

# 地表覆盖对旱作玉米农田土壤氮素矿化的影响

石冰洁<sup>1</sup> 李世清<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 采用树脂芯方法研究了黄土高原旱作农田秸秆覆盖和地膜覆盖对 0~20 cm 土层土壤氮素净矿化的影响。结果表明: 不覆盖(对照)、秸秆覆盖和地膜覆盖 3 个处理在玉米生育前期(播前~六叶期)表现为土壤氮素净固持,净固持量分别为 53.7、52.7、56.7 mg·kg<sup>-1</sup>,六叶期之后表现为氮素净矿化,净矿化量分别为 26.3、31.8、13.7 mg·kg<sup>-1</sup>;综合两个生育阶段从全生育期看,3 个处理土壤氮素矿化均表现为净固持,矿质氮净固持量分别为 27.4、20.9 mg·kg<sup>-1</sup>和 43.0 mg·kg<sup>-1</sup>。从不同覆盖处理看,秸秆覆盖会显著增加土壤氮素净矿化量和氮净矿化速率,地膜覆盖虽然有利于增加土壤温度和水含量,但并没有显著改变土壤氮净矿化量和氮净矿化速率,这一结果间接证明地膜覆盖并不会显著影响土壤有机质矿化。研究还发现,在本试验条件下当田间土壤温度在 22℃~25℃、土壤含水量在 20%左右时有利于土壤氮素矿化,该条件下净矿化速率较高,且干湿交替有利于矿化。

**关键词:** 地表覆盖; 氮素矿化; 旱作农田; 玉米

中图分类号: S153.6<sup>+</sup>1 文献标志码: A

## Effect of surface mulching on soil nitrogen mineralization in dry farmland

SHI Bing-jie<sup>1</sup>, LI Shi-qing<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The effect of straw mulching and plastic mulch on soil net N mineralization in dryland croplands of Loess Plateau was studied by resin core technique method. The results showed the net immobilization of the soil mineral N with three treatments of bare ploughing, straw mulching and plastic mulching was 27.4, 20.9, 43.1 mg·kg<sup>-1</sup> in the first two periods of maize (PT~V6 stages). And the net mineralization was 26.3, 31.8 mg·kg<sup>-1</sup> and 13.7 mg·kg<sup>-1</sup> at the rest of maize stages. The three treatments of 0~20 cm soil layer showed a net soil retention combined the two stages and the net immobilization were 27.4, 20.9, 43.0 mg·kg<sup>-1</sup> at all culture stages. In addition, straw mulching significantly increased the soil net N mineralization and net N mineralization rate and plastic film mulching increased soil surface temperature and water content, but it did not influence the net N mineralization and net N mineralization rate, implying that plastic mulching should not affect soil organic matter mineralization. The study also revealed that when the soil temperature was between 22℃ and 25℃ and the soil moisture content was about 20%, the soil nitrogen mineralization rate reached a maximum, indicating the promoting effect of dry-wet alternation on mineralization.

**Keywords:** soil-surface mulching; nitrogen mineralization; dry farmland; maize

氮素是限制作物生长的关键养分因子,也是禾本科作物从土壤中吸收量最大的营养元素<sup>[1]</sup>。土壤中 90% 以上氮素以有机态存在,而作物吸收形态主要是矿质态氮,作物吸收氮素 50% 以上源于作物

生长期间土壤有机氮矿化产生的矿质氮<sup>[2]</sup>。微生物在不断进行矿化作用形成矿质氮的同时也吸收固持部分矿质氮<sup>[3]</sup>,矿化作用和固持作用之间的平衡决定了土壤矿质氮的流向和可利用性,直接影响

收稿日期: 2017-03-23

修回日期: 2017-07-19

基金项目: 国家自然科学基金(31270553)

作者简介: 石冰洁(1994-),女,甘肃庄浪人,硕士研究生,研究方向为土壤-植物氮素营养。E-mail: 18792488532@163.com

通信作者: 李世清(1963-),男,甘肃秦安人,教授,研究方向为土壤-植物氮素营养。Email: sqli@ms.iswc.ac.cn

农田土壤氮素有效性和作物对氮素的吸收利用<sup>[4]</sup>。影响土壤氮素矿化的因子包括土壤温度、含水量、土壤 pH 值、分解物 C/N、土壤微生物量和活性等<sup>[5-6]</sup>。土壤温度和水分是影响土壤氮素矿化重要的环境因素<sup>[7]</sup>。水资源短缺和养分供应不足是限制旱地作物生产的两大主要限制因素<sup>[8]</sup>,针对水分对春玉米生产的限制,秸秆覆盖<sup>[9]</sup>、砂砾覆盖<sup>[10]</sup>和地膜覆盖<sup>[11]</sup>等集雨节水技术被广泛应用。地表覆盖对土壤温度与水分产生不同程度的影响,进而改变土壤有机氮矿化速率<sup>[12-13]</sup>,该观点是本研究假设的基础。

目前在田间条件下测定土壤净氮矿化的主要方法有埋袋法、顶盖埋管法和树脂芯方法(Resin-core technique, RCT)。与其它两种方法相比,RCT法允许土芯中水分自由流动,矿化产物(旱地土壤主要是硝态氮)也会水随时离开土芯,不会因矿质氮在土壤中的大量累积而抑制有机氮矿化,测定结果更接近田间实际情况。目前这一方法已被国内外广泛用于土壤氮素矿化研究<sup>[14-15]</sup>,然而应用到地表覆盖农田测定土壤氮素矿化的研究比较少见。过去有关土壤环境因子对氮素矿化影响的研究多限于室内培养试验<sup>[16-17]</sup>,但由于室内培养条件与田间实际情况存在很大差异,室内培养结果并不能反映田间真实氮素矿化规律。基于以上两个问题,本试验依托地表覆盖长期定位试验,采用 RCT 法研究旱作农田地表覆盖条件下土壤氮素矿化规律,以期为准评价旱作农田土壤有机氮矿化和合理施氮提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

地表覆盖长期定位试验始于 2012 年,于 2016 年玉米生育期进行土壤氮素矿化测定。田间试验安排在西北农林科技大学水土保持研究所武黄土高原农业生态试验站。试验站位于陕西省咸阳市长武县洪家镇王东村(北纬 35°12',东经 107°40',海拔 1 220 m),属典型的旱作农业区,地貌属高原沟壑区,地带性土壤为黑垆土,系统分类名称是筒育干润均腐土。试区属暖温带半湿润大陆性季风气候(半湿润易旱区),近 10 年(2006-2016 年)平均降水 545 mm,其中 70%左右分布于 5-9 月(春玉米生长季);年均气温 9.9℃,5-10 月为 17.7℃,无霜期 171 d。年蒸发量高达 1 565 mm,PE 干燥度为 2.7。2016 年和多年平均(2006-2016 年)玉米生育期降雨量与气温如图 1 所示;供试土壤(0~20 cm 土

层)基本理化性质见表 1。

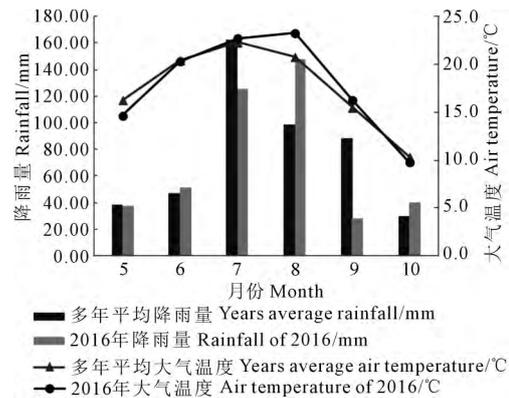


图 1 2016 年及多年平均(2006-2016 年)降雨量和大气温度的月变化

Fig.1 Monthly variations of precipitation and temperatures in 2016 and average ones from 2006 to 2016

表 1 试验前土壤基本理化性状(0~20 cm)

Tab 1 The basic properties of the topsoil prior to the experiment

有机碳 Organic C /(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N /(g·kg <sup>-1</sup> )	矿质氮 Mineral N /(mg·kg <sup>-1</sup> )	容重 Bulk density /(g·cm <sup>-3</sup> )	pH	C/N
6.84	0.98	8.32	1.33	8.61	7.0

### 1.2 试验设计

试验共设 3 个处理,分别为对照不覆盖处理(BP) 秸秆覆盖处理(SM)、地膜覆盖处理(FM),每个处理重复 3 次,采用随机区组设计。SM 处理采用长度 20 cm 左右的玉米秸秆,在玉米拔节初期将秸秆均匀覆盖在玉米行间和株间,覆盖厚度约 5 cm; FM 处理采用 1.2 m 宽白色透明地膜覆盖整个小区;各处理均无补充灌溉。小区面积为 45 m<sup>2</sup>(9 m×5 m)。

各处理播种方式采用宽窄行平作,宽行 60 cm,窄行 40 cm。供试玉米品种为先玉 335,种植密度 65 000 株·hm<sup>-2</sup>。本试验保证生育期内玉米养分的充足供应,每公顷施纯氮 250 kg、纯磷 40 kg、纯钾 80 kg;分别以尿素(含氮量为 46%)、过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>12%)和硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 45%)为氮源、磷源和钾源。氮肥分别作为播种肥(40%)、拔节期追肥(30%)和抽雄期追肥(30%)分 3 次施入;磷、钾肥作为基肥与种肥播前一次施入。播种日期为 2016 年 4 月 18 日,追肥日期为 2016 年 6 月 23 日和 7 月 27 日。

### 1.3 土壤氮素矿化测定

土壤氮素矿化采用 RCT 法测定,该装置见图 2,在玉米生育期内原位测定土壤氮素矿化。在每个小区内随机选择 6 个点,迅速将底部呈刀刃状的

PVC 管(23 cm×5 cm,底部设计为刀刃状是为减小进入土壤时的阻力) 砸入 0~20 cm 土层(土柱内无作物), 然后再将 PVC 管连同土壤一并取出, 去除 PVC 管底 2 cm 土壤, 依次放入预先准备好的滤纸(避免树脂与土壤直接接触)、装有 5.0 g 阴阳离子混合型树脂(上海 717#, 723#) 的树脂袋(预试验表明, 该树脂类型和用量可满足试验需要)、滤纸和带孔的橡皮塞(厚度小于 1 cm, 管内溶液可以从预留的孔排出, 也防止树脂吸附下层土壤中的矿质氮), 然后在装好树脂的 PVC 管外套一个定做的尼龙网袋, 避免取样时树脂袋脱落, 最后再将 PVC 管埋入原位进行培养, 并且在土芯上部通过覆沙、放置树脂袋以防止土芯矿化产生的  $\text{NO}_3^-$  随着水分向土芯上部土壤移动和大气沉降氮素进入土芯, 在 PVC 管上布置与小区完全相同的覆盖处理。同时在土柱旁边用土钻采集 0~20 cm 土层土壤 3 钻, 装入塑封袋带回实验室用于测定培养前矿质氮的初始值和土壤含水量。在玉米不同生育阶段(约 30 d) 取出管内土壤及树脂袋, 装入塑封袋带回实验室测定培养后的矿质氮和管内土壤含水量, 然后同前重新布置下一个时期的矿化培养试验。采用广泛使用的玉米生育期观测标准, 分别在播前(PT)、六叶期(V6)、十叶期(V10)、吐丝期(R1)、乳熟期(R3)、蜡熟期(R5) 和生理收获期(R6) 进行培养试验。

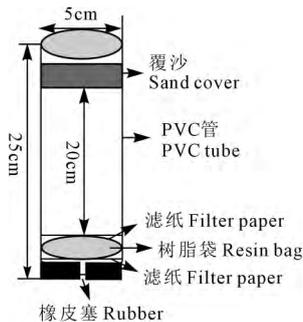


图 2 矿化装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of mineralization device

土壤矿质氮的测定方法: 称取上述新鲜土壤样品 5.0 g, 加入 50 mL  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  KCl 振荡 1 h 后过滤, 用连续流动分析仪 (FOLOWS, Italy) 测定滤液中的铵、硝态氮。阴阳离子混合型交换树脂吸附矿质氮测定方法: 将每个树脂袋放入 50 mL 浓度为  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 KCl 振荡 1 h, 再用相同浓度的 KCl 淋洗 2 次, 最后用去离子水冲洗树脂袋定容至 200 mL, 然后测定矿质氮含量。

#### 1.4 土壤水分、温度测定

各处理在同一区组 0~20 cm 土层每 5 cm 安装地温计, 在玉米生育期内每天 08:00 和 14:00 测

定, 两次读数的平均值表征当天平均温度, 每 7 d 平均温度代表该周平均温度; 试验期间以每周一次的频率采集 0~20 cm 土层土壤样品, 用烘干法测定水分含量。

#### 1.5 数据处理

氮素矿化量及矿化速率按以下公式计算:

$$R_N = (N_{B\text{硝}} + N_{B\text{铵}} + N_{E\text{硝}} + N_{E\text{铵}}) - (N_{A\text{硝}} + N_{A\text{铵}}) / t$$

$$R_{\text{硝}} = (N_{B\text{硝}} + N_{E\text{硝}} - N_{A\text{硝}}) / t$$

$$R_{\text{铵}} = (N_{B\text{铵}} + N_{E\text{铵}} - N_{A\text{铵}}) / t$$

式中:  $N_{B\text{硝}}$  为培养后土壤硝态氮含量;  $N_{B\text{铵}}$  为培养后土壤铵态氮含量;  $N_{E\text{硝}}$  为树脂吸附硝态氮含量;  $N_{E\text{铵}}$  为树脂吸附铵态氮含量;  $N_{A\text{硝}}$  为培养前土壤硝态氮含量;  $N_{A\text{铵}}$  为培养前土壤铵态氮含量;  $R_N$  为土壤净氮矿化速率;  $R_{\text{硝}}$  为土壤净硝化速率;  $R_{\text{铵}}$  为土壤净铵化速率;  $t$  为培养时间。培养前的土壤硝铵态氮含量由埋矿化装置后采取附近 0~20 cm 土壤测定而得, 培养后的土壤硝铵态氮含量由测定矿化装置中的土芯而得。

试验数据用 SPSS 22.0 软件和 EXCEL 2007 进行分析, 各培养阶段不同覆盖处理间差异显著性用单因素方差分析比较, 显著性水平为  $P < 0.05$ 。采用 SigmaPlot 12.5 软件绘图, 图表中的数据均为 3 次重复的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同覆盖条件下 0~20 cm 土层土壤水分含量

与不覆盖对照 (BP) 相比, 秸秆覆盖 (SM) 和地膜覆盖 (FM) 明显提高了 0~20 cm 土层土壤含水量 (图 3), 分别增加 5.7% 和 17.2%, 从全生育期看, 土壤水分含量表现为  $\text{FM} > \text{SM} > \text{BP}$ , 地膜覆盖在不同阶段的影响程度不同: 在 PT~V10 时期, FM 处理土壤含水量显著高于 BP 处理, 但在以后生育阶段二者没有显著差异; V10~R3 时期处于黄土高原雨热同期阶段 (7、8 月), 此时虽然降雨量大, 但因分布不均, 导致土壤含水量波动剧烈, 覆盖效果也相应减弱。R3~R6 时期, 3 个处理间土壤含水量差距进一步缩小, 基本趋于一致, 由于较多的降雨导致土壤含水量呈升高趋势。

### 2.2 不同覆盖条件下 0~20 cm 土层土壤温度

与 BP 相比, SM 处理和 FM 处理明显影响 0~20 cm 土层土壤温度 (图 4)。覆盖材料不同, 影响效果也不同: SM 处理土壤平均温度下降 2.24%, 而 FM 处理增加 1.79%。在不同生育阶段, 覆盖对土壤温度影响的效果也不同。在 PT~V10 生育阶段, 3 个处理土壤温度变化幅度较大, SM 处理温度波动尤

其剧烈,FM 处理耕层温度显著高于 BP 处理和 SM 处理;V10~R3 时期随着气温升高,各个处理土壤温度均有所升高,但不同处理间仍然表现为 FM>BP>SM,SM 处理的温度基本维持在 22℃~24℃ 间,显著

低于 BP 和 FM 处理;在 R3~R6 生育阶段 3 个处理土壤温度变化基本一致,且各处理之间差异不显著,这可能主要与玉米植株遮挡有关。

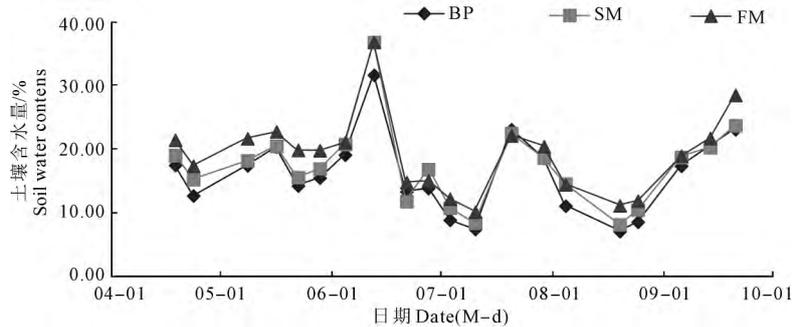


图 3 不同处理 0~20 cm 土层土壤含水量

Fig. 3 The average soil water content of different treatments in 0~20 cm

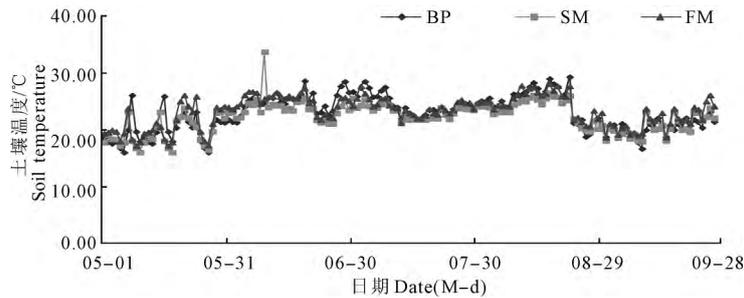


图 4 不同处理 0~20 cm 土层平均土壤温度

Fig. 4 The average soil temperature of different treatments in 0~20 cm

### 2.3 不同覆盖条件下 0~20 cm 土层土壤氮素净矿化量与净矿化速率

地表覆盖显著影响玉米生育期间土壤氮素矿化量(表 2)。从全生育期看,3 个处理的硝态氮、铵态氮和矿质氮均表现为净固持,但不同处理,矿质氮固持量不同,表现为 FM(43.1 mg·kg<sup>-1</sup>)>BP(27.4 mg·kg<sup>-1</sup>)>SM(20.9 mg·kg<sup>-1</sup>),SM 处理生育期矿质氮净固持量相比 BP 处理低 23.9%,FM 处

理相比 BP 处理增加 57.1%,且 FM 处理与 BP 处理差异显著( $p<0.05$ ),SM 处理与 BP 处理差异不显著。与 BP 处理相比,SM 处理生育期硝态氮净固持量减少 26.1%,FM 处理增加 64.4%。3 个处理间铵态氮净固持量无显著差异,且固持量基本一致,这主要与石灰性旱地土壤矿质氮主要形态为硝态氮,铵态氮含量低而稳定有关。

表 2 不同处理各培养阶段土壤氮净矿化量

Table 2 Net N mineralization of different treatments in each culture stage

培养阶段 Culture stage	Min <sub>NO<sub>3</sub>-N</sub> /(mg·kg <sup>-1</sup> )			Min <sub>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-H</sub> /(mg·kg <sup>-1</sup> )			Min <sub>total-N</sub> /(mg·kg <sup>-1</sup> )		
	BP	SM	FM	BP	SM	FM	BP	SM	FM
PT~V6	-9.1a	-13.6b	-10.3a	-2.6a	-1.7b	-2.7a	-11.7a	-15.3b	-13.0ab
V6~V10	-43.5a	-38.1a	-41.0a	1.4a	0.7b	1.2a	-42.1a	-37.4a	-39.8a
V10~R1	7.3a	12.9 b	-1.6c	-1.7a	-1.9a	-2.4b	5.6a	10.9b	-3.9c
R1~R3	8.0a	17.4b	9.6a	-2.2a	-2.1a	-1.9a	5.7a	15.3b	7.7a
R3~R5	8.9a	2.2b	1.7b	0.9a	1.6b	1.5b	9.8a	3.8b	3.2b
R5~R6	3.9a	1.2b	1.4b	1.2a	0.7b	1.4a	5.1a	1.8b	2.8b
累计 Total	-24.5a	-18.1a	-40.2b	-3.0a	-2.8a	-2.9a	-27.4a	-20.9a	-43.1b

注: 1. Min<sub>NO<sub>3</sub>-N</sub> 表示硝态氮净矿化量(固持量), Min<sub>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-H</sub> 表示铵态氮净矿化量(固持量), Min<sub>total-N</sub> 表示总矿化量(固持量); 2. 负值表示净固持, 正值表示净矿化; 3. 表中每一矿质氮分类中同行中字母相同表示净矿化量差异不显著, 字母不同代表差异显著( $P<0.05$ )。

Note: 1. Min<sub>NO<sub>3</sub>-N</sub>: net mineralization or immobilization of nitrate nitrogen; Min<sub>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-H</sub>: net mineralization or immobilization of ammonium nitrogen; Min<sub>total-N</sub>: net mineralization or immobilization of total nitrogen. 2. negative value: net immobilization; positive value: net mineralization. 3. The same letters indicate that the net mineralization is not significant and that different letters represent significant differences( $P<0.05$ ) in each mineral nitrogen classification on the table.

地表覆盖也显著影响土壤氮素矿化速率,影响趋势与对土壤氮素矿化量的影响基本一致(图 5)。在 PT~V10 生育阶段,各处理净氮矿化均为负值,表现为土壤矿质氮净固持;随着生育期推进固持速率加快,在 V10 时期达到最大,这显然与肥料氮被土壤微生物固定有关,该生育阶段 3 个处理间矿质氮的净氮固持速率无显著差异;在 V10~R1 生育阶段除 FM 处理表现为固持外,SM、BP 处理均表现为氮素净矿化,且净氮矿化速率表现为 SM( $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) > BP( $0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ );在 R1~R3 生育阶段,SM 处理氮素净矿化速率显著高于 BP ( $p < 0.05$ ),FM 处理与 BP 并无显著差异,3 个处理表现为 SM( $0.62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) > FM( $0.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) > BP( $0.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ );在 R3~R6 生育阶段,与 BP 处理相比,SM 处理和 FM 处理的氮素净矿化速率均显著降低。

2.4 培养期间 0~20 cm 土层土壤硝态氮淋失量

由于 PVC 管内矿质氮,特别是硝态氮可以随水向下移动,因此可以用管内树脂吸附的硝态氮含量估算培养阶段 0~20 cm 土层土壤硝态氮的淋失量。本试验结果显示(图 6),不同覆盖显著影响玉米生育期树脂吸附硝态氮含量。整个生育期各处理树脂硝态氮含量表现为 SM( $10.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > BP( $9.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > FM( $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),并且树脂吸附硝态氮含量与降雨量强度和降雨量高度吻合。

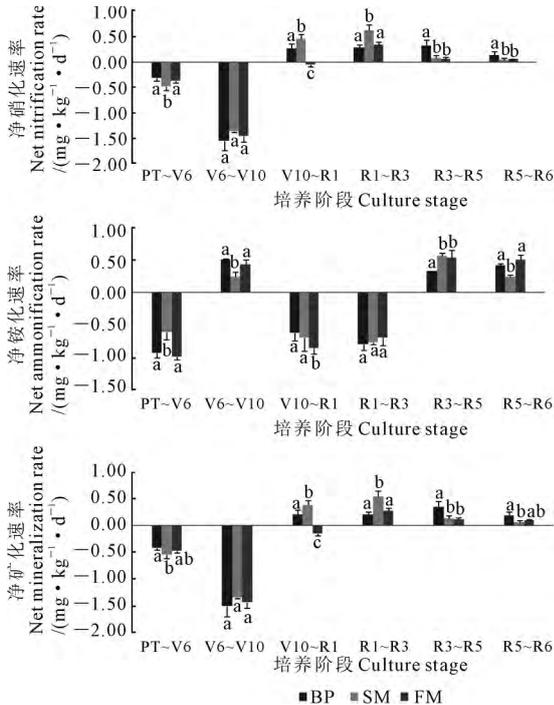


图 5 不同处理各培养阶段土壤氮净矿化速率  
Fig. 5 Net N mineralization rate of different treatments in each culture stage

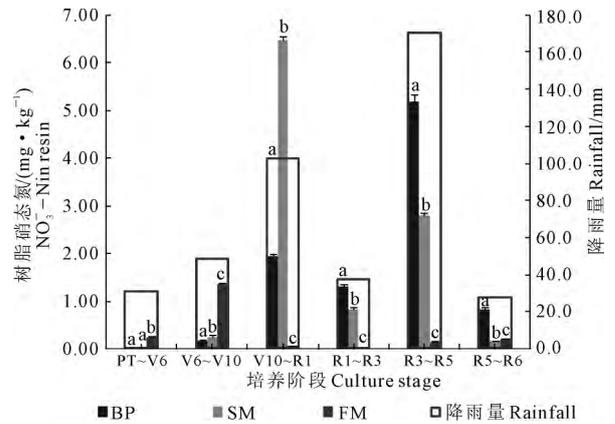


图 6 不同处理各培养阶段离子交换树脂硝态氮含量和降雨量  
Fig.6 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N in ion exchange resin of different treatments in each culture stage and precipitation

3 讨论

本研究利用 RCT 法对旱地玉米农田土壤 0~20 cm 土层土壤氮素矿化的研究表明,从全生育期看,各覆盖处理土壤矿质氮均呈现净氮固持,这主要与 PT~V10 生育阶段氮素净固持量显著大于之后生育阶段的净氮矿化量有关,地膜覆盖、秸秆覆盖和不覆盖总固持量分别为  $43.1$ 、 $20.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $27.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。大量试验均已表明,土壤水分和温度条件与土壤氮素矿化和积累有密切的相关性,且氮素矿化对温度的敏感性强于湿度<sup>[18-19]</sup>,玉米生育前期(PT~V10)土壤温度和水分波动较大,温度变化范围为  $16^\circ\text{C} \sim 24^\circ\text{C}$ ,土壤含水量变化范围为  $12\% \sim 25\%$ ,这使得土壤中微生物的数量和活性较高,但此时玉米处于苗期,对矿质氮的需求量较少,使得微生物将大量的矿质氮固持,地膜覆盖由于增加了土壤温度和水分,这会更有利于促进土壤矿质氮的微生物固持;同时有研究表明,土壤初始矿质氮含量与培养期间矿化氮呈负相关关系<sup>[20]</sup>,在 PT~V10 生育阶段,土壤矿质氮初始值较高,这会显著限制土壤氮素矿化,上述两方面的原因会导致玉米生育前期土壤氮素矿化表现为强烈的净氮固持。由试验结果可以看出,在全生育期内不同地表覆盖对硝态氮的净矿化影响较大,对铵态氮基本无影响。矿化量的变化主要是由硝化量的变化引起的,这与杨小红等<sup>[21]</sup>的研究结果基本一致,与石灰性旱地土壤矿质氮主要存在形式是硝态氮,铵态氮含量低而稳定有关。

V10~R3 生育阶段也是降雨量大、温度高的季节(7、8月),这一个阶段秸秆覆盖的净氮矿化量和净氮矿化速率显著高于对照处理,而地膜覆盖与对

照处理相比并无显著差异,这可能主要与秸秆腐解产生的有机碳会为微生物提供比较充分的能源物质,有利于微生物对固持有机氮的矿化有关<sup>[22]</sup>;而地膜覆盖导致较高的土壤温度可能不利于有机氮矿化<sup>[23]</sup>,另外,秸秆覆盖土壤频繁的干湿交替可能也会促进土壤有机氮的氮矿化<sup>[24]</sup>。

在 R3~R6 生育阶段,不覆盖处理土壤氮矿化量和矿化速率显著高于秸秆覆盖和地膜覆盖,主要原因可能在于相比秸秆覆盖和地膜覆盖,不覆盖处理玉米根系死亡较快,增加了微生物活动可利用碳源,从而导致氮素矿化量和矿化速率增加。

土壤氮素净矿化决定着矿质氮的实际有效性。土壤微生物通过矿化作用形成矿质氮的同时也吸收固持部分矿质氮。本研究结果表明,在玉米生育前期(PT~V10),土壤矿质氮变化以净固持为主,之后各生育阶段均为净矿化,且矿化速率在玉米吐丝期前后达到最大(R1 时期)。这与 Zhang 等研究结果基本一致<sup>[25]</sup>。温度和水分对土壤氮素矿化存在明显的交互作用<sup>[26]</sup>,本试验研究表明,与不覆盖对照处理相比,虽然覆膜处理提高了土壤温度和水分,但土壤氮素矿化速率并未增加,反而低于对照,这一结果与 Hai 等<sup>[27]</sup>的研究不同,但与董放等<sup>[28]</sup>的结果相似,导致这种差异的原因可能主要与试验条件不同有关,但这仍需进一步研究。

不同覆盖下 0~20 cm 土壤硝态氮淋失量差异较大,全生育期以秸秆覆盖处理树脂吸附硝态氮含量高于对照处理和覆膜处理,这是由于全生育期内秸秆覆盖累积的矿质氮含量高于其它两个处理,淋失量相对也会较高,说明秸秆覆盖会增加硝态氮脱离 0~20 cm 土层的风险。降雨也显著影响树脂吸附  $\text{NO}_3^-$ -N 含量,树脂吸附硝态氮变化格局与降水格局高度相似。

## 4 结 论

1) 旱作玉米全生育期不同地表覆盖条件下 0~20 cm 土层土壤氮素均呈净固持。但分生育阶段看,生育前期以固持为主,地膜覆盖、秸秆覆盖和不覆盖对照处理净固持量分别为 56.7、52.7  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和 53.7  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,在生育后期均表现为氮素净矿化,净矿化量分别为 13.7、31.8  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和 26.3  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2) 秸秆覆盖的氮素净矿化量显著高于不覆盖对照,较高的矿化量同时也增加了秸秆覆盖 0~20 cm 土壤矿质氮淋失的风险;地膜覆盖虽然显著提高

了 0~20 cm 土层土壤温度和水分,但土壤氮素净矿化量和氮素净矿化速率并未显著增加。

## 参 考 文 献:

- [1] Kirkby E A. Plant growth in relation to nitrogen supply [J]. *Ecological Bulletins*, 1981, 33: 249.
- [2] 王艳杰, 邹国元, 付桦, 等. 土壤氮素矿化研究进展 [J]. *中国农业通报* 2005, 21(10): 203-208.
- [3] Luxhøi J, Bruun S, Stenberg B, Breland TA, et al. Prediction of gross and net nitrogen mineralization-immobilization-turnover from respiration [J]. *Soil Sci Soc Am J* 2006, 70(4): 1121-1128.
- [4] Vitousek P M, Porder S, Houlton B Z, et al. Terrestrial phosphorus limitation: Mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions [J]. *Ecological Application*, 2010, 20(1): 5-15.
- [5] 田茂洁. 土壤氮素矿化影响因子研究进展 [J]. *西华师范大学学报(自然科学版)* 2004, 25(3): 298-303.
- [6] Huang L, Wang C Y, Tan W F, et al. Distribution of organic matter in aggregates of eroded Ultisols Central China [J]. *Soil Till Res*, 2010, 108(1): 59-67.
- [7] Quezada M R, Munguia J P, Linares C. Plastic mulching and availability of soil nutrients in cucumber crop [J]. *TER-RA (Mexico)*, 1995, 13: 136-147.
- [8] Mueller N D, Gerber J S, Johnston M, et al. Closing yield gaps through nutrient and water Management [J]. *Nature*, 2012, 490(7437): 254-7.
- [9] Zhang S L, Lövdahl L, Grip H T, et al. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China [J]. *Soil Tillage Res*, 2009, 102(1): 78-86.
- [10] Modaihsh S A, Horton R, Kirkham D. Soil water evaporation suppression by sand mulches [J]. *Soil Sci*, 1985, 139(4): 357-361.
- [11] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, et al. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters [J]. *Eur. J. Agron* 2009, 31(4): 241-249.
- [12] 李兴, 程满金, 勾芒芒, 等. 黄土高原半干旱区覆膜玉米土壤温度的变异特征 [J]. *生态环境报* 2010, 19(1): 218-222.
- [13] Sina Berger, Youngsun Kim, Janine Kettering, et al. Plastic mulching in agriculture-Friend or foe of  $\text{N}_2\text{O}$  emissions? [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2013, 167(1): 43-51.
- [14] 邹亚丽, 牛得草, 杨益, 等. 氮素添加对黄土高原典型草原土壤氮矿化的影响 [J]. *草地学报* 2014, 22(3): 461-468.
- [15] Wu T Y, Ma B L, Liang B C. Quantification of seasonal soil nitrogen mineralization for corn production in eastern Canada [J]. *Nutr. Cy-cl. Agroecosyst*, 2008, 81(3): 279-290.
- [16] 卢红玲, 李世清, 金发会, 等. 黄土高原石灰性土壤长期淋洗淹水培养下的氮素矿化过程及其模拟 [J]. *中国农业科学* 2008, 41(10): 3140-3148.
- [17] Clough T J, Jarvis S C, Hatch D J. Relationships between soil thermal units, nitrogen mineralization and dry matter production in pastures [J]. *Soil Use and Management*, 1998, 14(2): 65-69.

(下转第 14 页)

- 对叶喷锌肥的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22( 3): 579-589.
- [30] 李素贞, 陈景堂. 植物锌铁转运相关蛋白家族的研究进展[J]. 生物技术通报, 2013 ( 2): 8-14.
- [31] Wirén N, Marschner H, Romheld V. Roots of iron-efficient maize also absorb phytosiderophore-chelated zinc[J]. Plant Physiology, 1996, 111( 4): 1119-1125.
- [32] 王衍安, 董佃朋, 李坤, 等. 铁锌互作对苹果锌, 铁吸收分配的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40( 7): 1469-1478.
- [33] Dimkpa C O, Bindraban P S. Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2016, 36( 1): 1-26.
- [34] Wang P, Lombi E, Zhao F J, et al. Nanotechnology: A New opportunity in plant sciences[J]. Trends in Plant Science, 2016, 8( 21): 699-712.
- [35] Kochian L V. Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plants[M]. Madison, USA: Soil Science Society of America, 1991: 229-296.
- [36] Mukherjee A, Sun Y P, Morelius E, et al. Differential toxicity of bare and hybrid ZnO nanoparticles in green pea (*Pisum sativum* L.): A Life Cycle Study[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 6: 1242.
- [37] Pearson J N, Rengel Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat [J]. Journal of Experimental Botany, 1994, 45( 12): 1829-1835.
- [38] 杨习文, 田霄鸿, 陆欣春, 等. 喷施锌肥对小麦籽粒锌铁铜锰营养的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28( 6): 95-102.
- [39] Mortel J E, Villanueva L A, Schat H, et al. Large expression differences in genes for iron and zinc homeostasis, stress response, and lignin biosynthesis distinguish roots of *Arabidopsis thaliana* and the related metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*[J]. Plant Physiology, 2006, 142( 3): 1127-1147.

(上接第 6 页)

- [18] 赵长盛, 胡承孝, 孙学成, 等. 温度和水分对华中地区菜地土壤氮素矿化的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20( 7): 861-866.
- [19] Sierra J. Relation between mineral N content and N mineralization rate in disturbed and undisturbed soil samples incubated under field and laboratory condition[J]. Aust. J. Soil Res, 1992, 30( 4): 477-92.
- [20] 李贵才, 韩兴国, 黄建辉, 等. 森林生态系统土壤氮矿化影响因素研究进展[J]. 生态学报, 2001, 21( 7): 1187-1195.
- [21] 杨小红, 董云社, 齐玉春, 等. 内蒙古羊草草原土壤净氮矿化研究[J]. 地理科学进展, 2005, 24( 2): 30-37.
- [22] 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.
- [23] 陈海潇, 韩蔚娟, 邹春野, 等. 黑土氮素矿化规律的研究[J]. 东北农业科学, 2016, 41( 1): 59-63.
- [24] 章燕平. 环境因素对菜地土壤氮素转化及其生物学特性的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [25] Zhang H Y, Liu Q J, Yu X X, et al. Effects of plastic mulch duration on nitrogen mineralization and leaching in peanut (*Arachis hypogaea*) cultivated land in the Yimeng Mountainous Area[J]. China. Agr. Ecosyst. Environ., 2012, 158: 164-171.
- [26] Stanford G, Epstein E. Nitrogen mineralization-water relations in soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1974, 38( 1): 103-107.
- [27] Hai L, Li X G, Liu X E, et al. Plastic Mulch Stimulates Nitrogen Mineralization in Urea-Amended Soils in a Semiarid Environment[J]. Agron. J. 2015, 107( 3): 921-930.
- [28] 董放, 王媛, 关维刚, 等. 旱地不同栽培模式和施氮对土壤水分、温度及氮素矿化的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36( 12): 108-114.