

新疆盐渍化土壤氮素矿化和硝化作用特征

徐万里,刘 骅,张云舒

(新疆农业科学院 土壤肥料研究所,新疆 乌鲁木齐 830091)

[摘要] 为了探明新疆盐渍化土壤特性与土壤氮素矿化和硝化的关系,通过室内培养方法,研究了不同盐渍化类型和程度的新疆盐渍化土壤氮素的矿化和硝化特征。结果表明,盐渍化类型对土壤氮素矿化有重要影响。在培养过程中,碱化土壤矿质氮含量明显低于盐化土壤;在碱化土壤中,随着碱化度和 pH 值的升高,矿化量迅速降低;在盐化土壤中,盐化程度的增加对于土壤矿化特征影响不大,但是随着盐化程度的增加矿化率明显增加。在盐渍化土壤中,碱化土壤的氮素硝化作用较盐化土壤快;无论是碱化土壤还是盐化土壤,随着盐渍化程度的增加,氮肥硝化作用都受到不同程度的抑制;在碱化土壤中,氮素硝化率与 pH、总盐含量、碱化度均呈极显著负相关,而在盐化土壤中,氮素硝化率与总盐含量呈极显著负相关。

[关键词] 新疆;盐渍化土壤;氮素;矿化作用;硝化作用

[中图分类号] S153

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)11-0141-05

Characteristics of nitrogen mineralization and nitrification in salinized soils of Xinjiang

XU Wan-li, LIU Hua, ZHANG Yun-shu

(Institute of Soil and Fertilizer, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

Abstract: Characteristics of nitrogen (N) mineralization and nitrification of different salinization types and degrees in Xinjiang soils were studied by using laboratory incubation in order to investigate the relationships between properties of salinized soil and nitrogen mineralization and nitrification in salinized soils. The results showed that salinization type affected nitrogen mineralization in soils. The amount of mineralized N in the alkali soils was significantly lower than that in the saline soils. In the alkali soil, the amount of N mineralized rapidly decreased with the increasing of alkalinity and pH. In saline soil, the increase of salinity had a minimal influence on N mineralization. Mineralization rate of N increased with the increase in soil salinity. Regardless of alkali or saline soil, nitrification was inhibited to certain degrees with the increasing of salinization degree. In alkali soil, nitrification rate was negatively related to pH, total salt content and alkalinity, whereas in saline soil, nitrification rate was negatively related to total salt content.

Key words: Xinjiang; alkali soils; nitrogen; mineralization; nitrification

盐渍土是干旱半干旱地区一种重要的土壤资源和特殊的生态系统。耕地面积的持续减少使盐渍土的开发利用日益受到人们的重视。过量盐分会严重影响土壤的物理、化学和生物学特征,从而影响土壤

中的养分循环,特别是氮素的供应和转化^[1-3]。土壤氮素矿化作用是农田生态系统中作物氮素养分供给的主要途径,即使在大量施用氮肥的情况下,作物在生育期内所积累的氮素约有 50% 来自土壤,在某些

1 收稿日期] 2006-10-11

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40361005);新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(200321112)

[作者简介] 徐万里(1971-),男,陕西凤翔人,副研究员,主要从事绿洲农田氮素行为研究。E-mail: wlxu2005@163.com

土壤中甚至可以达到 70% 以上^[4]。施入土壤的氮肥在硝化细菌作用下进行转化,使土壤中的氮素以不同的形态存在,影响作物的吸收利用和氮肥损失情况^[5]。因此,研究盐渍土特性与土壤氮素矿化和硝化作用的关系,对提高盐渍化土壤供氮能力和合理科学调配氮肥施用具有重要的现实意义。

新疆是我国盐渍土分布面积最大、类型最全、范围最广的省区,除绝大多数山地和沙漠区外,其他地区几乎均有盐渍化土地分布。据第二次土壤普查结果,新疆盐渍化耕地面积达 122.87 万 hm^2 ,占耕地总面积的 30.1%;同时,新疆又是我国最具土地开发前景的省区,64% 的可垦荒地(净可垦荒地面积 733.33 万 hm^2)属盐渍化荒地^[6]。新疆经济、水资源条件的限制,耐盐作物品种的培育以及盐渍化荒地的大量开垦,使大面积盐渍化耕地的长期存在成为新疆农业生产的现实。目前,有关盐渍化土壤矿化和硝化特征的系统研究报道较少^[7-11],对于盐渍

化土壤主要特性,如 pH、总盐和碱化度等对氮素矿化和硝化作用的关系也不明确^[2,7-10];应用典型土壤样品,系统研究盐渍化类型和程度对土壤氮素矿化和硝化作用的影响较少。本试验以新疆两种主要盐渍化类型土壤,8 个典型土壤样品为对象,研究了盐渍化类型和程度对土壤氮素矿化和硝化特征的影响,以期为提高盐渍化土壤的供氮能力,保护农田生态环境和更加合理地利用盐渍土资源提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试盐化土壤采自新疆维吾尔自治区玛纳斯县头官乡草滩村,碱化土壤采自新疆农业科学院玛纳斯试验站。两个系列土壤分别采自同一农田的不同部分,采样深度 0~30 cm。土壤主要性状见表 1。

表 1 供试土样的主要化学特性(0~30 cm)

Table 1 Chemical properties of the tested soils (0-30 cm)

土壤类型 Soil type	编号 No.	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) O. M.	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Total N	pH (H_2O)	总盐含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Total salt	碱化度/ ESP	CEC/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	CaCO_3 / ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	盐渍化程度评价 ^[12] Value of salinization degree
碱化土壤 Alkali soil	1	19.59	1.67	8.78	0.73	4.02	18.90	104.3	非碱化土壤 Non-alkali soil
	2	17.00	1.42	9.08	1.13	10.60	16.04	103.7	轻度碱化土壤 Sild alkali soil
	3	17.33	1.41	9.70	3.70	35.05	18.66	102.8	中度碱化土壤 Moderate alkali soil
	4	12.44	0.51	9.91	9.28	64.68	15.40	103.8	碱土 Solonetz
盐化土壤 Saline soil	5	18.17	1.15	8.43	2.11	-	34.14	114.6	非盐化土壤 Non-saline soil
	6	9.98	0.58	7.63	6.39	-	21.42	113.8	轻度盐化土壤 Sild saline soil
	7	6.79	0.41	8.01	10.83	-	18.35	124.6	中度盐化土壤 Moderate saline soil
	8	6.19	0.37	8.65	18.41	-	17.47	119.1	重度盐化土壤 Severe saline soil

1.2 土壤矿化量和硝化率的测定^[5]

1.2.1 矿化试验 称取过 1 mm 孔筛的风干土样 10.0 g 于 125 mL 广口瓶中,按 65% 田间持水量加蒸馏水后,盖上瓶塞以保持土壤水分,置于(28 ± 1)

培养箱中培养。零点测定:加水后立即取出各处理 3 份,测定土壤初始铵态氮和硝态氮含量。其他各处理于培养后第 7,14,21 和 28 d 取出每处理的 3 个重复,测定 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量。3 或 4 d 称量 1 次,补充失去的水分,通气 0.5 h。

1.2.2 硝化试验 称取过 1 mm 孔筛的风干土样 10.0 g 于 125 mL 广口瓶中,按 65% 田间持水量加入尿素溶液(200 mg/kg N)后,盖上瓶塞以保持土壤水分,置于(28 ± 1) 培养箱中培养。零点测定:

加水后立即取出各处理 3 份,测定土壤初始铵态氮和硝态氮含量。其他各处理于培养后第 3,7,14 和 28 d 取出每处理的 3 个重复,测定 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量。其余操作同矿化试验。

1.2.3 测定方法 土样按 $m(\text{土样})/V(1 \text{ mol/L 氯化钾溶液}) = 1/5$ 加入后振荡 1 h,取滤液,用 AA3 型流动注射分析仪测定土壤 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 含量。

1.2.4 结果计算 土壤矿质氮含量/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = 铵态氮含量 + 硝态氮含量;土壤氮素矿化率/% = (土壤矿质氮含量/土壤全氮含量) × 100%;氮素硝化率/% = (土壤施肥培养后 NO_3^- -N 含量/施肥培养后矿质氮含量) × 100%。

2 结果与分析

2.1 不同类型盐渍化土壤氮素矿化特征比较

在农田生态系统中,土壤有机质的矿化与土壤供氮能力密切相关,是作物吸收氮素的主要来源。土壤氮素的矿化作用与土壤类型、有机氮含量、土壤生物特性、农田水热条件等密切相关^[13]。盐渍土特性与盐渍化类型关系密切。碱化土壤一般含盐量较低,pH 值较高,所以 pH 值、碱化度是其最主要的盐渍化特性。盐化土壤的 pH 值一般不会超过 8.5,但含盐量变化较大,所以盐化土壤最主要的盐渍化特性是含盐量。

由图 1 和图 2 可以看出,不同盐渍化类型土壤矿质氮含量明显不同。碱化土壤的初始矿质氮含量为 7.47~14.3 mg/kg,远低于盐化土壤初始矿质氮含量(25.2~42.5 mg/kg);在 28 d 的培养过程中,盐化土壤矿质氮含量始终保持在较高水平(40.1~48.6 mg/kg),而碱化土壤的矿质氮含量除 1 号非碱化土壤随培养时间延长明显增加外,其他

类型碱化土壤一直保持在较低的水平(7.4~13.9 mg/kg)。总体上看,碱化土壤的矿质氮含量明显低于盐化土壤。

从图 1 和图 2 还可以看出,盐渍化程度对土壤氮素矿化特征有明显不同影响。在碱化土壤中,除 1 号非碱化土壤外,随着培养时间的延长和碱化度的升高,土壤矿质氮含量无明显增加。1 号土样碱化度为 4.02%,属非碱化土壤,随着培养时间的延长,其矿质氮含量逐步升高;与 1 号土样相比,2,3 和 4 号土样初始矿质氮含量较高,但是随着培养时间的延长,其矿质氮含量均有不同程度降低,特别是碱化度较高的 3 和 4 号土样。盐化土壤矿质氮含量均随着培养时间的延长而增加;但是,氮素矿化进程与典型土壤样品盐渍化程度无明显相关性。如在培养的第 14 天,5~8 号土样的盐渍化程度增加,但土壤矿质氮含量分别为 42.5,38.9,44.3,39.7 mg/kg,即在本试验土壤含盐量范围内,盐分对土壤氮素矿化特征影响不大,这可能与土壤全氮含量有关。

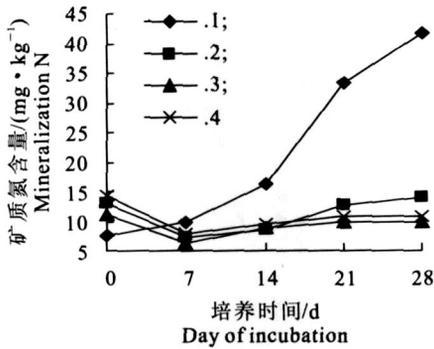


图 1 碱化土壤氮素的矿化进程

Fig. 1 Mineralization process of alkali soil nitrogen

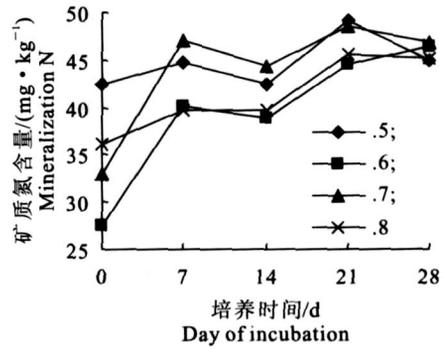


图 2 盐化土壤氮素的矿化进程

Fig. 2 Mineralization process of saline soil nitrogen

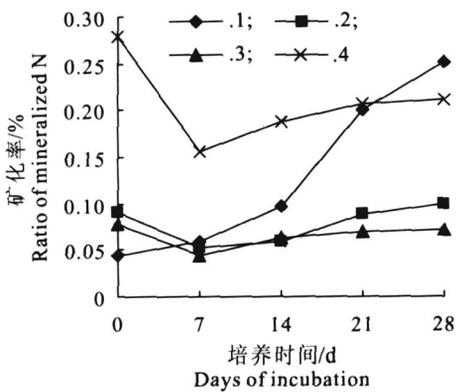


图 3 碱化土壤氮素矿化率的比较

Fig. 3 Ratio of mineralized N in alkali soil

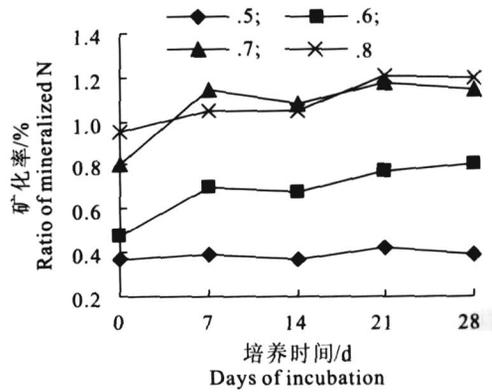


图 4 盐化土壤氮素矿化率的比较

Fig. 4 Ratio of mineralized N in saline soil

从图 3 和图 4 可以看出,不同盐渍化类型和程度土壤的氮素矿化率明显不同。在碱化土壤中,培养后期(21, 28 d), 1, 2 和 3 号土样土壤氮素矿化率均表现为随 pH 值和碱化度的上升而降低, 4 号土样土壤氮素矿化率在培养初期明显降低, 培养后期缓慢增加。在盐化土壤中, 盐渍化程度与土壤氮素矿化率的关系十分明显, 随着盐渍化程度的增加, 土壤氮素矿化率明显增加。

从图 3 和图 4 还可以看出, 盐化土壤氮素矿化率远高于碱化土壤。虽然碱化土壤的全氮含量除 4 号碱土较低外, 其余碱化土壤全氮含量都高于盐化土壤, 但培养过程中碱化土壤矿质氮含量和氮素矿化率都远低于盐化土壤。

由上述结果可知, 碱化土壤中 pH 值和碱化度的增加抑制了土壤氮素的矿化, 盐化土壤中盐分的增加对土壤氮素矿化特征影响不明显。

2.2 不同类型盐渍化土壤硝化特征的比较

硝化作用是铵态氮在硝化细菌的作用下转化为硝酸或亚硝酸的过程。硝化作用是土壤氮素转化最重要的过程之一, 硝化作用的快慢影响施入土壤氮肥存在形态, 从而影响氮肥的利用率和生态环境安

全。

由图 5 和图 6 可知, 不同盐渍化类型对硝化作用影响程度不同。1 号和 2 号碱化土样在培养第 3 天, 其氮素硝化率达到 95% 以上, 而 5 号和 6 号盐化土样在培养到第 7 天时其氮素硝化率达到 95% 以上。即在盐渍化耕作土壤中, 碱化土壤的氮素硝化作用较盐化土壤快。这可能与 pH 对硝化作用的影响有关。

由图 5 和图 6 还可以看出, 不同盐渍化程度对硝化作用影响不同。无论是碱化土壤还是盐化土壤, 随着盐渍化程度的增加, 其氮素硝化率均有不同程度的降低, 硝化进程减慢, 其中 8 号重度盐化土样硝化进程受到严重抑制。碱化土壤中, 在 28 d 培养时间内, 1~4 号土样的平均氮素硝化率分别为 80.35%, 78.67%, 71.87%, 49.69%; 硝化进程也明显不同, 其中 1 号和 2 号土样在培养第 3 天, 其氮素硝化率均达到 95% 以上, 可以认为加入的氮肥已完全硝化; 在培养的第 7 天和第 28 天, 3 号和 4 号土样的氮素硝化率均达到 95% 以上。盐化土壤也有类似结果。这可能是由于盐渍化程度的增加抑制了硝化细菌的活性。

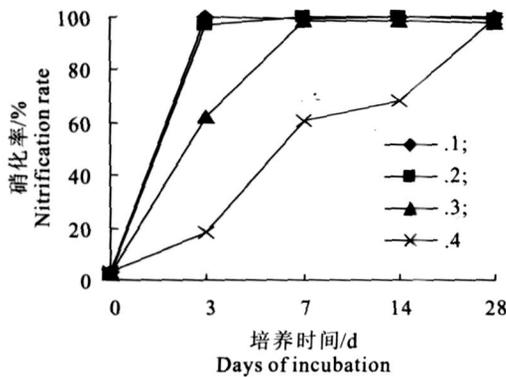


图 5 碱化土壤氮素硝化率的比较

Fig. 5 Nitrification rate of fertilizer nitrogen of alkali soil

研究表明, 培养 3 d 时, 碱化土壤氮素硝化率与 pH、总盐含量和碱化度均呈极显著负相关, 相关系数分别为 -0.864^{**} , -0.983^{**} 和 -0.994^{**} ; 盐化土壤氮素硝化率与 pH 和总盐含量的相关系数分别为 -0.057 和 -0.836^{**} 。这说明在碱化土壤中, pH 值在 8.78~9.91, 随着 pH 升高、含盐量和碱化度的增加, 硝化微生物活性受到抑制, 导致氮素硝化率下降; 在盐化土壤中, pH 值在 8.01~8.65, 影响硝化微生物活性的主要因素是土壤含盐量, 随着土壤含盐量的升高, 硝化微生物活性受到抑制, 氮素硝

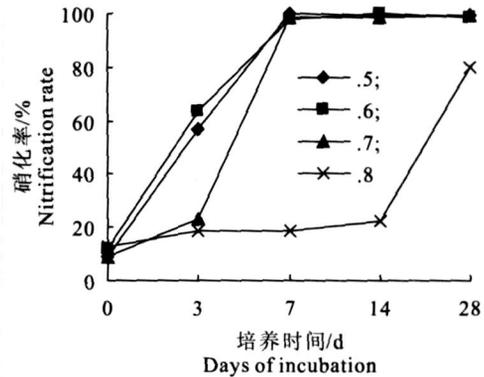


图 6 盐化土壤氮素硝化率的比较

Fig. 6 Nitrification rate of fertilizer nitrogen of saline soil

3 结论与讨论

对盐渍土中氮素矿化作用的研究长期以来存在很大争议。有报道认为, 在土壤含盐量低的情况下矿化作用受到刺激上升, 在盐分含量高的情况下, 矿化作用受到抑制^[2,7]。但 Laura^[8-9,14]认为, 在盐渍土中, 氮素矿化不是一个生物过程, 而是一个物理化学过程。然而, Pathak 等^[10]重复 Laura 的试验得出相反的结论, 即随着盐渍化程度的升高, 氮素矿化作用

降低,说明其矿化过程还是受生物驱动。pH 值对氮素矿化作用影响的研究尚未见报道。本研究结果表明,在碱化土壤中,pH 值和碱化度的上升强烈抑制土壤氮素矿化,即使是在 pH 值为 9.08 的轻度碱化土壤中,氮素的矿化作用也受到抑制,这与 Laura 在碱化土壤中的结论完全相反^[9],与 Pathak 等^[10]在碱化土壤中的结论类似。在盐化土壤中,土壤含盐量的上升对氮素矿化特性影响不大,这可能与本试验供试土壤含盐范围较小有关;但随着盐渍化程度的升高,氮素矿化率随之上升,这与 Pathak 等^[10]的结论类似。两种类型盐渍化土壤中氮素矿化特征的不同,可能与盐渍化特性对氮素矿化作用相关微生物的不同有关;pH 值升高对盐渍土氮素矿化有抑制作用,而盐分的升高对盐渍土氮素矿化影响作用不明显。

值得注意的是,在本研究中,虽然供试样品均取自同一块土地,保证碳酸钙等土壤特性的一致,但是由于盐渍化特性的不同,土壤有机质和全氮积累及含量还是有明显差别,如何去除土壤矿化底物即全氮对于盐渍土矿化特征的分析,需要进一步深入研究。若采用通过非盐渍化土壤人为加盐试验和典型土壤样品验证的研究方法,同时监测土壤生物变化,考虑土壤全氮基数的影响,才可能说明盐渍土中氮素矿化的本质。

大量研究表明,土壤含盐量和 pH 是影响硝化作用的重要因素。硝化作用对盐分含量很敏感,随着土壤含盐量的增加,硝化作用受到抑制^[2,9,13]。过低或过高的 pH 均抑制硝化作用的进程^[5,13,15-16]。总盐含量、pH 值和碱化度是盐渍土最主要的盐渍化特征,在盐渍化土壤硝化作用中,那个因素占主导地位还有待进一步研究。

综合以上分析和本研究结果表明,在碱化土壤中,随着土壤盐渍化特性即 pH 值和碱化度的上升,土壤的矿化作用和硝化作用都受到一定程度的影响,但是对矿化作用的影响更大;在盐化土壤中,盐渍化特性即土壤含盐量增加对矿化作用的影响不大,对硝化作用影响明显。总体分析认为,碱化土壤的供氮能力远低于盐化土壤,碱化土壤的硝化作用

快于盐化土壤。在利用不同类型的盐渍化土壤时,要结合土壤矿化和硝化特征采取不同的改良措施和施肥方法。

[参考文献]

- [1] Mcclung G, Frankenberger W T. Soil nitrogen transformations as affected by salinity[J]. *Soil Science*, 1985, 139(5): 405-411.
- [2] Westerman R L, Tucker T C. Effect of salts and salts plus nitrogen-15-labeled ammonium chloride on of soil nitrogen, nitrification, and immobilization[J]. *Soil Sci Soc Amer Proc*, 1974, 38: 602-605.
- [3] Praveer Kumar, Aggarwal R K. Interdependence of ammonia volatilization and nitrification in arid soils[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, 51: 201-207.
- [4] 熊毅,李庆奎. 中国土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 464-482.
- [5] 范晓辉,林德喜,沈敏,等. 长期试验地潮土的矿化与硝化作用特征[J]. *土壤学报*, 2005(2): 340-343.
- [6] 崔文采. 新疆土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 497-530.
- [7] Mcclung G, Frankenberger W T J. Nitrogen mineralization rates in saline vs saltamended soils[J]. *Plant and Soil*, 1987, 104: 13-21.
- [8] Laura R D. Effects of neutral salts on carbon and nitrogen mineralization of organic matter in soil[J]. *Plant and Soil*, 1974, 41: 113-127.
- [9] Laura R D. Effects of alkali salts on carbon and nitrogen mineralization of organic matter in soil[J]. *Plant and Soil*, 1976, 44: 587-596.
- [10] Pathak H, Rao D L N. Carbon and nitrogen mineralization form added organic matter in saline and alkali soil[J]. *Soil Biochem*, 1998, 30(6): 695-702.
- [11] 王龙昌,王井理. 水分和盐分对土壤微生物的影响[J]. *盐碱地利用*, 1998(3): 40-43.
- [12] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 333-343.
- [13] 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 37-59.
- [14] Laura R D. The role of protolytic action of water in the chemical decomposition of organic matter in soil[J]. *Pedologie*, 1975, 25: 159-170.
- [15] 潘映华,李良谟,伍期途. 不同利用方式下红壤的硝化和反硝化活性研究[J]. *土壤*, 1988, 20(4): 184-187.
- [16] 李辉信,胡峰,刘满强,等. 红壤氮素的矿化和硝化作用特征[J]. *土壤*, 2000, 32(4): 194-197.