

# 苜蓿对旱地土壤有机碳氮变化的驱动作用

杨洋<sup>1</sup>, 王百群<sup>1,2,3</sup>, 李玉进<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 7121001;

2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 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; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**根据旱地长期定位试验和分离土壤有机质中微粒有机质及矿物结合有机质的方法,研究了长期生长苜蓿对土壤有机碳、全氮变化的驱动作用。结果表明:不施肥条件下,苜蓿地土壤有机碳、全氮的含量比裸地土壤中的含量明显增加,土壤有机碳和氮库中的微粒有机碳、氮的含量没有显著增加,而增加的有机碳、氮主要分布在矿物结合有机碳、氮组分中。在施用有机肥及氮、磷化肥条件下,苜蓿地土壤有机碳和全氮的含量显著地提高,增加的有机碳、氮几乎平均地分布在微粒有机碳、氮和矿物结合有机碳、氮组分中。由此表明,保持适宜的苜蓿生产力并采用合理的施肥措施,长期生长苜蓿能够有效地驱动土壤固定有机碳和氮素,从而保持和提高土壤肥力。

**关键词:**旱地; 苜蓿; 土壤有机碳; 土壤全氮; 微粒有机质

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)03-0078-04

## Driving Effect of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) on Dynamics of Soil Organic Carbon and Nitrogen in Dryland

YANG Yang<sup>1</sup>, WANG Bai-qun<sup>1,2,3</sup>, LI Yu-jin<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,

China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and

Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Land use has a significant impact on change in soil organic carbon and nitrogen. The driving effect of alfalfa (*Medicago sativa* L.) on the dynamics of soil organic carbon and nitrogen in dryland was studied based the long-term field experiment and the method for separating the soil organic matter into particulate organic matter and mineral-associated organic matter. The level of soil organic carbon (SOC) and nitrogen in the land grown alfalfa without fertilization increased compare with the bare land, the particulate organic carbon (POC) did not demonstrate significant changes whereas the mineral-associated organic carbon (MOC) and nitrogen increased. The status of SOC and N in the land grown alfalfa applied manure and N and P fertilizers showed significant increase compared with that in the land grown alfalfa without fertilizer, and the increased organic carbon and nitrogen distributed in the fraction of POC and MOC, respectively. These results suggest that applying the manure and chemical fertilizer in the alfalfa land and keeping the rational alfalfa productivity is the sustainable way to sequester organic carbon and nitrogen and to improve soil fertility in the semiarid area.

**Key words:** dryland; Alfalfa (*Medicago sativa* L.); soil organic carbon; soil total nitrogen; particulate organic matter

苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 是一种多年生豆科  
饲草及绿肥植物。苜蓿根系具有固氮能力,在生物培  
肥土壤中具有重要的贡献,可以有效地改善土壤质

量<sup>[1-3]</sup>。在农业生产中,通过苜蓿与作物轮作,改善土  
壤肥力和提高作物产量<sup>[4]</sup>。苜蓿的适应性较强,具有  
持久和较高的生产能力,营养丰富,是优质的牧草。

收稿日期: 2012-03-10

修回日期: 2012-04-23

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项—应对气候变化的碳收支认证及相关问题(XDA05050504); 国家自然科学基金项目(40301024);  
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室自主课题(10502-T2)

作者简介: 杨洋(1986—),男,陕西武功人,硕士研究生,主要从事土壤生态与土壤地理信息系统研究。E-mail: popguy@yeah.net

通信作者: 王百群(1968—),男,陕西渭南人,博士,副研究员,从事土壤有机碳氮循环研究。E-mail: bqwang@ms.iswc.ac.cn

因此,苜蓿在家畜养殖和农业生产中起着重要的作用<sup>[5]</sup>。

在黄土高原地区,苜蓿分布比较广泛。自 20 世纪 80 年代,由于对粮食生产的重视、农业生产条件的改变及化肥的广泛施用,使得苜蓿的种植面积下降,而且种植苜蓿的土地类型也随之发生了变化<sup>[6]</sup>。但近年来,随着退耕还林还草生态环境建设工程的实施、农业产业结构的调整,在一些地区,苜蓿种植又受到了重视,苜蓿种植面积有所增加。在干旱半干旱条件下,苜蓿生产的可持续性及其对土壤水分条件的影响得到了研究者的关注,提出了促进苜蓿生产稳定发展的技术对策<sup>[6-7]</sup>。苜蓿对旱地土壤有机碳及氮素变化的影响,也是表征苜蓿对土壤生态环境效应的重要方面<sup>[8-11]</sup>。本文根据旱地进行长期定位试验,研究长期生长苜蓿对土壤有机碳库及全氮变化的驱动作用,揭示苜蓿促进土壤有机碳、氮累积的能力。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区自然概况

研究区位于陕西省长武县丁家乡十里铺村,所在的区域为黄土高原沟壑区,该区海拔为 1 200 m,年均降水量为 584 mm,年内分布不均,7—9 月的降雨量约占年降水的 60%左右。年均温为 9.3℃,≥10℃的积温为 3 029℃,属于暖温湿带半湿润大陆性季风气候区。该区作物生长所需的水分主要来自天然降水,为典型的旱作雨养农业区。土壤类型为中壤质黑垆土<sup>[6]</sup>。

### 1.2 试验设计

田间定位试验于 1984 年布设在十里铺村的塬面平地中。该定位试验包括 10 种作物轮作方式和 7 种施肥模式,共 36 个处理,每个处理重复 3 次,区组随机排列,共 108 个小区。小区长 10.26 m,宽 6.5 m,面积为 666.9 m<sup>2</sup>。本研究选取其中的 4 个处理作为研究对象,4 个处理分别为:(1) 裸地,不施肥;(2) 小麦连作,不施肥;(3) 苜蓿,不施肥;(4) 苜蓿,施有机肥量 75 000 kg/hm<sup>2</sup>,施氮量 120 kg/hm<sup>2</sup>,施磷量 60 kg/hm<sup>2</sup>(用 M<sub>75</sub>N<sub>120</sub>P<sub>60</sub> 表示该施肥处理)。试验中施用的有机肥为农家肥,氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙或三料磷肥。试验开始前土壤有机碳含量为 6.09 g/kg,全氮含量为 0.57 g/kg,土壤 pH 值为 8.4<sup>[12]</sup>。土壤田间持水量为 21%~24%,凋萎湿度为 7%~8%<sup>[6]</sup>。

### 1.3 样品采集

于 2000 年 9 月在所选的 4 个处理试验小区中,用土钻随机多点采集土壤样品,采样深度为 0—20 cm,将

多点样品充分混匀,组成一个混合样品,除去土壤中残留的植物根系及植物残体,将样品风干备用。

### 1.4 测定方法

(1) 土壤微粒有机质的分离<sup>[13]</sup>。称取 10 g 过 2 mm 筛的风干土样,放入塑料瓶中,加入 30 ml 的 0.5% 的六偏磷酸钠溶液,在振荡机上振荡 15 h。将塑料瓶中的土壤悬液过 0.053 mm 筛,用去离子水洗涤筛中的残留物 3~4 次。残留于筛中的有机物为微粒有机质。将残留在筛上的残留物转入烧杯中,在 50℃ 烘箱中烘干 24 h。将过筛的土壤悬液放入 50℃ 烘箱中,启动鼓风进行烘干。烘干后分别称重,然后磨细,过 0.25 mm 筛。待测定其中的有机碳和全氮含量。

(2) 土壤有机碳及微粒有机质中有机碳的测定。应用浓硫酸—重铬酸钾外加热氧化法。

(3) 土壤全氮及微粒有机质中全氮的测定。采用开氏法消化样品,自动定氮仪测定氮含量。

(4) 土壤容重的测定。采用环刀法,在各小区中测定 0—20 cm 土层土壤容重。

## 2 结果与分析

### 2.1 苜蓿对土壤有机碳、全氮的影响

在长期生长苜蓿条件下,通过根系分泌物、根系残体及地下残体向土壤中输入有机物,从而引起土壤有机碳含量发生一定的变化(表 1)。在不施肥条件下,苜蓿地土壤有机碳含量显著高于裸地及小麦连作土壤中的含量,表明了连续生长苜蓿比小麦连作更有效地提高土壤有机碳的含量。在有机肥与氮、磷化肥配施条件,苜蓿地土壤有机碳含量提高更加显著,土壤中增加的有机碳来源于有机肥的碳及苜蓿输入的有机碳。由此说明,种植苜蓿并施肥的土壤比种植农作物更有利于提高土壤有机碳含量。

表 1 长期生长苜蓿对土壤有机碳和全氮的影响

种植制度	施肥处理	土壤有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	土壤全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碳氮比
裸地	0	5.67±0.04a	0.76±0.01a	7.5
小麦连作	0	6.16±0.12a	0.79±0.01a	7.8
苜蓿连作	0	6.86±0.04b	0.95±0.02b	7.2
苜蓿连作	M <sub>75</sub> N <sub>120</sub> P <sub>60</sub>	10.52±0.26c	1.39±0.02c	7.6
LSD <sub>0.05</sub>		0.49	0.06	

注:(1)SE 为标准误差;(2)数值后的字母表示 5% 显著性差异。

不施肥小麦连作及生长苜蓿地对土壤全氮的变化具有不同的影响(表 1),小麦连作土壤全氮与裸地土壤全氮的含量相近,没有明显的差别,而苜蓿地土壤全氮含量显著地高于小麦连作土壤的含量,这主要是由于苜蓿根系可以固氮,从而使土壤全氮含量增

加。在有机肥与氮、磷化肥配施条件下,苜蓿地土壤全氮大幅度提高,这是苜蓿生物固氮及施用有机肥和氮素化肥共同作用的结果。

根据长期不施肥与施肥条件下,苜蓿地土壤有机碳及全氮含量的变化,可以看出,种植苜蓿能够显著提高旱地土壤有机碳与全氮的含量水平,因而能够有效培肥旱地土壤。为了进一步明确生长苜蓿提高土壤有机碳和全氮的过程与机理,有必要对土壤有机碳库和氮库的构成进行解析。

## 2.2 苜蓿对土壤微粒有机碳、全氮的影响

应用化学分散与物理分离相结合的方法,可以将土壤有机质分为微粒有机质和矿物结合有机质两个组成部分。微粒有机质是指粒径 $>0.053\text{ mm}$ 的有机质组分。微粒有机质中的有机碳和全氮分别称为微粒有机碳和微粒全氮。微粒有机碳主要由一些处于分解或半分解状态的有机物碎屑构成,这些有机物中的有机碳具有中等的分解速率。矿物结合有机碳具有缓慢的分解速率,是土壤有机碳库中较为稳定的有机碳组分。微粒有机碳和全氮的变化对土壤利用方式与土壤管理措施具有敏感响应<sup>[13]</sup>,通过微粒有机碳、氮的动态可以表征土壤有机碳和全氮变化特点。

从两个方面来分析长期生长苜蓿对土壤微粒有机碳、氮和矿物结合有机碳、氮的影响,一方面比较微粒有机质中的有机碳,另一方面比较以原土为基础的有机碳的含量。从表 2 中可以看出,不施肥条件下,种植苜蓿土壤中微粒有机质中有机碳的含量与裸地和小麦连作土壤中的没有明显的差异;在施用有机肥及氮、磷化肥条件下,苜蓿地土壤中微粒有机质中有机碳的含量显著提高。以原土为基础计算的土壤微

粒有机碳的含量也显示出同样的趋势,说明在种植苜蓿和施肥的共同作用下,有益于土壤中的微粒有机碳累积。比较矿物结合有机碳的含量(表 2),可以看出,裸地土壤与小麦连作土壤中矿物结合有机碳的含量没有明显的差别;不施肥条件下,生长苜蓿的土壤中矿物结合有机碳的含量明显高于裸地土壤中的含量;施肥条件下,苜蓿地土壤中矿物结合有机碳的含量显著提高。由此可见,不施肥条件下,微粒有机碳累积不明显,而累积的有机碳主要分布在矿物结合有机碳组分中,成为相对稳定的有机碳组分;而在施肥条件下,与裸地土壤相比,苜蓿土壤有机碳库中微粒有机碳和矿物结合有机碳含量的增量相近,这两个组分中的有机碳同步增加。

微粒的全氮变化与土壤管理措施有着密切的联系。表 3 显示,不施肥条件下裸地和小麦连作及生长苜蓿土壤的微粒全氮含量没有明显的差别。但在有机肥与氮、磷配施条件下,苜蓿地土壤微粒全氮含量显著提高,微粒土壤全氮含量的增加是苜蓿固氮及施用有机肥和氮素化肥共同作用的结果。不施肥条件下,裸地与小麦连作土壤中的矿物结合全氮的含量相近,苜蓿地土壤矿物结合全氮高于小麦连作土壤中的含量。有机肥与氮、磷配施条件下苜蓿地土壤矿物结合全氮的含量显著地高于不施肥苜蓿地土壤的含量。结果表明,不施肥条件下,生长苜蓿对土壤微粒全氮没有明显的影响,苜蓿固氮而增加的氮素主要存在于矿物结合全氮组分中;种植苜蓿并施肥条件下,土壤中增加的氮素,几乎平均地分布在土壤微粒全氮和矿物结合全氮组分中,以上即为苜蓿施肥引起土壤氮库变化的内在特征。生长苜蓿驱动土壤氮素变化的特点与其对土壤有机碳库变化驱动的特点相似。

表 2 长期生长苜蓿对土壤微粒有机碳和矿物结合有机碳的影响

种植制度	施肥处理	微粒有机碳*	微粒有机碳**	矿物结合有机碳*	矿物结合有机碳**
		( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )			
裸地	0	12.68±0.18a	0.58±0.07a	5.34±0.04a	5.10±0.05a
小麦连作	0	15.98±2.86a	0.72±0.15a	5.69±0.26a	5.44±0.26a
苜蓿连作	0	13.01±0.48a	0.82±0.04a	6.45±0.05b	6.04±0.09b
苜蓿连作	M <sub>75</sub> N <sub>120</sub> P <sub>60</sub>	42.75±8.35b	3.02±0.27b	8.11±0.20c	7.51±0.16c
LSD <sub>0.05</sub>		15.31	0.55	0.58	0.56

注:(1)\*表示以分离出的微粒为基础计算的有机碳含量,\*\*表示以原土为基础计算的有机碳含量;(2)数值后的字母表示 5%显著性差异。

## 2.3 苜蓿对土壤有机碳固定的影响

以上分析对比了不施肥和施肥条件下,长期生长苜蓿与裸地和小麦连作条件下土壤有机碳、全氮及其构成组分中含量的差异。为了进一步揭示长期生长苜蓿驱动土壤有机碳库变化的能力,对苜蓿地土壤与裸地及小麦连作土壤中有机碳的固定量和固定率进

行比较。从表 4 可以看出,长期保持裸地导致土壤有机碳损失,不施肥小麦连作土壤有机碳基本能够维持平衡,不施肥长期生长苜蓿土壤固定有机碳,施肥和连续生长苜蓿条件下,土壤能够相对快速地固定有机碳,说明了多年生牧草比农作物更能有效地促进土壤固定有机碳。

表 3 长期生长苜蓿对土壤微粒有机氮和矿物结合有机氮的影响

种植制度	施肥处理	微粒有机氮* / (g · kg <sup>-1</sup> )	微粒有机氮** / (g · kg <sup>-1</sup> )	矿物结合有机氮* / (g · kg <sup>-1</sup> )	矿物结合有机氮** / (g · kg <sup>-1</sup> )
裸地	0	1.97±0.21a	0.09±0.01a	0.70±0.02a	0.67±0.02a
小麦连作	0	2.12±0.15a	0.10±0.01a	0.72±0.03a	0.69±0.03a
苜蓿连作	0	2.19±0.32a	0.14±0.03a	0.87±0.02b	0.81±0.02b
苜蓿连作	M <sub>75</sub> N <sub>120</sub> P <sub>60</sub>	5.33±0.57b	0.38±0.00b	1.09±0.03c	1.01±0.02c
LSD <sub>0.05</sub>		1.22	0.06	0.08	0.08

注:(1)\*表示以分离出的微粒为基础计算的氮含量,\*\*表示以原土为基础计算的氮含量;(2)数值后的字母表示5%显著性差异。

表 4 长期生长苜蓿对土壤有机碳储量与固定储量的影响

种植制度	施肥处理	有机碳储量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	有机碳固定量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	有机碳固定率/ (kg · hm <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )
裸地	0	15205.5	-1117.0	-69.8
小麦连作	0	16389.3	66.8	4.2
苜蓿连作	0	16737.1	414.6	25.9
苜蓿连作	M <sub>75</sub> N <sub>120</sub> P <sub>60</sub>	23779.6	7457.1	466.1

### 3 讨论与结论

土壤有机碳、氮的变化与土壤耕作制度及土壤利用方式等因素有着密切的关系。研究表明,当农地转变为草地后,由于地上及地下植物有机残体输入到土壤中,而且与农地不同的是,草地土壤处于免耕状态,使土壤免受扰动,有助于土壤对有机碳的保护<sup>[13]</sup>,这些因素就有利于草地土壤中有机碳及氮素的积累<sup>[14-15]</sup>。草地土壤中有机碳和氮素累积的强度主要取决于草的根系及地上有机残体向土壤中的输入量及其在土壤中分解与转化等因素。在本试验研究结果中,不施肥条件下,苜蓿地土壤有机碳与氮素含量高于小麦连作土壤中的含量,其主要原因是,苜蓿具有固氮能力,而且苜蓿地土壤处于免耕状态,对土壤有机碳具有保护作用。本研究发现,苜蓿地上部分常被收获,而且不进行土壤翻耕,地上部有机物残体很少且不易进入到土壤中,所以,苜蓿地土壤微粒有机碳变化不明显。进入到土壤中的有机碳主要来源于根系分泌的有机物及死亡的根系,这些有机物在微生物的作用下,其分解和转化后的产物与细土壤矿物颗粒结合,成为矿物结合有机碳,累积有机碳、氮主要分布在矿物结合的有机碳、氮组分中。在本试验中,在施用有机肥及氮、磷化肥条件下,苜蓿地土壤增加的有机碳、氮几乎平均地分布在微粒有机碳、氮和矿物结合的有机碳、氮组分中,说明了进入到土壤中的有机碳、氮逐步转为土壤有机碳、氮库中相对稳定的组分。这表明了在有机肥与化肥配施条件下,苜蓿的生物量提高<sup>[11,15]</sup>,输入到土壤中有机物量高于不施条件,土壤中增加的微粒有机碳、全氮及矿物结合有机碳、氮主要来源于施入的有机肥,其次是苜蓿的贡献,

显示了种植苜蓿与施肥对土壤有机碳、氮库的驱动作用。在半干旱条件下,保持适度苜蓿生产力,才能使土壤水分环境条件维持苜蓿多年生长<sup>[6]</sup>。因此,在旱地土壤中,长期适度生长苜蓿并施肥,有助于提高土壤氮素的积累,促进土壤对有机碳的固定。

#### 参考文献:

- [1] 储国良,王全洪,丁剑英,等. 丘陵地区发展苜蓿生产的前景与效益[J]. 江苏农业科学,1998(6):58-60.
- [2] 刘东臣,萧冰,王爱军. 盐碱地人工草地土壤固氮作用强度的研究[J]. 河北农业大学学报,1995,18(3):43-46.
- [3] 张婉娴,栾双. 紫花苜蓿培肥土壤及年固氮量的测定[J]. 东北农学院学报,1987,18(1):85-88.
- [4] 彭祥林,李玉山,朱显谟. 关中红油土地区的轮作制[J]. 土壤学报,1961,9(1/2):42-55.
- [5] 李琪,曹致中. 陇东紫花苜蓿现状调查及分析[J]. 草业科学,1992,9(5):7-11.
- [6] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报,2002,39(3):404-411.
- [7] 聂庆华,宋桂琴. 黄土高原沟壑区人工草地生产力研究[J]. 水土保持通报,1993,13(5):22-27.
- [8] 朱汉,王占升,邢新海,等. 苜蓿对土壤生态环境的影响[J]. 农村生态环境,1993(3):20-22.
- [9] 于忠禾,宫玉芝,赵德林. 苜蓿改良白浆土效果及农牧结合综合效益的研究[J]. 土壤肥料,1995(3):8-12.
- [10] 邢新海,田魁祥. 河北省黑龙港地区苜蓿发展与水土生态系统分析[J]. 农业现代化研究,1992,13(4):218-221.
- [11] 郝明德,张春霞,王旭刚,等. 黄土高原地区施肥对苜蓿生产力的影响[J]. 草地学报,2004,12(3):195-198.
- [12] 党廷辉,彭琳,杨平,等. 从长期定位试验看渭北旱塬小麦化肥的合理施用[J]. 干旱地区农业研究,1993,11(2):20-26.
- [13] Camberdella C A, Elliott E T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence [J]. Soil Sci. Soc. Am J., 1992,56(3):777-783.
- [14] Lal R. Soil carbon dynamic in cropland and range land [J]. Environmental Pollution,2002,116(3):353-362.
- [15] Angers D A. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfalfa[J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,1992,56(5):1244-1249.