

草地轮作年限和季节对土壤不同组分有机氮含量的影响

林 栋,张德罡

(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:为揭示轮作草地不同粒级土壤有机质及其氮含量在时间序列上的动态特征,以有机农牧场低投入蔬菜生产后的5年草地轮作土壤为研究对象,测定不同组分有机质,颗粒有机氮(PON)和非颗粒有机氮(n-PON)含量变化。结果表明:草地轮作5年土壤有机质含量增加18%,土壤总有机氮含量增加20.6%,第5年显著高于第1、3年但低于永久性草地。随着草地轮作年限的增加,土壤总有机氮中PON比例逐渐增加,n-PON比例逐渐降低,冬季n-PON占比小于春、夏、秋季。草地轮作5年土壤PON增加60%,n-PON增加16.5%,且均接近永久性草地含量,春季草地土壤n-PON含量显著高于冬季,季节对轮作草地土壤总有机氮和PON含量无显著影响。PON敏感指示土壤有机氮变化动态,草地轮作提高了土壤有机氮循环强度和有效性。土壤总有机氮、PON、n-PON含量与土壤容重呈极显著负相关,与有效P、K、Ca、Mg含量和阳离子交换量呈极显著正相关。草地轮作5年土壤不同组分有机氮含量发生显著变化,有效改善了土壤养分状况。

关键词:土壤有机质;颗粒有机氮;轮作草地;季节动态

中图分类号:S812.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)03-0023-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.03.004

氮循环是农业生态系统中最基本的物质循环过程,对农业生态系统的稳定性、生产力及其环境效应具有关键性的作用^[1-2]。有机态氮是土壤氮素的主要存在形式,它是氮素循环中的重要枢纽站,了解有机氮各组分变化动态特征是土壤氮素肥力研究的重点^[3]。随着理化检测技术的进步和新方法的集成,人们对土壤有机质的组分、动态和生物学重要性的认识也不断深入^[4-5]。常见的土壤有机质分组技术有物理分组、化学分组和生物学分组3大类。物理分组由于基本不改变有机质原有性质,与化学分散方法相结合,能够准确反

映土壤营养状况,而被广泛使用^[6-7]。土壤有机质可以看作不同降解速率的一系列组分构成的连续体,不同粒级的有机质反映了土壤有机质活性的不同。按照颗粒大小分组一般将粒径在53~2 000 μm 的砂粒称为颗粒有机质(POM),其中的氮为颗粒有机氮(PON),被认为是土壤活性氮库中的重要组分,在土壤氮循环过程中起着非常重要的作用^[8]。POM作为土壤活性有机质的组分和量度指标,可以用于评价不同农业措施对土壤质量和功能的影响^[9-10],可表征土壤有机质分布和营养状况变化,与土壤有机氮的生物学调节密切相关^[11]。

牧草与农作物轮作是集生态效益、经济效益、社会效益于一体的草地农业生产模式,具有广泛的推广应用前景^[12]。北美草地经过60 a的耕作,净损失土壤有机氮29%,90 a耕作后土壤有机氮含量降低46%^[13]。将耕地转变为草地将有效增加土壤有机质,氮和土壤生物量,促进养分循环^[14]。草地轮作通过影响土壤物理、化学和生物学性质,进而影响土壤氮素转化和供

收稿日期:2019-06-11; **修回日期:**2020-05-06

基金项目:科技部重点研发项目(2016YFC0501900);甘肃省高校科研项目(2016A-031)

作者简介:林栋(1983-),男,甘肃武威人,在读博士。

E-mail:lind@gsau.edu.cn

张德罡为通讯作者。

E-mail:zhangdg@gsau.edu.cn

应^[15]。轮作对合理利用土地资源,改善土壤肥力,维持土壤养分平衡,有效缓解连作障碍,实现农牧业可持续生产均具有重要意义^[12]。轮作制度同时会对有机氮组分产生影响^[16],但在时间序列上,轮作年限和季节对土壤不同组分有机氮的影响还需进一步明确。研究轮作草地土壤不同粒级中氮素的含量和分布状况,可为阐明土壤养分循环和稳定性机制,揭示土壤肥力形成和变化规律提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于美国肯塔基州乔治敦县的埃尔姆伍德有机畜牧场(N 38°13'26"~38°14'00"、W 84°30'08"~84°30'53"),海拔 165~323 m,年均降水量 1 209 mm,年均气温 12℃,无霜期 163~192 d^[17]。该牧场不使用化肥、农药、除草剂等,以有机生产方式经营,采取典型的 3 年低投入蔬菜生产后种植 5 年多年生牧草的轮作方式。研究地坡度约 2%~6%,土壤类型为淋溶土(国际土壤分类系统)^[18],采样点基本立地条件保持一致。

1.2 试验设计

运用空间代替时间的方法,选取蔬菜牧草轮作系统中不同轮作年限草地和永久性草地(对照)土壤为研究对象,分析轮作年限和季节时间序列上土壤不同组分有机质及其氮含量变化动态特征。研究区轮作草地前茬蔬菜作物种类一致,主要为甘蓝(*Brassica oleracea*)、甜菜(*Beta vulgaris*)和胡萝卜(*Daucus carota*)等。多年生草地主要物种为:苜蓿(*Medicago sativa*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、高羊茅(*Festuca arundinacea*)、鸭茅(*Dactylis glomerata*)、白三叶(*Trifolium repens*)、红三叶(*T. pratense*)和梯牧草(*Phleum pratense*)。每个处理的草地面积约 2~4 hm²,在其中随机选取立地条件一致的 3 个小区(5 m×5 m)作为重复,于 2015 年 1 月(冬季)、4 月(春季)、7 月(夏季)、10 月(秋季)在每个小区内以“S”形布置 6 个采样点,采集 0~15 cm 土层土壤,6 土钻混合为一袋样品。轮作第 1、3、4、5 年的草地分别标记为 Y1、Y3、Y4、Y5,永久性草地(Permanent pasture)标记为 P。

1.3 颗粒有机质分离提取

去除新鲜土样中肉眼可见的植物根、茎等组织,过 5.66 mm 筛后自然风干。粗细土壤有机质组分的分

离参考 Paul 等^[19-20]的方法,并加以改进。风干土样过 2 mm 筛,取 30 g 溶入 90 mL 5% NaHMP(六偏磷酸钠)溶液,置于摇床 150 r/min 震荡 18 h,进行化学分散。取适量风干土样装入塑料瓶,加入两根研磨棒后用滚筒研磨机研磨 24 h,用于测定土壤全氮含量。NaHMP 分散的土样悬浊液过 53 μm 筛,并用 4 L 去离子水冲洗,进行物理分离。大于 53 μm 的部分为颗粒有机质(POM),小于 53 μm 的部分为非颗粒有机质(n-POM)。分离出的 POM 置于烘箱 105℃干燥 3~4 min,在干燥器中冷却后称重,球磨机研磨后储存于玻璃瓶中待进一步分析。取过 53 μm 筛后的 n-POM 悬浊液 130 mL,在冷冻干燥箱中冻干,冻干后置于 55℃烘箱干燥 1 h,称重后研磨。将研磨后的 POM、n-POM 和风干土样(全土),在干燥器中干燥 15 h,随即称取 65~75 mg 用元素分析仪(Flash EA 1112 Series,CE Elantech, Lakewood, NJ)测定有机氮含量。

1.4 数据统计分析

用连续正态拟合后的拟合优度检验数据是否符合正态分布(JMP12.0, SAS Institute),其中 PON 和 n-PON 占全 N 的比例呈正态分布,将其余不呈正态分布的数据 Log 化后再进行双因素方差分析,差异显著性用最小二乘均值 Tukey HSD 法进行比较($P < 0.05$)。用 SPSS 22.0 对轮作草地土壤全 N、PON、n-PON 与土壤基本理化性质进行斯皮尔曼(Spearman)相关性分析。土壤有机质和不同组分有机氮柱状图绘制中,年际数据取 4 个季节及其 3 次重复的均值,季节数据取各轮作年限和对照及其 3 次重复的均值。

2 结果与分析

2.1 不同组分土壤有机质含量变化

随着草地轮作年限的增加,土壤有机质含量不断积累,草地生长 5 年增加了 18%(图 1),其中颗粒有机质(POM)占土壤总量的比例显著升高($P < 0.01$),从第 1 年的 8.6% 提高到第 5 年的 10.2%,永久性草地 POM 含量占土壤总量的 12.8%。季节对土壤 POM 含量影响不显著($P > 0.05$),草地轮作年限和季节的交互作用亦不显著($P > 0.05$)。

土壤中非颗粒有机质(n-POM)含量随草地轮作年限的增加略有增长,第 1 年为 2.6%,第 5 年为 2.7%,Y3 和 Y4 显著高于 Y1,永久性草地 n-POM 含

量也占土壤总量的2.7%。但草地轮作年限对n-POM含量的占比仍有显著影响($P < 0.05$),季节对n-POM含量有极显著影响($P < 0.01$),且存在显著的草地年限 \times 季节交互作用($P < 0.01$)。春季草地n-POM平均占比为3.1%,显著高于夏、秋、冬季;秋季草地土壤n-POM含量占比亦显著高于夏季(图2)。

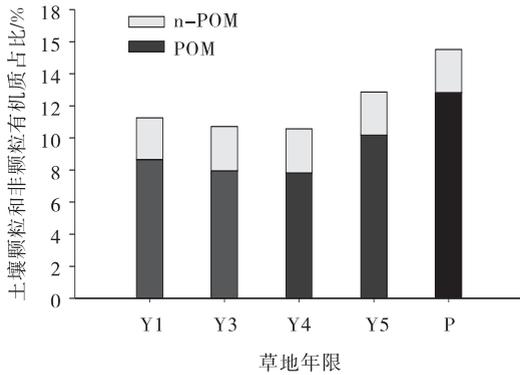


图1 不同轮作年限草地和永久性草地土壤中颗粒和非颗粒有机质占比

Fig. 1 Proportion of POM and n-POM in different pasture rotation year and permanent pasture soil

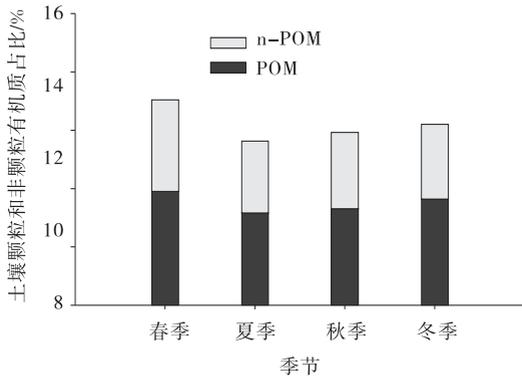


图2 各季节草地土壤中颗粒和非颗粒有机质占比
Fig. 2 Proportion of POM and n-POM in pasture soil in different seasons

2.2 轮作草地土壤总有机氮含量变化

随着草地轮作年限的增加,土壤总有机氮含量显著升高(图3),从草地建植第1年的1.99 g/kg增加到第5年的2.40 g/kg,增长了20.6%。轮作第5年草地土壤总有机氮含量显著高于第1和3年,但与Y4差异不显著。永久性草地土壤总有机氮含量为2.81 g/kg,显著高于Y1、Y3、Y4和Y5。春季草地土壤总有机氮含量(2.38 g/kg)略高于夏、秋和冬季(平均2.23 g/kg),但季节对轮作草地及永久性草地土壤总有机氮含量无显著影响($P > 0.05$),轮作年限与季节的交互效应亦不显著($P > 0.05$)。

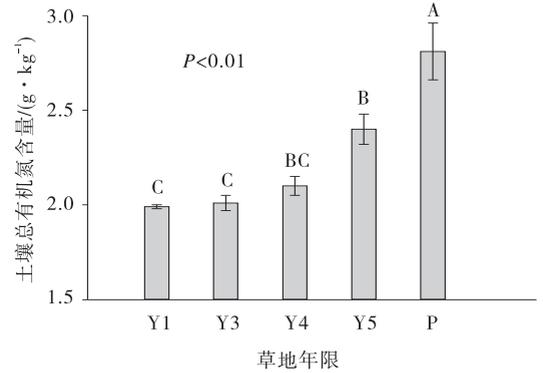


图3 不同轮作年限草地土壤总有机氮含量
Fig. 3 Total N in different pasture rotation year and permanent pasture soil

2.3 轮作草地土壤颗粒和非颗粒有机氮含量变化

对轮作草地及其对照土壤不同粒级有机氮进行分离,结果显示 $< 53 \mu\text{m}$ 的非颗粒有机氮(n-PON)占土壤有机氮总量的较大部分(平均85.8%),颗粒有机氮(PON)占比较小(平均11.6%)。随着草地轮作年限的增加,土壤总有机氮中PON比例逐渐增加,n-PON比例逐渐降低。季节显著影响n-PON占总有机氮的比例($P < 0.01$),冬季n-PON占总有机氮的比例为82.4%(图4),小于春、夏、秋季(平均87.4%),且存在显著的轮作年限 \times 季节的交互效应($P < 0.05$)。

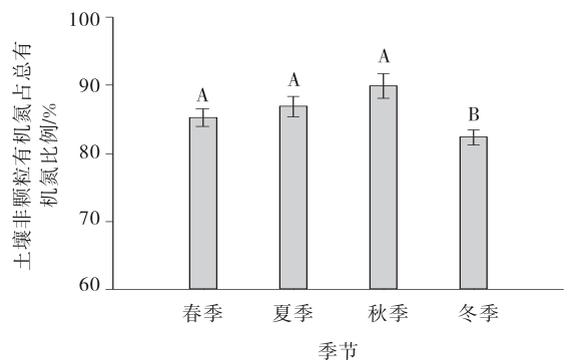


图4 不同季节草地土壤非颗粒有机氮占总有机氮的比例
Fig. 4 Proportion of n-PON in total organic nitrogen in different seasons

草地轮作年限显著影响土壤PON含量($P < 0.01$),随着草地轮作年限的增加PON含量逐渐增加(图5),从第1年的0.20 g/kg增加到第5年的0.32 g/kg,增长了60%。轮作5年草地土壤PON含量接近对照永久性草地含量(0.37 g/kg)。季节对研究区草地土壤PON含量无显著影响($P > 0.05$),草地轮作年限 \times 季节的交互效应亦不显著($P > 0.05$)。

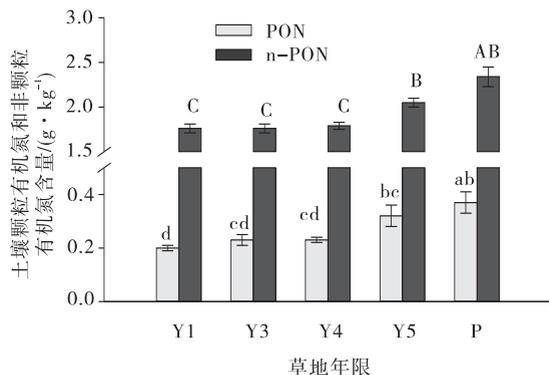


图5 不同轮作年限草地土壤颗粒有机氮和非颗粒有机氮含量

Fig. 5 PON and n-PON in different pasture rotation year and permanent pasture soil

注:不同小写字母表示颗粒有机氮含量差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示非颗粒有机氮含量差异显著($P < 0.05$)

随着草地轮作年限的增加,土壤 n-PON 含量也逐渐增加($P < 0.05$),从 Y1 的 1.76 g/kg 增加到 Y5 的 2.05 g/kg,5 年增长了 16.5% (图 5)。轮作第 5 年草地土壤 n-PON 含量显著高于 Y1, Y3 和 Y4,接近永久性草地土壤 n-PON 含量。季节显著影响轮作草地土壤 n-PON 含量变化($P < 0.05$),研究区草地春季土壤 n-PON 含量 2.02 g/kg,比冬季 n-PON 含

表 1 草地土壤有机氮与理化性质间的相关性系数

Table 1 Spearman's correlation coefficient (ρ) between pasture soil organic nitrogen and physicochemical properties

理化性质	总有机氮	颗粒有机氮 PON	非颗粒有机氮 n-PON
pH	0.045 9	0.075 7	-0.049 4
容重	-0.818 4**	-0.731 7**	-0.847 3**
含水量	0.385 2**	0.447 3**	0.246 2*
有效磷 P	0.772 0**	0.665 0**	0.788 6**
有效钾 K	0.704 8**	0.651 8**	0.561 4**
有效钙 Ca	0.431 2**	0.537 7**	0.363 9**
有效镁 Mg	0.579 8**	0.579 1**	0.477 3**
有效锌 Zn	0.079 6	0.026 1	0.121 6
阳离子交换量 CEC	0.711 0**	0.508 2**	0.557 4**
盐基饱和度 BS	-0.008 5	0.185 7	0.060 0
钠离子交换量 Ex_Na+	-0.052 9	-0.287 0*	-0.073 6

注:**在置信度(双侧)为 0.01 时相关性显著,*在置信度(双侧)为 0.05 时相关性显著

3 讨论

有机蔬菜种植地轮作为多年生草地 5 年后土壤有机质含量增加了 18%,肖剑英等^[21]对 10 年自然免耕土壤特征的研究表明,免耕垄作上层土壤有机质含量

量 1.84 g/kg 高出 9.8% (图 6)。然而,草地轮作年限和季节对土壤 n-PON 含量的交互效应并不显著($P > 0.05$)。

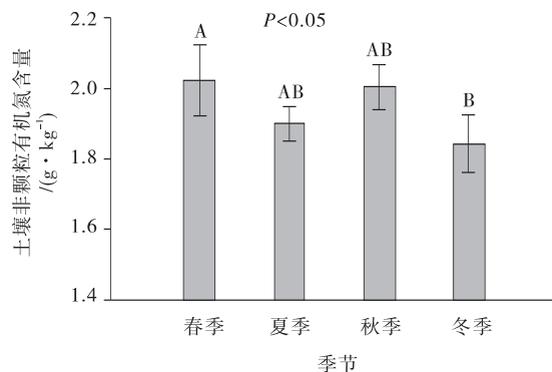


图 6 不同季节草地土壤非颗粒有机氮含量

Fig. 6 Pasture soil n-PON in different seasons

2.4 土壤有机氮与土壤理化性质的相关性

轮作草地土壤总有机氮、PON、n-PON 与土壤基本理化性质间的相关性分析表明,总有机氮、PON、n-PON 含量与土壤容重呈极显著负相关,与有效 P、K、Ca、Mg 含量和阳离子交换量呈极显著正相关,与 pH 值和有效 Zn 含量相关性不显著(表 1)。土壤含水量与总有机氮和 PON 含量极显著正相关($P < 0.01$),而 Na^+ 交换量与 PON 含量显著负相关($P < 0.05$)。

增加 135%,全氮增加 55%。可见减少土壤扰动有利于增加土壤有机质积累,且在一定时间周期内不断增加。本研究中蔬菜地轮作为草地 5 年,土壤总有机氮含量逐渐增加,第 5 年比建植初期增长了 20.6%。邢云飞等^[22]对建植 5、12、19 年的人工草地土壤有机碳

氮特征研究表明,人工草地土壤全氮含量与建植年限成反比。杨菁^[23]对不同种植年限苜蓿草地的研究表明,种植4年土壤氮含量提高16%,且高于第5和第8年。说明多年生牧草通过积累土壤有机质,有效增加了土壤氮库容量,且对前期蔬菜地土壤有机氮含量的恢复潜力较大,但超出一定草地生长年限后土壤氮含量又会下降,可能亦会表现出连作障碍。

土壤POM有利于团聚体的形成并维持其稳定性,POM的性质能显著影响水稳性团聚体的变化,POM的含量反映了土壤有机质活性的不同^[24]。Tieszen和Stewart^[13]对北美草地土壤有机质的研究表明,4年耕作大量消耗土壤POM,由于土壤物理结构的变化导致较多有机质分布在更细小的颗粒组分中,进而引起土壤养分有效性的变化。苏永中^[25]对黑河中游边缘绿洲农田退耕种植苜蓿5年后的土壤氮含量变化研究表明,退耕后PON比总土壤有机氮变化更显著。本试验中草地轮作5年土壤PON增加了60%,PON含量增幅是土壤总有机氮增幅的近3倍。可见,土壤PON比总有机氮的积累速度更快,对草地轮作更加敏感,PON含量的大幅增加提高了土壤有机氮循环强度和有效性。季节显著影响轮作草地土壤n-PON含量变化,推测季节间水热配比状况的差异可能影响土壤有机氮稳定性。

轮作草地土壤各组分有机氮与土壤基本理化性质间存在显著的相关性,张瑞红等^[26]对鄂尔多斯高原灌草群落土壤理化性质变化的研究表明,本氏针茅向油蒿群落过渡过程中,土壤质地发生显著变化,表层土壤含水量下降,土壤容重增大,土壤全氮总体呈下降趋势。Franzluebbers^[27]在美国东南部对作物-家畜系统的研究也表明,被侵蚀的农田种植多年生牧草后土壤有机质、营养循环、生物和物理状况显著提升。土壤理化性质的变化导致土壤微环境改变,引起土壤生态功能变动,土壤养分亦随之发生变化。

4 结论

草地轮作促进土壤有机质积累,随着草地轮作年限的增加,土壤总有机氮含量逐渐增加,后期增幅较大。草地土壤有机氮主要以小于53 μm的n-PON形态存在,不同季节间土壤n-PON含量有差异。PON敏感指示轮作草地土壤有机氮库变化动态。草地土壤各组分有机氮含量与土壤基本理化性质变化紧密相

关,草地轮作提高了土壤有机氮循环强度和有效性,蔬菜-牧草轮作是有效提高土壤氮素供应、改善土壤基本性状、恢复土壤肥力的可持续农牧业生产方式。

致谢:本研究得到美国肯塔基大学Rebecca L. McCulley教授的帮助。

参考文献:

- [1] Ju X T, Xing G X, Chen X P, *et al.* Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(9): 3041–3046.
- [2] Chen X P, Cui Z L, Fan M S, *et al.* Producing more grain with lower environmental costs[J]. *Nature*, 2014, 514(7523): 486–489.
- [3] 李辉, 高强, 张晋京. 土壤中有有机氮形态及测定方法的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(21): 24–28.
- [4] Baldock J A, Nelson P N. *Soil organic matter*[M]. Boca Raton USA: CRC Press, 2000: 25–84.
- [5] 王洋, 闫颖, 刘宁, 等. 土壤碳水化合物、氨基酸、木质素特性及其颗粒稳定性研究进展[J]. *土壤通报*, 2014, 45(2): 493–499.
- [6] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(3): 777–783.
- [7] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 等. 土壤颗粒有机质研究进展[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2009, 4(4): 43–52.
- [8] Luce M S, Whalen J K, Ziadi N, *et al.* Labile organic nitrogen transformations in clay and sandy-loam soils amended with ¹⁵N-labelled faba bean and wheat residues[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 31(68): 208–218.
- [9] Wander M M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function[M]. *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2004: 67–102.
- [10] Marriott E E, Wander M. Qualitative and quantitative differences in particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(7): 1527–1536.
- [11] Murphy D V, Cookson W R, Braimbridge M, *et al.* Relationships between soil organic matter and the soil microbial biomass (size, functional diversity, and community structure) in crop and pasture systems in a semi-arid environment[J]. *Soil Research*, 2011, 49(7): 582–594.
- [12] 任继周, 林慧龙. 农区种草是改进农业系统保证粮食安全

- 全的重大步骤[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 1-9.
- [13] Tiessen H, Stewart J W B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter: II. Cultivation effects on organic matter composition in size fraction[J]. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47: 509-514.
- [14] Studdert G A, Echeverria H E, Casanovas E M. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(5): 1466-1472.
- [15] 卜容燕, 任涛, 廖世鹏, 等. 不同轮作和氮肥分配季节下土壤氮素供应和油菜氮素吸收差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(3): 412-420.
- [16] 李小涵, 王朝辉, 郝明德, 等. 黄土高原旱地种植体系对土壤水分及有机氮和矿质氮的响应[J]. 中国农业科学, 2008, 41(9): 2686-2692.
- [17] National Oceanic and Atmospheric Administration online weather data[Z]. Retrieved November 27, 2015.
- [18] United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service. A product of the national cooperative soil survey, custom soil resource report for Scott County, Elmwood Stock Farm, Kentucky [R]. 2014.
- [19] Paul E A, Morris S J, Bohm S. The determination of soil C pool sizes and turnover rates: biophysical fractionation and tracers[M]// Assessment Methods for Soil Carbon. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2001: 193-206.
- [20] Iqbal J, Siegrist J A, Nelson J A, et al. Fungal endophyte infection increases carbon sequestration potential of southeastern USA tall fescue stands[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 44(1): 81-92.
- [21] 肖剑英, 张磊, 谢德体, 等. 长期免耕稻田的土壤微生物与肥力关系研究[J]. 西南农业大学学报, 2002, 24(1): 82-85.
- [22] 邢云飞, 王晓丽, 刘永琦, 等. 不同建植年限人工草地植物群落和土壤有机碳氮特征[J]. 草地学报, 2020, 28(2): 521-528.
- [23] 杨菁. 不同种植年限人工苜蓿草地土壤氮储量及氧化亚氮排放通量研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.
- [24] 李维福, 解宏图, 何红波, 等. 颗粒有机质的来源、测定及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1849-1856.
- [25] 苏永中. 黑河中游边缘绿洲农田退耕还草的土壤碳、氮固存效应[J]. 环境科学, 2006, 27(7): 1312-1318.
- [26] 张瑞红, 蔡文涛, 来利明, 等. 鄂尔多斯高原灌草群落土壤理化性质变化[J]. 草业科学, 2018, 35(6): 1352-1360.
- [27] Franzluebbers A J. Integrated crop-livestock systems in the southeastern USA[J]. Agronomy Journal, 2007, 99(2): 361-372.

Effects of pasture rotational year and season on content of soil organic nitrogen fractions

LIN Dong, ZHANG De-gang

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Education Ministry/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to reveal the dynamic characteristics of different size fractions of soil organic matter and nitrogen under rotational pasture. This study quantified temporal changes in different soil organic matter fractions, particulate organic nitrogen (PON) and non-particulate organic nitrogen (n-PON) concentrations during a five-year pasture rotation following vegetable production. The results showed that soil organic matter and total organic nitrogen increased 18% and 20.6%, respectively. The content of total organic nitrogen in fifth rotation year significantly higher than in first and third rotation year, but lower than in permanent pasture. Proportion of

PON increased and n-PON reduced in soil total organic nitrogen with increasing pasture rotational year. The proportion of n-PON in winter lower than in spring, summer and fall. Over 5 years pasture rotation, soil PON and n-PON increased 60% and 16.5%, respectively, and became similar to the content of permanent pasture. The content of soil n-PON in spring significantly higher than in winter, but season did not significantly affect total organic nitrogen and PON. The PON sensitively indicate the change of soil organic nitrogen content. Pasture rotation promoted soil organic nitrogen cycling and availability. Soil total organic nitrogen, PON and n-PON showed significantly negative correlation with soil bulk density, but significantly positive correlation with available P, K, Ca, Mg and cation exchange capacity. Overall, different soil organic nitrogen fractions significantly changed and soil nutrient status was improved after 5 years pasture rotation.

Key words: soil organic matter; particulate organic nitrogen; rotational pasture; seasonal dynamics

中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊 收录证书

草原与草坪

依据文献计量学的理论和方法,通过定量与定性相结合的综合评审,贵刊被收录为中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊,特颁发此证书。

证书编号: CSCD2019-0262

有效期: 2019年-2020年

发证日期: 2019年5月

查询网址: www.sciencechina.cn

