

土壤团聚体微生物量对紫花苜蓿种植年限的响应

海龙^{1,2}, 姚拓², 张文明¹

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:为了探索苜蓿种植对半干旱黄土丘陵区土壤质量的影响,采用野外调查和室内分析相结合的方法,选取农田(CK)和不同种植年限(3, 7, 12, 18 a)紫花苜蓿地 0~20, 20~40 cm 土层土壤为研究对象,对不同种植年限紫花苜蓿地土壤团聚体微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)分布特征进行了研究。结果表明:土壤团聚体有机碳、MBC 和 MBN 均在 1~0.25 mm 粒级团聚体中分布最多,其含量变化分别为 6.25~10.37、111.25~343.96 和 19.04~56.40 mg/kg。当农田更替为苜蓿草地后,随种植年限延长至 12 a,各粒级土壤团聚体 MBC、MBN 含量递增趋势明显,在 0~20 cm 土层,12a 与 CK 相比分别增加 56.21%~65.08%和 43.85%~91.72%;0~20 cm 土层 MBC、MBN 均高于 20~40 cm 土层;>0.25 mm 各粒级土壤团聚体 MBC/MBN 均大于<0.25 mm 小团聚体。表明种植紫花苜蓿能改善土壤质量,但种植年限超过 12 a,土壤会发生一定程度退化。

关键词:紫花苜蓿草地;种植年限;土壤团聚体;微生物量;半干旱黄土丘陵区

中图分类号:S541;S152.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)02-0019-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2021.02.003

土壤团聚体是土壤中有机无机颗粒在胶结、凝聚作用及动植物活动的团聚作用下形成的,是土壤结构的基本组成单元^[1]。土壤团聚体对土壤通气性,养分供蓄及抗侵蚀有重要影响,具有良好结构的团聚体有助于提高土壤质量^[2]。已有研究表明,不同粒径团聚体的理化性质、供应能力存在一定差异^[3],微生物特性也可能不尽相同。土壤微生物活动会对团聚体的形成及不同粒级间转换产生影响,此外微生物参与有机质分解、腐殖质形成、能量调控、养分转化循环等生化过程^[4]。土壤微生物量大小可以反映土壤有机物质的代谢强度及土壤肥力水平^[5],能敏感地指示土壤环境变化。其中微生物量碳是土壤有机质中的活性部分,微生物量氮是氮素养分循环中的重要来源^[6],可作为评判土壤养分含量高低的生物学指标。

黄土高原丘陵沟壑区由于其特殊的地理、气候和土壤条件,土壤侵蚀、退化严重^[7],生态环境脆弱。不科学、不合理的人类活动导致水土流失、生态失衡等问题更加突出。紫花苜蓿是一种优质的豆科牧草,高产、营养价值丰富、蛋白质含量高、抗逆性强,根系具有很强的根瘤固氮作用^[8],在优化土壤结构、减少水土流失,恢复当地生态环境等方面发挥着重要作用。由于其具有较好的抗旱固土能力,紫花苜蓿在黄土高原被广泛种植,成为改善黄土高原生态环境的重要途径^[9]。然而随着种植年限的增加,加之管理不善,紫花苜蓿地出现了土壤质量及牧草品质逐步退化,牧草产量下降等现象。目前国内学者对紫花苜蓿做了大量研究工作^[10-13],主要集中在紫花苜蓿土壤水分动态变化、土壤理化特征等方面,而在团聚体尺度上对苜蓿地土壤的生物学特征研究比较少。土壤团聚体作为微生物活动的微场所,其中微生物量的变化能够敏感地反映土地利用和管理上的差异^[14]。通过研究不同种植年限紫花苜蓿草地土壤团聚体中微生物量碳、氮分布特征,可为合理评价苜蓿种植的生态学效应以及科学管理人工苜蓿草地提供理论依据。

收稿日期:2020-12-21; **修回日期:**2021-01-08

基金项目:甘肃农业大学学科建设专项基金(GAU-XKJS-2018-200);甘肃省自然科学基金(18JR3RA168)

作者简介:海龙(1976-),男,甘肃宁县人,讲师,博士。

E-mail: hailong@gsau.edu.cn

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验地选在定西市陇西县,该区是黄土高原半干旱丘陵区。平均海拔 1 673 m,年日照时数 2 751.4 h,年均气温 9.3℃,极端最高温 39.1℃,最低温 -23.1℃,年均降水量 445.8 mm,无霜期 146 d。试验地土壤类型为黄绵土,近似于半干润淡色始成土(Us-tochnept),相应于 FAO 分类系统中的钙积始成土(Calcic Cambisols),土壤土层深厚,母质为第四纪风成黄土。

1.2 样品采集

在野外实地调查的基础上,采用空间分布代替时间序列的方法,综合考虑坡向、坡位,采集自然生态条件相同,种植年限分别为 3、7、12、18 a 的紫花苜蓿草地样本,种植面积均在 200 m² 以上。采用随机取样法设 3 个 25 m² 的典型样方,每个样方相同土层 3 个样点组成一个混合样。采集 0~20、20~40 cm 两个土层原状土柱样品,装入硬质塑料盒中。基于从农田更替为苜蓿草地,对照选取常规管理模式的农田土壤并采集样本。将土样带回室内后,去除石块和植物残体等杂质,沿自然结构轻轻掰成直径约 1 cm 的小土块,自然风干后分成两个亚样本。其中一个采用干筛法^[15]分离出 >5、5~2、2~1、1~0.25、<0.25 mm 五级团聚体,用作团聚体分析,另一个过筛后供土壤有机碳的测定。

1.3 测定项目与方法

将干筛后的土壤样品含水量调节至田间含水量的 50%,于广口瓶中 25℃ 下密封预培养 7 d,然后进行微生物量碳、氮测定。

土壤微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)采用氯仿熏蒸-硫酸钾浸提法^[16],MultiN/C 2100 分析仪进行测定,计算公式如下:

$$MBC = E_C / K_{EC}$$

$$MBN = E_N / K_{EN}$$

式中: E_C 为熏蒸与未熏蒸土壤浸提液中有机碳的差值, $K_{EC}=0.38$; E_N 为熏蒸与未熏蒸土壤浸提液中总氮的差值, $K_{EN}=0.45$ 。

土壤团聚体有机碳(TOC)测定采用外加热重铬酸钾容量法^[17]。

1.4 数据处理

运用 Excel 2016 软件数据处理及图表制作,通过

SPSS 24.0 软件进行单因素方差分析。图表中数据为平均值±标准误。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限土壤团聚体 TOC 分布特征

土壤团聚体 TOC 含量在评价土壤养分储蓄能力方面具有重要意义。0~20 cm 土层,各粒级土壤团聚体 TOC 含量均高于 20~40 cm 土层。0~20 cm 土层,各粒级团聚体 TOC 在 >0.25 mm 粒级中随直径的减小而逐渐增加,即在 1~0.25 mm 粒级团聚体中含量最大,其含量达 8.69~10.37 g/kg,而在 >5 mm 团聚体中最小,为 5.92~8.50 g/kg。随苜蓿种植年限延长,TOC 含量表现为 12 a > 18 a > 7 a > 3 a > CK, 12 a 与 CK, 3, 7, 18 a 相比,增幅分别达 19.38%~43.56%、10.44%~22.47%、9.20%~11.94%、3.63%~6.93%。20~40 cm 土层土壤团聚体 TOC 分布特征与 0~20 cm 一致,但变化幅度减小(图 1)。

2.2 不同种植年限土壤团聚体 MBC 分布特征

0~20 cm 土层,土壤团聚体 MBC 含量在 >5、5~2、2~1、1~0.25 mm 粒级中依次呈递增趋势,<0.25 mm 粒级中 MBC 含量最低,为 110.26~174.04 mg/kg。随种植年限延长,土壤团聚体 MBC 含量呈现出增加后降低的变化趋势,12 a 团聚体 MBC 含量达到最大,为 174.04~343.96 mg/kg,是 CK 的 1.56~1.79 倍。20~40 cm 土层土壤团聚体 MBC 变化趋势与 0~20 cm 一致,但变化幅度明显减小(图 2)。

2.3 不同种植年限土壤团聚体 MBN 分布特征

0~20 cm 土层,各粒级土壤团聚体 MBN 分布特征与 MBC 分布特征基本一致,表现为 1~0.25 mm > 2~1 mm > 5~2 mm 大于 >5 mm,仅 <0.25 mm 粒级的 MBN 含量低于 >5 mm。与 CK 相比,不同种植年限紫花苜蓿地土壤团聚体 >5 mm、5~2 mm、2~1 mm、1~0.25 mm、<0.25 mm 粒级的 MBN 含量分别增加 5.83~14.33、3.95~12.95、6.29~23.99、3.02~22.32、1.47~5.16 mg/kg。其中,种植 12 a 1~0.25 mm 粒级 MBN 含量显著高于其他年限,比 CK 高 43.85%~91.72%,比 7、18 a 分别高 11.09%~21.66%、6.24%~16.23%,7 a、18 a 间无显著差异。20~40 cm 土层,MBN 在 1~0.25 mm 团聚体中分布最多,<0.25 mm 团聚体中分布最少,与表土层分布规律一致,但各粒级不同年限间土壤团聚体 MBN 含

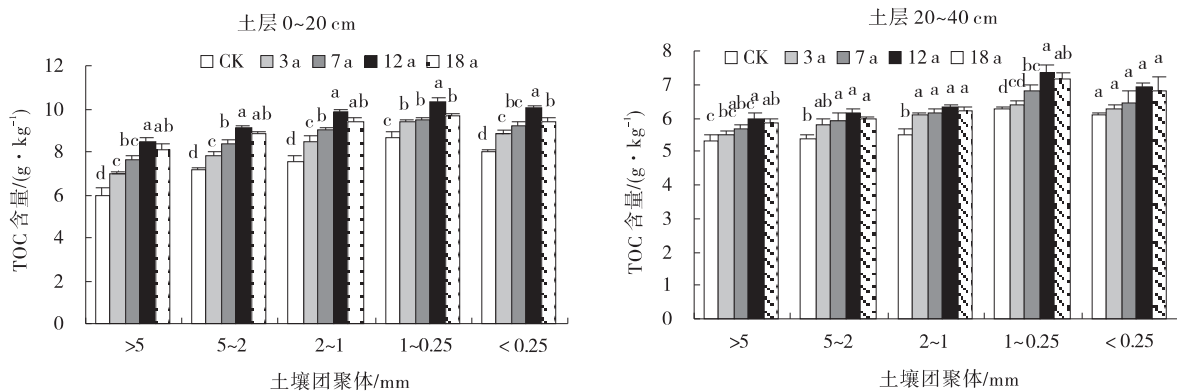


图 1 不同种植年限土壤团聚体 TOC 含量

Fig. 1 Distribution of organic carbon contents in soil aggregates with different alfalfa plantation years

注:同一粒级不同小写字母代表处理间差异显著($P < 0.05$),下同

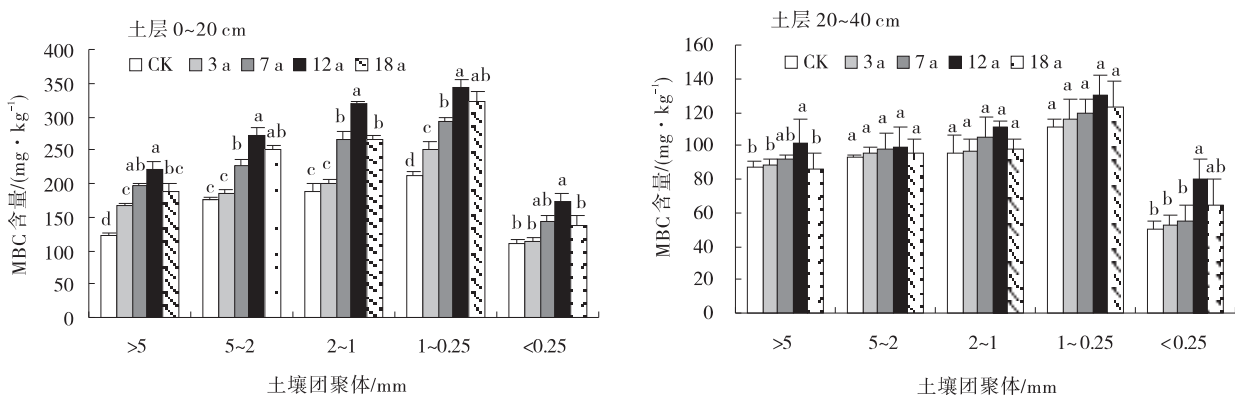


图 2 不同种植年限土壤团聚体 MBC 含量

Fig. 2 Distribution of MBC contents in soil aggregates with different alfalfa plantation years

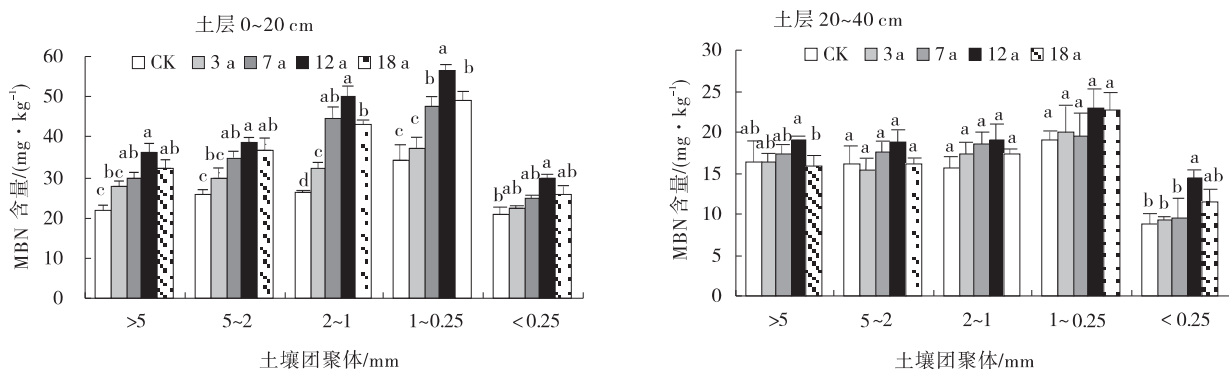


图 3 不同种植年限土壤团聚体 MBN 含量

Fig. 3 Distribution of MBN contents in soil aggregates with different alfalfa plantation years

量差异明显变小,且含量均低于 0~20 cm 土层(图 3)。

2.4 不同种植年限土壤团聚体微生物量碳氮比(MBC/MBN)分布特征

团聚体 MBC/MBN 变化为 5.27~7.17。0~20 cm 土层,>0.25 mm 各粒级团聚体 MBC/MBN 高于 <0.25 mm 团聚体,最大相差 1.33 倍。随种植年限延

长,MBC/MBN 在 >5 mm 粒级团聚体中呈现出先增加后下降的变化趋势,7 a 时为 6.63,显著高于 CK 和 18 a,分别是 CK 和 18a 的 1.18 和 1.14 倍,而 CK 和 18 a 之间无显著差异。其余各粒级不同年限与 CK 间无显著差异。20~40 cm 土层,MBC/MBN 变化范围为 5.27~6.20,随年限变化较为平缓,不同年限间无显著差异,且 MBC/MBN 均低于表土层(表 1)。

表 1 不同种植年限土壤团聚体中微生物量碳氮比

Table 1 The ratio of MBC to MBN in soil aggregates with different alfalfa plantation years

土层/cm	处理	>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	<0.25 mm
0~20	CK	5.61±0.21 ^b	6.80±0.38 ^a	7.17±0.03 ^a	6.27±0.38 ^a	5.38±0.41 ^a
	3 a	5.97±0.12 ^{ab}	6.37±0.55 ^a	6.20±0.31 ^a	6.80±0.40 ^a	5.38±0.77 ^a
	7 a	6.63±0.15 ^a	6.57±0.50 ^a	6.07±0.57 ^a	6.22±0.44 ^a	5.74±0.44 ^a
	12 a	6.13±0.41 ^{ab}	7.07±0.26 ^a	6.40±0.32 ^a	6.10±0.23 ^a	5.87±0.39 ^a
	18 a	5.83±0.15 ^b	6.83±0.12 ^a	6.13±0.09 ^a	6.60±0.30 ^a	5.34±0.75 ^a
20~40	CK	5.37±0.20 ^a	5.90±0.46 ^{ab}	6.07±0.18 ^a	5.90±0.35 ^a	5.73±0.09 ^a
	3 a	5.40±0.20 ^a	6.20±0.10 ^a	5.60±0.15 ^a	5.90±0.42 ^a	5.73±0.28 ^a
	7 a	5.27±0.03 ^a	5.60±0.06 ^{ab}	5.67±0.27 ^a	6.20±0.21 ^a	5.83±0.32 ^a
	12 a	5.30±0.10 ^a	5.33±0.19 ^b	5.90±0.40 ^a	5.73±0.29 ^a	5.60±0.36 ^a
	18 a	5.40±0.06 ^a	5.93±0.23 ^{ab}	5.67±0.20 ^a	5.47±0.32 ^a	5.60±0.20 ^a

注:不同字母分别表示相同粒级下不同种植年限间差异显著($P<0.05$),下同

2.5 不同种植年限土壤团聚体微生物熵(MBC/TOC)分布特征

0~20 cm 土层,不同年限苜蓿草地土壤微生物熵均随团聚体直径的减小呈先增加后降低的变化趋势,1~0.25 mm 粒级微生物熵为 2.68%~3.33%,达到最大,而<0.25 mm 粒级微生物熵最小,为 1.29%~

1.73%。随着苜蓿种植年限的延长,<5 mm 土壤团聚体微生物熵呈现出先增高后降低的变化趋势,12 a 达到最大,其变化为 1.73%~3.34%。20~40 cm 土层,1~0.25 mm 团聚体微生物熵最高,各粒级不同年限间土壤团聚体微生物熵差异不显著。此外,20~40 cm 土层团聚体微生物熵均低于 10~20 cm 土层(表 2)。

表 2 不同种植年限土壤团聚体中微生物熵

Table 2 Distribution of microbial quotient in soil aggregates with different alfalfa plantation years

土层/cm	处理	>5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	<0.25 mm
0~20	CK	2.10±0.21 ^b	2.45±0.08 ^b	2.48±0.21 ^{bc}	2.45±0.11 ^b	1.37±0.08 ^{ab}
	3 a	2.38±0.07 ^{ab}	2.38±0.09 ^b	2.36±0.10 ^c	2.68±0.13 ^b	1.29±0.08 ^b
	7 a	2.61±0.11 ^a	2.71±0.09 ^{ab}	2.97±0.17 ^a	3.09±0.04 ^a	1.56±0.14 ^{ab}
	12 a	2.58±0.13 ^a	2.99±0.15 ^a	3.24±0.05 ^a	3.34±0.11 ^a	1.73±0.12 ^a
	18 a	2.32±0.11 ^{ab}	2.83±0.13 ^a	2.81±0.08 ^{ab}	3.32±0.18 ^a	1.45±0.17 ^{ab}
20~40	CK	1.64±0.03 ^a	1.72±0.13 ^a	1.73±0.12 ^a	1.78±0.03 ^a	0.81±0.11 ^a
	3 a	1.59±0.04 ^a	1.64±0.09 ^a	1.60±0.07 ^a	1.81±0.16 ^a	0.84±0.03 ^a
	7 a	1.62±0.12 ^a	1.66±0.07 ^a	1.70±0.04 ^a	1.76±0.09 ^a	0.83±0.12 ^a
	12 a	1.70±0.10 ^a	1.62±0.14 ^a	1.74±0.08 ^a	1.78±0.16 ^a	1.16±0.12 ^a
	18 a	1.47±0.10 ^a	1.59±0.11 ^a	1.58±0.12 ^a	1.73±0.13 ^a	0.95±0.16 ^a

3 讨论

土壤团聚体中不同大小的孔隙为土壤微生物活动提供微环境,能影响土壤微生物量的分布^[18]。微生物量碳、氮是土壤中易被利用的养分,不同粒级土壤团聚体中微生物量碳、氮的分布可以敏感地反映土壤肥力变化。本研究表明不同粒级团聚体中,土壤有机碳、微生物量碳、氮最大值均集中于 1~0.25 mm 较小团聚体中,与刘毅等^[19]研究结果一致。与大团聚体相比,1

~0.25 mm 团聚体结构相对复杂,有机、无机胶体结合从而固碳效果好,但也可被微生物分解利用,促进微生物生长。李玮等^[20]研究表明,5~2 mm 团聚体中微生物量碳含量较高,荣勤雷等^[21]研究表明,<0.25 mm 团聚体中微生物量碳、氮含量较高,这可能与植被类型、地理环境、管理方式等因素有关。本研究发现随苜蓿种植年限延长,土壤团聚体微生物量碳、氮含量表现为 12 a>18 a>7 a>3 a>CK,表明退耕还草,种植牧草对土壤微生物生物量有明显的促进作用^[22]。这

可能与根系分泌物及微生物合成物质在土壤中随种植年限延长不断积累,微生物活动更为活跃,代谢加快有关,但超过一定年限,苜蓿生长衰退,维持微生物活动的物质减少,微生物量碳、氮开始下降。

微生物量碳氮比在一定程度上可以反映苜蓿种植年限对土壤微生物数量以及种群结构的影响^[23],细菌 C/N 为 5:1,真菌为 10:1,放线菌为 6:1^[24]。本研究中,不同年限各粒级团聚体中 MBC/MBN 为 5.27~7.17,表明土壤中微生物群落可能主要为细菌和放线菌。微生物熵主要用来表征土壤活性有机碳特征,反映碳的动态循环以及土壤质量变化。土壤团聚体微生物熵较大值集中于 1~0.25 mm 团聚体中,说明 1~0.25 mm 团聚体有机碳活性较高。随种植年限增加,微生物熵先增加后减小,与薛冬等^[25]研究结果一致。综合微生物量碳氮比和微生物熵,种植苜蓿土壤团聚体中微生物量比较丰富,土壤团聚体中碳活性也较高。表明种植紫花苜蓿有利于改善土壤结构,提高活性有机碳含量,增加土壤微生物生物量,促进微生物活动,但种植年限超过 12 a,土壤会发生一定程度退化。

4 结论

1)不同种植年限土壤团聚体有机碳,微生物量碳、氮,微生物熵在 1~0.25 mm 粒级中含量达到最大。随紫花苜蓿种植年限延长,土壤团聚体有机碳,微生物量碳、氮,微生物熵均先增加后减少,12年生苜蓿草地含量最高。

2)不同年限土壤团聚体中微生物量碳氮比和微生物熵在 >0.25 mm 团聚体中较高。

参考文献:

[1] Yang C, Liu N, Zhang Y, *et al.* Soil aggregates regulate the impact of soil bacterial and fungal communities on soil respiration[J]. *Geoderma*, 2019, 33:444-452.

[2] 张艺,戴齐,尹力初,等. 后续施肥措施改变对水稻土团聚体有机碳分布及其周转的影响[J]. *土壤*, 2017, 49(5):969-976.

[3] Gelaw A M, Singh B R, Lal R, *et al.* Organic Carbon and Nitrogen Associated with Soil Aggregates and Particle Sizes Under Different Land Uses in Tigray, Northern Ethiopia[J]. *Land Degradation & Development*, 2015, 26(7):690-700.

[4] Fanin N, Hattenschwiler S, Fromin N, *et al.* Litter finger-

print on microbial biomass, activity, and community structure in the underlying soil[J]. *Plant and Soil*, 2014, 379(1):79-91.

- [5] 王宁,罗佳琳,赵亚,等. 不同麦秸还田模式对稻田土壤微生物活性和微生物群落组成的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(1):125-133.
- [6] 路怡青,朱安宁,张佳宝,等. 免耕和秸秆还田对潮土酶活性及微生物量碳氮的影响[J]. *土壤学报*, 2013, 45(5):894-898.
- [7] Zhang Q, Fu B, Chen L, *et al.* Dynamics and driving factors of agricultural landscape in the semiarid hilly area of the Loess Plateau, China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 103(3):535-543.
- [8] 赵美荣,申玉华,李永春,等. 紫花苜蓿抗逆基因工程研究进展[J]. *草地学报*, 2014, 22(2):243-248.
- [9] Zhang X, Zhao W, Liu Y, *et al.* The relationships between grasslands and soil moisture on the Loess Plateau of China: A review[J]. *Catena*, 2016, 145:56-67.
- [10] 罗珠珠,牛伊宁,李玲玲,等. 陇中黄土高原不同种植年限苜蓿草地土壤水分及产量响应[J]. *草业学报*, 2015, 24(1):31-38.
- [11] 徐坤,李世忠. 不同种植年限苜蓿地土壤理化性状[J]. *草业科学*, 2015, 32(11):1767-1773.
- [12] 海龙,姚拓,张文明,等. 黄土丘陵沟壑区不同种植年限紫花苜蓿草地土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. *草原与草坪*, 2020, 40(4):16-21.
- [13] 海龙,姚拓,张春红,等. 黄土丘陵沟壑区不同年限苜蓿地土壤水稳性团聚体分布特征及稳定性研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2020, 38(5):51-56.
- [14] Chapman S, Campbell C D, Puri G, *et al.* Native woodland expansion: soil chemical and microbiological indicators of change[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35(6):753-764.
- [15] 文倩,赵小蓉,陈焕伟,等. 半干旱地区不同土壤团聚体中微生物量碳的分布特征[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(10):1504-1509.
- [16] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京:气象出版社, 2006:65-95.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [18] Gupta V V S R, Germida J J. Soil aggregation: Influence on microbial biomass and implications for biological processes[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 80: A3-A9.

- [19] 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[J]. 中国农业科学,2007,40(2):304—313.
- [20] 李玮,郑子成,李廷轩,等. 不同植茶年限土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. 生态学报,2014,34(21):6326—6336.
- [21] 荣勤雷,李若楠,黄绍文,等. 不同施肥模式下设施菜田土壤团聚体养分和微生物量特征[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(7):1084—1096.
- [22] 南丽丽,师尚礼,郁继华. 荒漠灌区不同种植年限苜蓿草地土壤微生物特性[J]. 草地学报,2016,24(5):975—980.
- [23] Marschner P, Kandeler E, Marschner B. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003,35:453—461.
- [24] Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis[J]. Soil Biology & Biochemistry,1998,30(13):1627—1637.
- [25] 薛冬,姚槐应,黄昌勇. 植茶年龄对茶园土壤微生物特性及酶活性的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(2):84—87.

Microbial biomass in soil aggregates in response to different alfalfa planting years

HAI Long^{1,2}, YAO Tuo², ZHANG Wen-ming¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou 730070, China; 2. Key Laboratory of Grassland Ecosystem, College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This study aimed to explore the effects of alfalfa planting on soil quality in semi-arid Loess Hilly region. Alfalfa paddocks in Loess Hilly region with different growing years (3, 7, 12, and 18 years) were selected, with a nearby paddock with no alfalfa planting history as the control. The distribution characteristics of microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass nitrogen (MBN) in soil aggregates from the top 40 cm soil layer were studied. Our results showed that soil total organic carbon, MBC and MBN were most abundant in aggregates with 0.25~1 mm particle size, ranging from 6.25~10.37 g/kg, 111.25~343.96 mg/kg and 19.04~56.40 mg/kg, respectively. When the farmland was replaced by alfalfa, MBC and MBN contents in aggregates with different particle sizes all increased significantly with the planting years up to 12 years. Compared with the control, MBC and MBN contents from the top 20 cm soil layer at the paddock with 12 years of alfalfa planting increased by 56%~65% and 44%~92%, respectively; which were also greater than those from the 20~40 cm soil layer. The ratio of MBC:MBN in aggregates with >0.25 mm particle size was higher than that in aggregates with <0.25 mm particle size. Our results showed that soil quality could be significantly improved through alfalfa planting with a planting years of ≤12, followed by a decline if alfalfa growing years were beyond that.

Key words: alfalfa grassland; planting years; soil aggregates; microbial biomass; semi-arid Loess Hilly region