

黄土区不同土壤类型及土地利用方式对土壤氮素矿化作用的影响

严德翼¹,周建斌^{1,2},邱桃玉³,杨 绒¹,马勤安⁴

(1 西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100;2 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 新疆农业职业技术学院,新疆 昌吉 831100;4 陕西永寿县土肥站,陕西 永寿 713400)

[摘 要] 采用室内培养试验研究了黄土区不同类型土壤(黑垆土、红油土和淋溶褐土)及土地利用方式(农田、林地)的氮素矿化特性。结果表明,3种土壤好气培养0~14,15~28和0~28 d的氮素矿化量、矿化速率与矿化率大小次序均为:淋溶褐土>红油土>黑垆土;林地黑垆土氮素矿化量和矿化速率极显著地高于农田黑垆土;淹水培养7 d,3种土壤矿化量、矿化速率和矿化率大小次序均为:红油土>淋溶褐土>黑垆土,但差异不显著;淹水培养条件下,林地黑垆土氮素矿化量、矿化速率和矿化率均高于农田黑垆土。不同土地利用方式对土壤氮素矿化作用的影响强于不同土壤类型的影响。

[关键词] 土壤氮素;矿化作用;土壤类型;土地利用方式

[中图分类号] S153.6⁺1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)10-0103-07

Effects of the different soil types and landuse on nitrogen mineralization on the Loess Plateau

YAN De-yi¹, ZHOU Jian-bin^{1,2}, QIU Tao-yu³, YANG Rong¹, MA Qin-an⁴

(1 College of Resource 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, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 Xinjiang Agricultural Vocational Technical College, Changji, Xinjiang 831100, China; 4 Yongshou Soil and Fertilizer Institute, Yongshou, Shaanxi 713400, China)

Abstract: The characteristics of the nitrogen mineralization of three typical soils including Isohumisols, Anthrosols and Argosols on Loess Plateau were evaluated by the aerobic and anaerobic incubation methods. The amount of mineralized nitrogen (AMN) and its mineralized rate per day of incubation (RPD) or mineralized ratio of the total soil nitrogen (RTS) of the three soils followed the order of Argosols > Anthrosols > Isohumisols, during the aerobic incubation of 0 - 14, 15 - 28 or 0 - 28 days. Under the same Isohumisols with different vegetations, the AMN and RPD of the forest soil were significantly higher than that of the arable soils. When the soils were incubated in anaerobic condition for 7 days, the AMN, RPD and RTS of the soils followed the order of Anthrosols > Argosols > Isohumisols, but the differences among the soil types were not significant. Under the same Isohumisols with different vegetations, the AMN, RPD and RTS of the forest soil were significantly higher than those of the arable soils. These results indicate that the veg-

[收稿日期] 2006-09-18

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40571087, 30370288, 30230230);黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-160);西北农林科技大学拔尖人才支持计划(2006)

[作者简介] 严德翼(1981-),男,陕西华阴人,在读硕士,主要从事植物营养与生态研究。E-mail: yandeyi1981@126.com

[通讯作者] 周建斌(1964-),男,陕西大荔人,教授,博士,主要从事植物营养与旱地水肥调控研究。

E-mail: jbzhou@public.xa.sn.cn

etation has stronger effect on soil nitrogen mineralization than soil types.

Key words: soil nitrogen; nitrogen mineralization; soil types; soil usages

土壤氮素是土壤肥力中最活跃的因素,也是农业生产中限制作物产量的主要因子^[1-2]。土壤氮主要以有机态形式存在,难以为植物直接吸收,只有通过土壤微生物的矿化作用转化为无机氮后才可被植物吸收。因此,土壤氮素的矿化作用是供给作物所需氮素和其他养分的重要过程^[3]。同时,矿化作用形成的矿质氮若不能被植物吸收,就会发生挥发、淋溶,引起生态环境问题。所以,了解不同土壤氮素的矿化作用,对农业生产及生态环境保护有重要意义。

生物培养法因具有合理的理论基础,而被用于土壤氮素矿化作用的评价。根据培养条件的不同,生物培养法可分为好气培养和淹水培养 2 类。有研究指出,可以采用短期好气培养法模拟土壤中生物对有机物的矿化过程,测定土壤氮素的矿化作用^[4]。由于好气培养法比其他测定方法更能准确地反映作物氮素的吸收状况,所以其被普遍认为是评价土壤供氮水平的理想方法。付会芳等^[5]研究认为,好气培养的氮素矿化过程较慢,而淹水培养的氮素矿化过程较迅速;好气培养既可以使易分解的有机氮素得到矿化,也可以使难分解的有机氮素得到矿化,但淹水培养似乎只能使易分解的有机氮素得到矿化,所以在旱地土壤上好气培养的效果优于淹水培养。

黄土区土壤干旱缺水、养分尤其是氮素含量低,严重影响该区的农业生产和生态环境建设。研究人员对该区土壤氮素的矿化作用已进行了一些研究工作^[6-9],但这些研究主要集中在农田土壤方面,而对林地生态系统土壤氮素矿化特性的研究相对较少。为此,本试验以黄土高原区 3 种典型土壤(黑垆土、红油土、淋溶褐土)作为研究对象,分析了不同土壤类型及土地利用方式对土壤氮素矿化作用的影响,以期为该区农业生产中氮肥的合理施用及以植被恢复为核心的生态环境建设提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

2005 年 9 月初在陕西省的永寿县、杨凌区和周至县等地采集 14 份土壤样品,其中 1~2 号为 0~20 cm 土层混合土壤样品,3~5 号为林地枯枝落叶层样品,6~14 号为 0~20 cm 土层混合土壤样品,各土壤基本性质见表 1。

研究区域气候概况为:永寿县年平均气温 10.8

℃,年降水量 609.8 mm。采样点位于该县西北部,土壤类型均为黑垆土(系统分类为普通钙积干润均腐土),农田为旱地,一年一熟;林地为刺槐林,造林时间在 30 年左右。林地土壤采样时分别采集枯枝落叶层(约 5 cm 厚)与 0~20 cm 土层土样。杨凌区地处渭河三级阶地,年均气温 12.9℃,年降水量 632 mm,土壤类型为土垫旱耕人为土(俗称红油土),轮作方式主要为小麦-玉米。周至县年均气温 13.2℃,降水量 674.3 mm,采样点位于该县秦岭北麓,土壤类型为淋溶褐土(系统分类为普通筒育干润淋溶土),轮作方式为小麦-玉米。

所有土壤样品采回后,取一部分新鲜土样过孔径 5 mm 筛,用于测定土壤可溶性氨基酸和可溶性有机氮(SON)含量。其余土壤风干后过筛,用于测定土壤有机质、全氮、速效磷和速效钾含量。

1.2 土样的矿化培养

1.2.1 风干土壤的预培养 分别取上述不同类型的土壤样品 200 g 于三角瓶中,农田土壤按田间持水量的 60%加蒸馏水,林地土壤按田间持水量的 70%加蒸馏水,在 25℃恒温培养箱中预培养 3 d。

1.2.2 好气培养 参考 Schineer^[10]的方法,分别称取 10 g 预培养的土壤 3 份于三角瓶中,逐滴加入 3 mL 蒸馏水,然后用塑料薄膜封口,并用橡皮筋扎紧,在封口上扎几个小孔便于通气。将样品放入 25℃恒温培养箱中培养,分别在培养的 0, 14, 28 d 取出,加入 50 mL 1 mol/L 的 KCL 溶液,振荡 30 min,过滤,在流动分析仪上测定铵态氮(NH_4^+-N)、硝态氮(NO_3^--N)含量。根据培养前、后土壤无机氮含量计算土壤氮素矿化量,并计算土壤氮素净矿化速率和矿化率。土壤氮素净矿化速率=(培养后的无机氮量-培养前的无机氮量)/培养天数,矿化率=(培养后的无机氮量-培养前的无机氮量)/土壤全氮量 $\times 100\%$ ^[10]。

1.2.3 淹水培养 参考 Schineer^[10]的方法,分别称取 10 g 预培养的土壤 4 份于三角瓶中,分别加入 30 mL 蒸馏水,用塑料薄膜封口,并用橡皮筋扎紧。将其中的 3 份土壤在 40℃恒温培养箱中培养 7 d,另一保存于-20℃下作为空白对照。培养结束,向瓶中加入 30 mL 1 mol/L KCL 溶液,振荡 30 min,过滤,在流动分析仪上测定 NH_4^+-N 含量。根据 40℃培养后土壤 NH_4^+-N 量和 -20℃下保存对照土

壤 NH_4^+-N 含量的变化,计算土壤氮素的净矿化量,并计算土壤氮素净矿化速率和矿化率^[11-14]。

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of the soil samples

土样编号 Soil no.	采样点 Location	土壤类型 Soil type	土地利用 方式 Landuse	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) OM	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) TN	有效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available P	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available K	pH	游离氨基酸/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) FAA	可溶性 有机氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) SON
1	永寿 Yongshou	黑垆土 Isohumisols	农田 farmland	14.3	0.92	13.26	128.1	7.51	7.36	18.09
2	永寿 Yongshou	黑垆土 Isohumisols	农田 farmland	14.5	1.00	15.30	289.2	7.59	7.49	31.56
3	永寿 Yongshou	黑垆土 Isohumisols	林地有机层 Litter layer	114.6	5.62	12.51	483.5	6.50	25.47	83.54
4	永寿 Yongshou	黑垆土 Isohumisols	林地有机层 Litter layer	104.7	5.18	14.37	508.0	7.32	19.29	245.11
5	永寿 Yongshou	黑垆土 Isohumisols	林地有机层 Litter layer	129.2	6.40	14.99	541.5	7.40	10.95	245.35
6	永寿 Yongshou	黑垆土 Isohumisols	林地表层 forest top soil	26.6	1.55	6.00	132.0	6.32	7.23	32.64
7	永寿 Yongshou	黑垆土 Isohumisols	林地表层 forest top soil	27.8	1.68	4.82	132.3	7.73	6.82	21.80
8	永寿 Yongshou	黑垆土 Isohumisols	林地表层 forest top soil	23.3	1.44	5.81	127.9	7.68	7.90	38.64
9	杨凌 Yangling	红油土 Anthrosols	农田 farmland	13.5	0.96	9.97	152.2	7.60	7.99	48.66
10	杨凌 Yangling	红油土 Anthrosols	农田 farmland	15.3	1.08	14.68	135.4	7.71	-	-
11	杨凌 Yangling	红油土 Anthrosols	农田 farmland	16.1	1.14	31.44	152.4	7.74	8.28	31.89
12	周至 Zhouzhi	淋溶褐土 Argosols	农田 farmland	16.5	1.06	8.60	128.3	7.65	5.81	44.83
13	周至 Zhouzhi	淋溶褐土 Argosols	农田 farmland	13.4	1.01	15.99	123.6	7.64	5.25	30.58
14	周至 Zhouzhi	淋溶褐土 Argosols	农田 farmland	15.4	1.05	18.22	84.1	5.48	11.16	49.98

1.3 测定项目和方法

浸提液中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的含量采用流动分析仪测定;全氮、速效磷、速效钾和有机质等土壤养分用常规方法^[15]测定;可溶性全氮用过硫酸钾氧化法^[16]测定,可溶性有机氮含量(SON)=可溶性全氮含量-矿质氮含量;游离氨基酸用茚三酮比色法^[17-18]测定。

1.4 数据处理

数据采用 SAS 软件进行差异显著性分析,并对数据做线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同类型土壤的氮素矿化作用

2.1.1 好气培养条件下不同类型土壤氮素的矿化作用 从表 2 可以看出,黑垆土、红油土和淋溶褐土好气培养 0~14 d,其平均矿化氮量分别为 14.31、16.83 和 24.44 mg/kg ;培养 15~28 d 其土壤矿化氮量分别为:10.92、11.65 和 12.91 mg/kg ;培养 0~28 d,其土壤矿化氮量分别为 25.23、28.48 和

37.34 mg/kg ;每一阶段,土壤平均矿化氮量均为淋溶褐土>红油土>黑垆土;3 类土壤氮素平均矿化速率和矿化率的大小次序与矿化氮量基本相同。由黑垆土到淋溶褐土,土壤质地逐渐变粘,水热状况得到改善,因此淋溶褐土矿化氮量最高。方差分析结果表明,在 0~28 d 培养过程中,3 种不同类型土壤的平均矿化氮量、矿化速率和矿化率差异均未达显著水平,这可能与试验所采同一类型土壤性质差异较大有关,因为同一类型土壤若性质差异较大,则会掩盖不同土壤类型产生的矿化氮量之间的差异。

2.1.2 淹水培养条件下不同类型土壤氮素的矿化作用 由表 3 可知,淹水培养条件下不同类型土壤氮素矿化量为 -0.67~9.07 mg/kg ,差异较大。黑垆土、红油土和淋溶褐土的平均矿化氮量分别为:2.34、5.37 和 3.18 mg/kg ,平均矿化速率分别为 0.33、0.77 和 0.45 $\text{mg/(kg} \cdot \text{d)}$,平均矿化率分别为 0.25%、0.54%和 0.30%。由此可知,在淹水培养条件下,不同农田土壤矿化氮量、矿化速率和矿化率的大小均为红油土>淋溶褐土>黑垆土。

表 2 好气培养下 3 种土壤不同时期氮素矿化作用的比较

Table 2 Comparison of the N mineralization from the three farmland soils under aerobic incubation condition

土样编号 Soil no.	土壤类型 Soil type	0~14 d			15~28 d			0~28 d		
		矿化氮量/ (mg · kg ⁻¹) Minera- lized N	矿化速率/ (mg · kg ⁻¹ · d ⁻¹) Minera- lized N per day	矿化率/ % Ratio of minera- lized N to soil total N	矿化氮量/ (mg · kg ⁻¹) Minera- lized N	矿化速率/ (mg · kg ⁻¹ · d ⁻¹) Minera- lized N per day	矿化率/ % Ratio of minera- lized N to soil total N	矿化氮量/ (mg · kg ⁻¹) Minera- lized N	矿化速率/ (mg · kg ⁻¹ · d ⁻¹) Minera- lized N per day	矿化率/ % Ratio of mineralized N to soil total N
1	黑垆土 Isohumisols	13.06 (0.32)	0.93 (0.02)	1.41 (0.03)	7.67 (0.62)	0.55 (0.04)	0.83 (0.07)	20.73 (0.96)	0.74 (0.10)	2.24 (0.10)
2	黑垆土 Isohumisols	15.56 (1.31)	1.11 (0.09)	1.55 (0.13)	14.18 (1.10)	1.01 (0.08)	1.42 (0.11)	29.74 (2.84)	1.06 (0.19)	2.97 (0.28)
	平均 Mean	14.31 a	1.02 a	1.48 a	10.92 a	0.78 a	1.12 a	25.23 a	0.90 a	2.61 a
9	红油土 Anthrosols	14.20 (1.26)	1.01 (0.09)	1.47 (0.13)	7.93 (1.28)	0.57 (0.09)	0.82 (0.13)	22.12 (0.66)	0.79 (0.02)	2.29 (0.07)
10	红油土 Anthrosols	15.74 (0.91)	1.12 (0.06)	1.46 (0.08)	10.45 (0.94)	0.75 (0.07)	0.97 (0.09)	26.19 (0.43)	0.94 (0.02)	2.43 (0.04)
11	红油土 Anthrosols	20.55 (1.51)	1.47 (0.11)	1.80 (0.13)	16.57 (1.06)	1.18 (0.08)	1.45 (0.09)	37.12 (0.45)	1.33 (0.02)	3.26 (0.04)
	平均 Mean	16.83 a	1.20 a	1.58 a	11.65 a	0.83 a	1.08 a	28.48 a	1.02 a	2.66 a
12	淋溶褐土 Argosols	37.61 (0.20)	2.69 (0.01)	3.54 (0.02)	14.98 (1.76)	1.07 (0.13)	1.41 (0.17)	52.59 (1.96)	1.88 (0.07)	4.95 (0.18)
13	淋溶褐土 Argosols	14.22 (0.54)	1.02 (0.04)	1.41 (0.05)	8.03 (0.06)	0.57 (0.15)	0.80 (0.21)	22.25 (2.17)	0.79 (0.08)	2.21 (0.21)
14	淋溶褐土 Argosols	21.47 (1.13)	1.53 (0.08)	2.04 (0.11)	15.71 (1.29)	1.12 (0.0)	1.49 (0.12)	37.19 (0.41)	1.33 (0.01)	3.52 (0.04)
	平均 Mean	24.44 a	1.74 a	2.33 a	12.91 a	0.92 a	1.23 a	37.34 a	1.33 a	3.56 a

注: 同列数据后标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 括号内为标准偏差。

Note: Different small letters indicate the significant difference ($P < 0.05$), and data in brackets is Std Dev.

表 3 淹水培养下不同类型农田土壤氮素矿化作用的比较

Table 3 Comparison of the N mineralization under anaerobic condition from three farmland soils

土样编号 Soil No.	土壤类型 Soil type	矿化氮量/ (mg · kg ⁻¹) Mineralized N	矿化速率/ (mg · kg ⁻¹ · d ⁻¹) Mineralized N per day	矿化率/ % Ratio of mineralized N to soil total N
1	黑垆土 Isohumisols	3.21	0.46	0.35
2	黑垆土 Isohumisols	1.48	0.21	0.15
	平均 Mean	2.34 a	0.33 a	0.25 a
9	红油土 Anthrosols	9.07	1.30	0.94
10	红油土 Anthrosols	- 0.67	- 0.10	- 0.06
11	红油土 Anthrosols	1.67	0.24	0.15
	平均 Mean	5.37 a	0.77 a	0.54 a
12	淋溶褐土 Argosols	3.54	0.51	0.33
13	淋溶褐土 Argosols	2.65	0.38	0.26
14	淋溶褐土 Argosols	3.35	0.48	0.32
	平均 Mean	3.18 a	0.45 a	0.30 a

注: 同列数据后标相同小写字母表示差异不显著 ($P < 0.05$)。

Note: Same small letters indicate no significant difference ($P < 0.05$).

2.2 农田和林地土壤氮素矿化作用的比较

2.2.1 好气培养条件下不同土地利用方式对黑垆土氮素矿化作用的影响 由表 4 可以看出, 培养 0~14, 15~28 和 0~28 d, 林地表层土壤平均氮素矿化量、矿化速率和矿化率均高于农田土壤; 林地表层土壤 0~14, 15~28 和 0~28 d 的平均氮素矿化量分

别是农田土壤的 2.3, 1.8 和 2 倍, 这与林地表层土壤有机质含量丰富、微生物活动旺盛有关。方差分析结果表明, 在 0~28 d 培养过程中, 林地表层和农田黑垆土矿化氮量和矿化速率间的差异均达极显著水平, 说明林地明显改善了土壤氮素供应能力; 土壤氮素矿化率差异不显著。

表 4 好气培养下不同土地利用方式对黑垆土氮素矿化作用的影响

Table 4 Comparison of the N mineralization under aerobic incubation method from the isohumisols under different plant vegetation

土样编号 Soil No.	土地利用方式 Landuse	0~14 d			15~28 d			0~28 d		
		矿化氮量/ (mg·kg ⁻¹)	矿化速率/ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	矿化率/ % Ratio of mineralized N to soil total N	矿化氮量/ (mg·kg ⁻¹)	矿化速率/ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	矿化率/ % Ratio of mineralized N to soil total N	矿化氮量/ (mg·kg ⁻¹)	矿化速率/ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	矿化率/ % Ratio of mineralized N to soil total N
		Mineralized N	Mineralized N per day	Mineralized N to soil total N	Mineralized N	Mineralized N per day	Mineralized N to soil total N	Mineralized N	Mineralized N per day	Mineralized N to soil total N
1	农田 Farmland	13.06 (0.32)	0.93 (0.02)	1.41 (0.03)	7.67 (0.62)	0.55 (0.04)	0.83 (0.07)	20.73 (0.96)	0.74 (0.10)	2.24 (0.10)
2	农田 Farmland	15.56 (1.31)	1.11 (0.09)	1.55 (0.13)	14.18 (1.10)	1.01 (0.08)	1.42 (0.11)	29.74 (2.84)	1.06 (0.19)	2.97 (0.28)
	平均 Mean	14.31 C	1.02 C	1.48 b	10.92 B	0.78 B	1.12 a	25.23 C	0.90 C	2.61 a
3	林地有机层 Organic layer	84.33 (0.56)	6.02 (0.62)	1.50 (0.15)	70.62 (0.61)	5.04 (0.48)	1.26 (0.12)	154.95 (2.16)	5.53 (0.08)	2.76 (0.04)
4	林地有机层 Organic layer	69.49 (0.60)	4.96 (0.17)	1.34 (0.04)	68.80 (1.01)	4.91 (0.38)	1.33 (0.10)	138.28 (0.42)	4.94 (0.10)	2.67 (0.06)
5	林地有机层 Organic layer	79.05 (5.50)	5.65 (0.39)	1.24 (0.09)	54.78 (3.93)	3.91 (0.28)	0.86 (0.06)	133.83 (3.32)	4.78 (0.33)	2.09 (0.14)
	平均 Mean	77.62 A	5.54 A	1.36 b	64.73 A	4.62 A	1.15 a	142.36 A	5.08 A	2.50 a
6	林地表层 Forest top layer	38.35 (0.89)	2.74 (0.06)	2.47 (0.06)	20.11 (2.11)	1.44 (0.15)	1.29 (0.14)	58.46 (2.73)	2.08 (0.10)	3.76 (0.18)
7	林地表层 Forest top layer	32.05 (2.23)	2.29 (0.16)	1.91 (0.13)	18.83 (1.75)	1.34 (0.13)	1.12 (0.10)	50.89 (0.39)	1.82 (0.14)	3.03 (0.23)
8	林地表层 Forest top layer	30.02 (0.13)	2.14 (0.01)	2.09 (0.01)	20.68 (1.88)	1.48 (0.13)	1.44 (0.13)	50.71 (1.76)	1.81 (0.06)	3.53 (0.12)
	平均 Mean	33.47 B	2.39 B	2.16 a	19.88 B	1.42 B	1.28 a	53.35 B	1.90 B	3.44 a

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母者表示差异极显著 ($P < 0.01$), 括号内为标准偏差。

Note: Different small letters indicate the significant difference ($P < 0.05$); different capital letters indicate greatly significant difference ($P < 0.01$), and data in brackets is Std Dev.

2.2.2 淹水培养条件下不同土地利用方式对黑垆土氮素矿化作用的影响 从表 5 可以看出,黑垆土农田土壤矿化氮量为 1.48~3.21 mg/kg,平均值为 2.34 mg/kg;黑垆土林地表层土壤的矿化氮量为 4.62~16.49 mg/kg,平均值为 11.16 mg/kg;黑垆土农田与林地表层平均氮素矿化速率分别为 0.33

和 1.59 mg/(kg·d),平均氮素矿化率分别为 0.25%和 0.73%;矿化氮量、矿化速率和矿化率的大小均为林地表层土壤>农田。方差分析结果表明,两种不同土地利用方式下,土壤的矿化氮量、矿化速率和矿化率差异不显著(表 5)。

表 5 淹水培养下不同土地利用方式对黑垆土氮素矿化作用的影响

Table 5 Comparison of the N mineralization under anaerobic condition from the isohumisols with different vegetation

土样编号 Soil No.	土壤类型 Soil type	土地利用方式 Landuse	矿化氮量/ (mg·kg ⁻¹) Mineralized N	矿化速率/ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹) Mineralized N per day	矿化率/ % Ratio of mineralized N to soil total N
1	黑垆土 Isohumisols	农田 Farmland	3.21	0.46	0.35
2	黑垆土 Isohumisols	农田 Farmland	1.48	0.21	0.15
	平均 Mean		2.34 a	0.33 a	0.25 a
6	黑垆土 Isohumisols	林地表层 Forest top soil	4.62	0.66	0.30
7	黑垆土 Isohumisols	林地表层 Forest top soil	12.36	1.77	0.74
8	黑垆土 Isohumisols	林地表层 Forest top soil	16.49	2.36	1.15
	平均 Mean		11.16 a	1.59 a	0.73 a

注:同列数据后标相同小写字母者表示差异不显著 ($P < 0.05$)。

Note: Same letters indicate no significant difference ($P < 0.05$).

2.3 不同培养方法农田土壤氮素矿化特性与其他肥力指标的相关性分析 对好气培养和淹水培养的氮素矿化作用进行比

较结果发现,黑垆土林地表层土壤矿化氮量、氮素矿化速率及矿化率均最高,说明土地利用方式对土壤氮素矿化作用的影响较土壤类型大。相关分析表

明,对于同种农田土壤,好气培养 0~14 和 0~28 d 矿化氮量与淹水培养的矿化氮量之间均呈极显著正相关关系,相关系数分别为 0.920 和 0.930,说明这 2 种方法在反映氮素矿化特性方面具有类似功效,

这与上述所得不同土壤矿化氮量大小次序的结论(好气培养条件下矿化氮量大小为:淋溶褐土>红油土>黑垆土,淹水条件下为:红油土>淋溶褐土>黑垆土)并不矛盾,与其他人的研究结果^[11-14]相一致。

表 6 好气和淹水培养下土壤矿化作用指标与肥力指标的相关系数

Table 6 Correlation coefficients between the amount of mineralized nitrogen,mineralized N per incubation day,and ratio of mineralized N to total N in soil and the fertility indices of the soils

培养方法 Incubation methods	氮素矿化指标 Indices of N Mineralization	全氮含量 TN	速效磷含量 Available P	速效钾含量 Available K	pH(H ₂ O)	有机质含量 OM	游离氨基酸 含量 FAA	可溶性有 机氮含量 SON
好气培养 28 d 28 days under aerobic condition	矿化氮量 Mineralized N	0.967 **	0.196	0.900 **	0.691 **	0.969 **	0.888 **	0.792 **
	矿化速率 Mineralized N per day	0.967 **	0.196	0.900 **	0.691 **	0.969 **	0.888 **	0.792 **
	矿化率 Ratio of mineralized N to soil total N	0.446	0.497	0.358	0.296	0.466	0.297	0.404
淹水培养 7 d 7 days under anaerobic condition	矿化氮量 Mineralized N	0.990 **	0.335	0.946 **	0.592 *	0.990 **	0.886 **	0.901 **
	矿化速率 Mineralized N per day	0.990 **	0.335	0.946 **	0.592 *	0.990 **	0.886 **	0.901 **
	矿化率 Ratio of mineralized N to soil total N	0.962 **	0.280	0.906 **	0.577 *	0.962 **	0.882 **	0.886 **

注: *表示呈显著相关关系; **表示呈极显著相关关系。

Note: * means significant relativity; ** means the most significant relativity.

由表 6 可知,好气培养 28 d,农田土壤矿化氮量和矿化速率与土壤全氮、速效钾、有机质、游离氨基酸、可溶性有机氮含量及 pH 之间均有极显著正相关关系。说明,土壤养分越丰富,矿化作用底物就越多,越有利于矿化作用的进行,这与贺发云等^[19]的研究结果一致。氮素矿化率与所有指标的相关性均未达显著水平,与金雪霞等^[20]的研究结论一致,其原因与土壤含氮量不同有关。

由表 6 还可知,淹水培养的矿化氮量、矿化速率和矿化率与土壤 pH 均呈显著正相关关系;与土壤全氮、速效钾、有机质、游离氨基酸、SON 含量均呈极显著正相关关系。这说明多施有机肥和平衡施用化肥,是培肥土壤、增加土壤中矿质氮含量的有效措施。

3 结 论

好气培养 0~14,15~28 和 0~28 d,3 种土壤的矿化氮量、矿化速率和矿化率大小均为:淋溶褐土>红油土>黑垆土;淹水培养 7 d,3 种土壤的矿化氮量、矿化速率和矿化率大小次序为:红油土>淋溶褐土>黑垆土。好气和淹水 2 种条件培养下,不同类型土壤矿化氮量、矿化速率和矿化率之间的差异均未达显著水平,说明有必要进一步扩大样本容量,

准确评价研究地区不同土壤类型氮素的矿化特性。

林地土壤在好气和淹水培养条件下,土壤矿化氮量、矿化速率和矿化率均高于农田土壤。好气培养条件下,林地与农田黑垆土的矿化氮量和矿化速率差异均达极显著水平,说明长期林地立地条件明显地改善了土壤氮素供应潜力。不同土地利用方式对土壤氮素矿化作用的影响大于不同土壤类型的影响。

好气培养和淹水培养 2 种方法测定的矿化氮量之间存在极显著正相关关系,说明 2 种方法在反映氮素矿化特性方面具有类似功效。

【参考文献】

[1] 叶优良,张福锁,李生秀.土壤供氮能力指标研究[J].土壤通报,2001,32(6):273-276.
[2] 张仁陡,李增凤,陶永红.河西灌漠土氮素矿化势的研究[J].甘肃农业大学学报,1993,28(3):261-264.
[3] 李辉信,胡 锋,刘满强.红壤氮素的矿化和硝化作用特征[J].土壤,2000,32(4):194-195.
[4] 吕珊兰,杨熙仁,张耀东,等.山西土壤氮矿化势与供氮量的预测[J].中国农业科学,1996,29(1):21-26.
[5] 付会芳,李生秀.土壤氮素矿化与土壤供氮能力[J].西北农业大学学报,1992,20(增刊):48-52.
[6] 胡田田,李生秀,郝乾坤.旱地土壤矿质氮和可矿化氮与土壤供氮能力的关系[J].水土保持学报,2000,2(4):83-103.
[7] 巨晓棠,李生秀.土壤可矿化氮对作物吸氮量的贡献[J].干旱

- 地区农业研究,1996,14(4):30-33.
- [8] 刘晓宏,郝明德,田梅霞.土壤矿质氮和可矿化氮对当季作物的贡献[J].土壤与环境,2001,10(3):207-209.
- [9] 付会芳,张兴昌.旱地土壤氮素矿化的动力学研究[J].干旱区资源与环境,1997,11(1):53-57.
- [10] Schinner, Kandeler, Margesin, et al. Methods in Soil Biology [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1995: 139-141.
- [11] Campbell C A. Soil organic carbon, nitrogen and fertility [M]// Schnitzer M, Han S U. Soil Organic Matter. Amsterdam: Elsevier, 1978: 174-271.
- [12] Keeney D R. Nitrogen availability indices [M]// Page A L, Miller R H, Keeney D R. Methods of Soil Analysis, part 2. 2th. Madison: Am Soc Agron & Soil Sci Soc Am, 1992: 711-733.
- [13] Loll M J, Bollag J M. Protein transformation in soil [J]. Adv Agron, 1983, 36: 351-381.
- [14] Waring S A, Bremner J M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as index of nitrogen availability [J]. Nature, 1964: 201: 951-952.
- [15] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:147-195.
- [16] 周建斌,李生秀.碱性过硫酸钾氧化法测定溶液中全氮含量氧化剂的选择[J].植物营养与肥料学报,1998,4(3):299-304.
- [17] Moore S, Stein W H. Photometric ninhydrin method for use in the chromatography of amino acids [J]. J Biol Chem, 1948, 176: 367-388.
- [18] Joergensen R G. Quantification of microbial biomass by determining ninhydrin-reactive N [J]. Soil Biol Biochem, 1996: 28: 301-306.
- [19] 贺发云,尹斌,蔡贵信,等.菜地和旱作粮地土壤氮素矿化和硝化作用的比较[J].土壤通报,2005,36(1):41-44.
- [20] 金雪霞,范晓晖,蔡贵信,等.菜地土壤氮素矿化和硝化作用的特征[J].土壤通报,2004,36(4):382-386.

(上接第 102 页)

- [8] 杨光,薛智德,梁一民.陕北黄土丘陵区植被建设中的空间配置及其主要建造技术[J].水土保持研究,2000,7(2):136-139.
- [9] 徐勇, Roy C S. 黄土丘陵区燕河流域土地利用变化与优化调控[J].地理学报,2001,56(6):657-666.
- [10] 董鸣.陆地生物群落调查观测与分析[M].北京:中国标准出版社,1996.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 徐香兰,张科利,徐宪立,等.黄土高原地区土壤有机碳估算及其分布规律分析[J].水土保持学报,2003,17(3):13-15.
- [13] 张成娥,王栓全,邓西平.燕河流域农田基础肥力分析与培肥途径[J].水土保持通报,1999,19(5):16-20.
- [14] 刘守赞,郭胜利,王小利,等.植被对高原沟壑区坡地土壤有机碳的影响[J].自然资源学报,2005,20(4):529-536.
- [15] 田均良,梁一民,刘普灵.黄土高原丘陵区中尺度生态农业建设探索:重塑黄土地系列丛书[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
- [16] 琚彤军,刘普灵,郑世清,等.燕儿沟流域泥沙监测初报[J].水土保持研究,2000,7(2):176-178.
- [17] 薛智德,杨光,梁一民,等.燕儿沟人工植被营造模式与快速建设研究[J].水土保持研究,2000,7(2):128-132.
- [18] 刘普灵,郑世清,琚彤军,等.黄土高原燕河流域生态环境建设模式及效益研究[J].水土保持研究,2005,12(5):88-91.