		SM	15.45±2.44a	18.27±0.85a	14.30±1.86a	16.01±0.83a
		PM	13.85±1.66a	15.36±2.70b	10.87±0.78b	13.36±1.61b

PON:颗粒有机氮 Particulate organic nitrogen;PON/STN:颗粒有机氮相对含量 Percent of soil particulate organic nitrogen of soil total nitrogen

2.3 潜在可矿化氮和微生物量氮

表 3 和表 4 是不同覆盖处理对土壤 PNM 和 MBN 含量的影响情况。由表 3 可知: 在 0—10 cm 土层, 从 3 年平均值来看, SM 处理 PNM 含量较 CK 和 PM 处理提高了 17.51% 和 22.16% ($P < 0.05$), 且 CK 处理显著高于 PM 处理。在 2013 年, CK 和 SM 处理显著高于 PM 处理; 在 2014 和 2015 年, SM 处理显著高于 CK 和 PM 处理, CK 和 PM 处理差异不显著。在 10—20 cm 土层, 从 3 年平均值来看, SM 和 PM 处理 PNM 含量较 CK 处理提高了 14.59% 和 9.60% ($P < 0.05$), SM 和 PM 处理间差异不显著。在 2013 年, SM 和 PM 处理 PNM 含量显著高于 CK 处理, 在 2014 和 2015 年各处理间无显著差异。从 3 年平均值来看, 在 0—10 cm 土层, SM 处理 PNM/STN 值高于 CK 处理, 而 PM 处理 PNM/STN 值低于 CK 处理, 但均未达到显著性水平。

表 3 2013—2015 年不同覆盖处理下土壤潜在可矿化氮含量

Table 3 Soil potential N mineralization content under different treatments during 2013—2015

指标 Index	土层/cm Soil layer	处理 Treatment	年份 Year			
			2013	2014	2015	平均值 Mean
潜在矿化氮 PNM/(mg/kg)	0—10	CK	35.65±0.97a	24.37±1.17b	40.06±2.11b	33.36±0.59b
		SM	39.46±2.94a	32.24±2.80a	45.90±1.98a	39.20±0.66a
		PM	31.22±1.59b	24.13±1.24b	40.91±2.24b	32.09±0.65c
	10—20	CK	20.32±0.02b	23.09±2.23a	38.42±2.19a	27.28±0.34b
		SM	27.28±2.92a	23.48±1.21a	43.03±2.54a	31.26±1.34a
		PM	24.21±0.98a	21.59±0.77a	43.91±3.45a	29.90±1.61a
潜在矿化氮相对含量 PNM/STN/%	0—10	CK	3.01±0.11a	1.93±0.09ab	3.29±0.24a	2.75±0.03ab
		SM	2.90±0.19a	2.28±0.22a	3.40±0.27a	2.86±0.13a
		PM	2.63±0.19a	1.87±0.09b	3.29±0.16a	2.62±0.09b
	10—20	CK	1.71±0.01b	1.95±0.05a	3.27±0.19a	2.31±0.05a
		SM	2.17±0.16a	1.84±0.07ab	3.53±0.21a	2.51±0.12a
		PM	2.10±0.01a	1.71±0.10b	3.74±0.21a	2.52±0.09a

PNM: 潜在矿化氮 Potential nitrogen mineralization; PNM/STN: 潜在矿化氮相对含量 Percent of soil potential nitrogen mineralization of soil total nitrogen

从表 4 可以看出, 在 0—10 cm 土层, 从 3 年平均值来看, SM 处理 MBN 含量较 CK 和 PM 处理提高了 16.94% 和 16.56% ($P < 0.05$), CK 与 PM 间差异不显著。在 2013—2015 各年间, MBN 含量处理间变化趋势与 3 年平均值一致。在 10—20 cm 土层中, 从 3 年平均值来看, 各处理变化特征与 0—10 cm 土层一致, SM 处理 MBN 含量较 CK 和 PM 处理提高了 15.78% 和 12.16% ($P < 0.05$), CK 和 PM 间差异不显著, 其中 2013 年 SM 处理 MBN 含量显著高于 CK 和 PM 处理, 但在 2014 和 2015 年各处理间差异不显著。从 3 年平均值来看, 在 0—10 cm 土层, 各处理间 MBN/STN 值差异不显著; 在 10—20 cm 土层, SM 处理 MBN/STN 值显著高于 CK 和 PM 处理。

2.4 土壤矿质氮

由表 5 可以看出, 在 0—10 cm 土层, 从 3 年平均值来看, SM 和 PM 处理 NO_3^- -N 含量较 CK 处理提高了 55.37% 和 189.14%, PM 较 SM 处理提高了 86.10% ($P < 0.05$), 在 2013—2015 各年间 NO_3^- -N 处理间变化特征与 3 年平均值一致。在 10—20 cm 土层中, 从 3 年平均值来看, SM 和 PM 处理 NO_3^- -N 含量较 CK 处理提高了 27.57% 和 135.75%, PM 较 SM 处理提高了 84.80% ($P < 0.05$)。2013 和 2015 年处理间 NO_3^- -N 含量变化趋势与 3 年平均值一致, 在 2014 年 PM 处理 NO_3^- -N 含量显著高于 CK 和 SM 处理, 且 CK 和 SM 处理差异不显著。从 3 年平均值来看, 在 0—10 cm 和 10—20 cm 土层处理间 NO_3^- -N/STN 值与 NO_3^- -N 含量变化特征相同, PM 处理 NO_3^- -N/STN 值显著高于 CK 和 SM 处理, SM 处理显著高于 CK 处理。由表 6 可知, 在 2013—2015 各年间, 各处理 NH_4^+ -N 含量均无显著差异。从 3 年平均值来看, 在 0—10 cm 土层, SM 处理 NH_4^+ -N/STN 值显著低于 CK 和 PM 处理, CK 与 PM 间差异不显著。

表 4 2013—2015 年不同覆盖处理下土壤微生物量氮含量

Table 4 Soil microbial biomass N content under different treatments during 2013—2015

指标 Index	土层/cm Soil layer	处理 Treatment	年份 Year			
			2013	2014	2015	平均值 Mean
微生物量氮 MBN/(mg/kg)	0—10	CK	36.30±0.50b	34.94±0.70b	36.60±2.07b	35.94±0.72b
		SM	43.12±2.92a	39.75±0.66a	43.21±3.16a	42.03±0.44a
		PM	37.35±1.59b	33.86±0.58b	36.97±0.09b	36.06±0.52b
	10—20	CK	34.26±0.95b	30.31±2.19a	34.12±3.66a	32.90±1.58b
		SM	44.42±3.43a	32.69±1.03a	37.17±1.43a	38.09±1.60a
		PM	36.19±2.44b	31.24±0.94a	34.47±0.30a	33.96±1.02b
微生物量氮相对含量 MBN/STN/%	0—10	CK	3.08±0.11a	2.76±0.06a	3.00±0.19a	2.95±0.04a
		SM	3.17±0.19a	2.81±0.15a	3.21±0.31a	3.06±0.11a
		PM	3.15±0.21a	2.62±0.04a	3.05±0.02a	2.94±0.06a
	10—20	CK	2.89±0.07c	2.58±0.23a	2.90±0.25a	2.79±0.12b
		SM	3.54±0.14a	2.56±0.05a	3.05±0.07a	3.05±0.04a
		PM	3.14±0.08b	2.48±0.13a	2.94±0.04a	2.85±0.05b

MBN:微生物量氮 Microbial biomass nitrogen; MBN/STN:微生物量氮相对含量 Percent of soil microbial biomass nitrogen of soil total nitrogen

表 5 2013—2015 年不同覆盖处理土壤硝态氮含量

Table 5 Soil NO₃⁻-N content under different treatments during 2013—2015

指标 Index	土层/cm Soil layer	处理 Treatment	年份 Year			
			2013	2014	2015	平均值 Mean
硝态氮 NO ₃ ⁻ -N/(mg/kg)	0—10	CK	10.41±0.80c	6.31±0.13c	10.64±2.10c	9.12±0.49c
		SM	16.42±0.19b	10.82±1.68b	15.26±2.25b	14.17±0.21b
		PM	25.76±4.59a	27.68±1.06a	25.66±2.34a	26.37±0.89a
	10—20	CK	10.34±1.66c	7.72±0.11b	7.62±1.36c	8.56±0.45c
		SM	15.47±1.78b	7.29±0.15b	10.01±0.27b	10.92±0.59b
		PM	20.87±2.73a	18.83±0.21a	20.85±0.07a	20.18±0.86a
硝态氮相对含量 NO ₃ ⁻ -N/STN/%	0—10	CK	0.88±0.06b	0.50±0.01c	0.87±0.15b	0.75±0.03c
		SM	1.21±0.05b	0.76±0.10b	1.13±0.18b	1.04±0.05b
		PM	2.16±0.24a	2.14±0.08a	2.11±0.15a	2.14±0.02a
	10—20	CK	0.87±0.11b	0.66±0.03b	0.65±0.10c	0.73±0.03c
		SM	1.24±0.16b	0.57±0.01c	0.82±0.03b	0.88±0.05b
		PM	1.82±0.20a	1.49±0.05a	1.78±0.02a	1.70±0.06a

NO₃⁻-N:硝态氮 Nitrate nitrogen; NO₃⁻-N/STN:硝态氮相对含量 Percent of soil nitrate nitrogen of soil total nitrogen

表 6 2013—2015 年不同覆盖处理土壤铵态氮含量

Table 6 Soil NH₄⁺-N content under different treatments during 2013—2015

指标 Index	土层/cm Soil layer	处理 Treatment	年份 Year			
			2013	2014	2015	平均值 Mean
铵态氮 NH ₄ ⁺ -N/(mg/kg)	0—10	CK	10.52±0.57a	9.63±3.10a	8.26±0.07a	9.47±0.91a
		SM	10.48±0.60a	9.46±2.54a	8.00±0.34a	9.32±0.57a
		PM	10.16±0.19a	9.41±1.74	8.40±0.50a	9.32±0.71a
	10—20	CK	10.59±0.63a	9.69±1.78a	8.16±0.39a	9.48±0.63a
		SM	10.82±0.14a	9.37±0.72a	7.98±0.22a	9.39±0.22a
		PM	10.19±0.06a	9.35±2.52a	8.11±0.34a	9.22±0.92a
铵态氮相对含量 NH ₄ ⁺ -N/STN/%	0—10	CK	1.79±0.09a	1.52±0.20a	1.35±0.05a	1.55±0.05a
		SM	1.54±0.06b	1.34±0.17a	1.18±0.03b	1.35±0.07b
		PM	1.71±0.08ab	1.45±0.07a	1.38±0.03a	1.52±0.04a
	10—20	CK	1.79±0.04a	1.65±0.21a	1.39±0.02a	1.61±0.07a
		SM	1.73±0.07a	1.47±0.04a	1.31±0.02b	1.50±0.02a
		PM	1.77±0.05a	1.48±0.17a	1.38±0.03a	1.55±0.04a

NH₄⁺-N:铵态氮 Ammonia nitrogen; NH₄⁺-N/STN:铵态氮相对含量 Percent of soil ammonia nitrogen of soil total nitrogen

2.5 玉米产量

由图 2 可以看出,不同覆盖处理对春玉米籽粒产量产生显著影响。从 3 年平均值来看,与 CK 处理相比,SM 和 PM 处理玉米籽粒产量分别提高了 6.90% 和 36.74% ($P < 0.05$)。在 2013—2015 年,PM 处理籽粒产量均高于 CK 和 SM 处理,PM 处理较 CK 处理于不同年份分别提高了 49.32%, 29.45% 和 32.49% ($P < 0.05$)。SM 处理在 2013 年和 2015 年籽粒产量显著高于 CK 处理,分别提高了 7.95% 和 11.46% ($P < 0.05$),而在 2014 年 SM 和 CK 间无显著差异。相关分析结果表明(图 3),玉米产量与 0—20 cm 土层土壤 NO_3^- -N 含量和 NO_3^- -N/STN 值呈显著正相关关系。

3 讨论

在本研究结果中,与无覆盖对照相比,经过 7 年的覆盖措施,秸秆覆盖处理下 STN 含量明显提高,而地膜覆盖处理下 STN 含量无明显变化,这与卜玉山等^[11]的研究结果一致。秸秆覆盖后本身腐解和通过促进作物生长增加土壤有机质的输入,提高土壤氮素水平^[17],另一方面秸秆覆盖后也可以通过改善土壤团聚结构,产生显著的碳氮固持效果^[18]。尽管有少数研究发现地膜覆盖可以短期提高作物生育期 STN 含量^[19],但地膜覆盖后通过对土壤水热条件的改善,显著提高土壤有机质矿化速率,长期覆盖地膜并不利于 STN 的积累^[9,11,20]。在本研究中,地膜覆盖处理下 STN 含量较对照无明显变化,其原因可能是地膜覆盖处理通过提高作物地下生物量(根系),弥补了因增加土壤矿化速率而减少的部分有机氮,因此地膜覆盖后有机氮矿化与有机氮输入之间能否达到平衡还有待于通过长期的田间试验进一步验证。

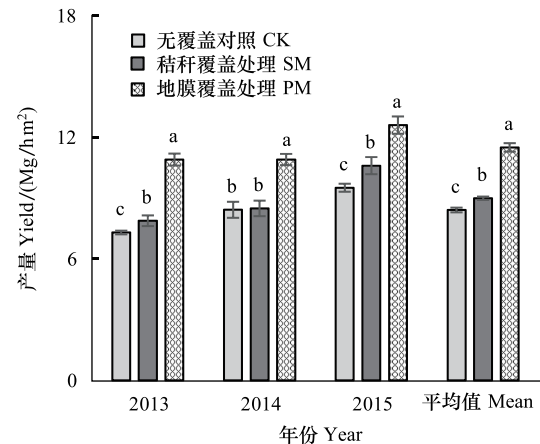


图 2 不同覆盖处理下玉米籽粒产量

Fig.2 Corn grain yield under different treatments

CK:无覆盖对照,the control without mulching; SM:秸秆覆盖处理, straw mulching; PM:地膜覆盖处理,plastic film mulching

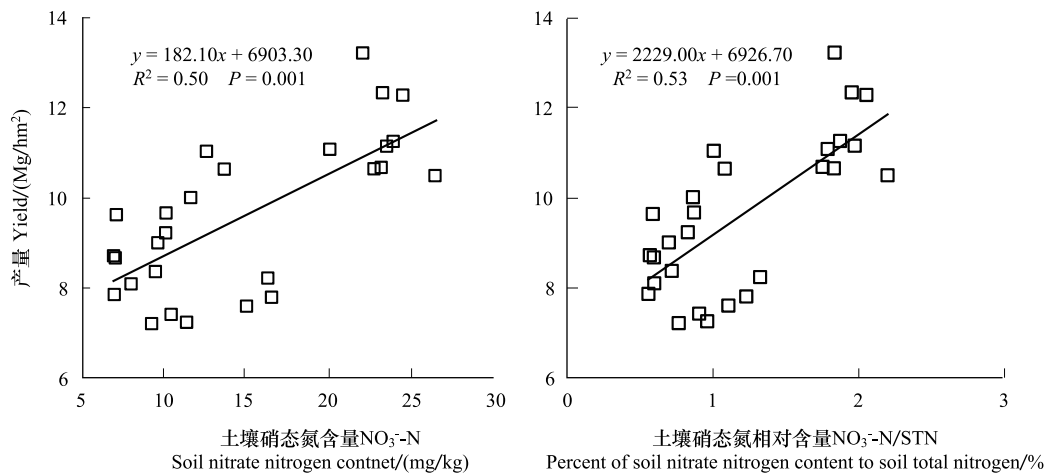


图 3 玉米籽粒产量与 0—20 cm 土层土壤硝态氮的相关性分析

Fig.3 Relations between corn grain yield and soil nitrate nitrogen content

有机物质的输入量是影响 PON 含量的主要因素^[21]。PON 和 PON/STN 含量处理间变化趋势与 STN 基本一致。秸秆覆盖有利于表层土壤 PON 含量的提高,其原因主要在于秸秆覆盖增加了土壤总氮的输入量,且可有效缓解雨滴等对土壤的打击力,促进土壤团聚体形成^[12,17]。而地膜覆盖处理土壤 PON 含量较对照无明

显变化,其原因与 STN 的理由相似,且与 Tian 等研究结果相同^[21]。但也有研究结果得出,地膜覆盖后因增加了土壤温度和水分,加速了植物残茬等的分解速率,从而会导致 PON 含量降低^[22],这可能与本试验地膜覆盖时间和作物种类不同有关^[23]。

PNM 和 MBN 含量与土壤微生物活动有关^[2]。本研究中秸秆覆盖提高了 PNM 和 MBN 含量及其相对含量,表明秸秆覆盖有利于土壤有机氮的易矿化组分及生物活性的提高,这与谢驾阳等的研究结果一致^[12]。张帆等^[24]研究认为新鲜的有机物质输入是提高土壤微生物量的主要途径。秸秆覆盖能够通过增加底物供给而提高土壤微生物活性和数量。秸秆覆盖后 MBN 含量显著增加表明输入的氮素可以通过同化作用转入微生物体内固定,这在一定程度上可以减少通过矿质氮淋失等途径造成的氮素损失^[24]。与秸秆覆盖不同,本文中地膜覆盖对 PNM 和 MBN 含量并无明显影响,这与 Tian 等^[21]、李世清等^[9]研究结果不一致。地膜覆盖通过改善土壤水热条件刺激微生物代谢活性,从而可以提高 MBN 含量。而张成娥等^[25]、付鑫等^[5]则研究得出,地表覆膜后妨碍了土壤空气与地表空气的交换,增加了土壤二氧化碳浓度,一定程度上抑制了土壤微生物的活性。土壤微生物量及其活性可以指示土壤养分的短期变化情况,且易受土壤湿度和温度条件的影响^[26],因此针对地膜覆盖对土壤微生物氮的影响作用尚需进一步研究,研究作物各生育期微生物量和活性的变化特征可能更有意义。

秸秆和地膜覆盖后土壤 NO_3^- -N 含量均有不同程度地提高,且地膜覆盖效果显著大于秸秆覆盖,而覆盖措施对土壤 NH_4^+ -N 含量无明显影响,这与卜玉山等^[11]、漆婧华等^[19]研究结果相同。 NO_3^- -N 在土壤剖面中累积主要取决于土壤矿化及对氮素的吸收利用。由于秸秆自身含有丰富的矿质养分,且其碳氮比小于微生物的碳氮比,因此秸秆覆盖地表后有利于微生物通过矿化作用释放氮素来提高矿质氮含量^[27]。此外也有研究表明,秸秆覆盖在土壤表层经过腐解后增加了土壤有机质含量,从而减少了氮素的蒸发和渗漏,导致表层土壤 NO_3^- -N 含量显著增加^[7]。谢驾阳等^[12]研究表明,地表覆草有利于土壤氮素的固定,形成易矿化有机氮,有利于下一季作物的生长,但可能会影响当季作物对氮素的吸收,即出现覆草后土壤微生物与作物争氮的情况。地膜覆盖能够通过改善土壤水热状况提高土壤有机氮矿化率和硝化速率,尽管地膜覆盖处理一定程度上促进了作物生长,提高了吸氮量,但仍表现为土壤表层 NO_3^- -N 的积累^[28],土壤表层中 NO_3^- -N 的过度累积存在淋溶风险。与 NO_3^- -N 相比,土壤 NH_4^+ -N 变异小,并未随覆盖处理而发生显著变化,这与旱地土壤通气状况良好,土壤硝化作用能力强,土壤有机质矿化的 NH_4^+ -N 在水热适宜条件下转化成 NO_3^- -N 有关^[29]。

已有大量研究表明,地表覆盖可通过改善土壤水热条件从而促进作物生长和产量形成^[9,13-14,20]。而在土壤肥力水平低下的渭北旱作农业区,土壤养分的有效性状况也是影响黄土高原玉米产量的一个关键因素^[22]。本实验中玉米产量与 NO_3^- -N 及其相对含量存在显著正相关关系(图 3),而土壤 NO_3^- -N 含量在秸秆覆盖和地膜覆盖两个处理均有显著提高(表 5),表明地表覆盖措施尤其是地膜覆盖措施可通过提高土壤氮素有效性来促进作物产量形成。李世清等^[10]、Gao 等^[30]研究也表明,地膜覆盖能够刺激土壤有机氮矿化,提高土壤剖面中 NO_3^- -N 的含量,从而提高作物产量。秸秆覆盖的增产作用弱于地膜覆盖,可能是由于外源输入土壤中的氮更多的被土壤微生物固定(表 4),导致作物生长后期土壤氮素有效性下降^[31],从而影响产量形成,因此在春玉米生长后期应注意补充氮肥以保证作物生长需求^[32]。

4 结论

在渭北旱作农业区,地表覆盖作物秸秆或地膜对土壤氮组分含量和玉米产量的影响存在显著差异。经过 7 年定位试验,与不覆盖相比,秸秆覆盖可显著提高土壤全氮、颗粒有机氮、潜在可矿化氮、微生物量氮和硝态氮含量,具有显著的固氮效果并能显著改善长期土壤氮供应水平,但在秸秆覆盖措施下作物后期应补充氮肥以增加土壤氮素有效性。而地膜覆盖对土壤全氮和活性有机氮组分没有显著影响,但能够大幅度提高土壤硝态氮含量,从而促进作物生长和产量形成。地膜覆盖引起的表层土壤氮淋失风险、长期地膜覆盖是否会导致土壤肥力降低及如何实现氮矿化与作物养分吸收的同步性还尚需进一步探讨。

参考文献 (References):

- [1] 刘毅, 李世清, 李生秀. 黄土高原不同类型土壤团聚体中氮库分布的研究. 中国农业科学, 2007, 40(2): 304-313.
- [2] Sainju U M, Lenssen A, Caesar-Thonthat T, Waddell J. Dryland plant biomass and soil carbon and nitrogen fractions on transient land as influenced by tillage and crop rotation. Soil and Tillage Research, 2007, 93(2): 452-461.
- [3] 龚伟, 颜晓元, 蔡祖聪, 王景燕, 胡庭兴, 宫渊波, 冉华. 长期施肥对小麦-玉米作物系统土壤颗粒有机碳和氮的影响. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2375-2381.
- [4] 仇少君, 彭佩钦, 刘强, 荣湘民. 土壤微生物生物量氮及其在氮素循环中作用. 生态学杂志, 2006, 25(4): 443-448.
- [5] 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. 水土保持学报, 2017, 31(3): 239-243.
- [6] Zhang S L, Lövdahl L, Grip H, Tong Y N, Yang X Y, Wang Q J. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China. Soil and Tillage Research, 2009, 102(1): 78-86.
- [7] Patra D D, Ram M, Singh D V. Influence of straw mulching on fertilizer nitrogen use efficiency, moisture conservation and herb and essential oil yield in Japanese mint (*Mentha arvensis* L.). Fertilizer Research, 1993, 34(2): 135-139.
- [8] 陈锡时, 郭树凡, 汪景宽, 张键. 地膜覆盖栽培对土壤微生物种群和生物活性的影响. 应用生态学报, 1998, 9(4): 435-439.
- [9] 李世清, 李东方, 李凤民, 白红英, 凌莉, 王俊. 半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(5): 21-29.
- [10] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 王俊. 半干旱地区地膜覆盖对作物产量和氮效率的影响. 应用生态学报, 2001, 12(2): 205-209.
- [11] 卜玉山, 邵海林, 王建程, 苗果园. 秸秆与地膜覆盖春玉米和春小麦耕层土壤碳氮动态. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 322-326.
- [12] 谢驾阳, 王朝辉, 李生秀. 地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响. 生态学报, 2010, 30(24): 6781-6786.
- [13] Lin W, Liu W Z, Xue Q W. Spring maize yield, soil water use and water use efficiency under plastic film and straw mulches in the Loess Plateau. Scientific Reports, 2016, 6: 38995.
- [14] Zhang S L, Li P R, Yang X Y, Wang Z H, Chen X P. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize. Soil and Tillage Research, 2011, 112(1): 92-97.
- [15] 李小刚, 李凤民. 旱作地膜覆盖农田土壤有机碳平衡及氮循环特征. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4630-4638.
- [16] Jenkinson D S, Powlson D S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: a method for measuring soil biomass. Soil Biology and Biochemistry, 1976, 8(3): 209-213.
- [17] Gu C M, Liu Y, Mohamed I, Zhang R H, Wang X, Nie X X, Jiang M, Brooks M, Chen F, Li Z G. Dynamic changes of soil surface organic carbon under different mulching practices in citrus orchards on sloping land. PLoS One, 2016, 11(12): e0168384.
- [18] Mulumba L N, Lal R. Mulching effects on selected soil physical properties. Soil and Tillage Research, 2008, 98(1): 106-111.
- [19] 漆婧华, 张峰, 王莺, 孙国钧. 黄土高原半干旱区覆膜玉米农田氮变化动态研究. 草业学报, 2014, 23(5): 13-23.
- [20] Li F M, Wang J, Xu J Z, Xu H L. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on Entisols in the semiarid Loess Plateau of China. Soil and Tillage Research, 2004, 78(1): 9-20.
- [21] Tian J, Lu S H, Fan M S, Li X L, Kuzyakov Y. Labile soil organic matter fractions as influenced by non-flooded mulching cultivation and cropping season in rice-wheat rotation. European Journal of Soil Biology, 2013, 56: 19-25.
- [22] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, Jia Y, Li F M, Xiong Y C, Li X G. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters. European Journal of Agronomy, 2009, 31(4): 241-249.
- [23] Russell A E, Cambardella C A, Ewel J J, Parkin T B. Species, rotation, and life-form diversity effects on soil carbon in experimental tropical ecosystems. Ecological Applications, 2004, 14(1): 47-60.
- [24] 张帆, 黄凤球, 肖小平, 吴家梅. 冬季作物对稻田土壤微生物量碳、氮和微生物熵的短期影响. 生态学报, 2009, 29(2): 734-739.
- [25] 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. 生态学报, 2002, 22(4): 508-512.
- [26] Franzluebbers A J, Hons F M, Zuberer D A. Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. Soil Biology and Biochemistry, 1994, 26(11): 1469-1475.
- [27] 张星, 刘杏认, 林国林, 张晴雯, 张庆忠, 王琴. 生物炭和秸秆对华北农田表层土壤矿质氮和 pH 值的影响. 中国农业气象, 2016, 37(2): 131-142.
- [28] 汪景宽, 张继宏, 须湘成, 张旭东, 程凡, 孙效文, 林立萍, 陈恩凤. 长期地膜覆盖对土壤氮素状况的影响. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(2): 125-130.
- [29] 关维刚, 周建斌, 董放, 李生秀. 旱地不同栽培模式下土壤水分和矿质氮含量的时空变化. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 51-57.
- [30] Gao Y J, Li Y, Zhang J C, Liu W G, Dang Z P, Cao W X, Qiang Q. Effects of mulch, N fertilizer, and plant density on wheat yield, wheat nitrogen uptake, and residual soil nitrate in a dryland area of China. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 85(2): 109-121.
- [31] 高亚军, 李生秀. 旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析. 农业工程学报, 2005, 21(7): 15-19.
- [32] Cheshire M V, Bedrock C N, Williams B L, Chapman S J, Solntseva I, Thomsen I. The immobilization of nitrogen by straw decomposing in soil. European Journal of Soil Science, 1999, 50(2): 329-341.