

In-situ 方法在研究退化土壤氮库时空变化中的应用

田 昆^{1,2}, 陈宝昆², 贝荣塔², 罗开华², 王有位², 杨永兴³

(1. 湖北农学院涝渍灾害与湿地农业重点实验室, 荆州 434025; 2. 西南林学院环境科学与工程系, 昆明 650224; 3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要: 利用原状土连续就地取样(sequential coring and *in-situ* exposure)方法研究了澜沧江流域典型退化土壤的氮库营养动态变化过程, 监测了矿质氮在时间和空间上的释放与固定、淋失与植物吸收消耗。结果表明人为干扰影响土壤氮矿质化, 导致氮固定、淋失, 引起养分衰减退化。从阔叶林转变为果园、坡耕地、桉树林和针叶林, 矿质氮 60d 内平均衰减分别为 51.51, 29.64, 26.84, 16.40 mg · kg⁻¹, 变异程度依次为 21.5%, 11.0%, 14.2%, 8.3%, 氮固定分别为 15.45, 8.51, 13.90, 0.00 mg · kg⁻¹, 淋失量则坡耕地最大, 达 44.50 mg · kg⁻¹, 其次是针叶林和桉树林地, 分别为 38.41 和 25.30 mg · kg⁻¹。植物对土壤氮的吸收消耗为果园>坡耕地作物>桉树林>针叶林>阔叶林, 利用形态以硝态氮为主。

关键词: 原状土; 就地培养; 氮库动态变化; 矿质化; 土壤退化

Application of *in-situ* technique to study N fluxes on degraded soils

TIAN Kun¹, CHEN Bao-Kun², BEI Rong-Ta², LUO Kai-Hua², WANG You-Wei², YANG Yong-Xing³ (1. *The Key Laboratory of Waterlogged Disaster and Wetland Agriculture, Hubei Agricultural College, Jingzhou 434025, China*; 2. *Department of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry College, Kunming 650224, China*; 3. *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1937~1943.

Abstract: Both soil disturbance and soil utilization type changes markedly affect rates of soil N mineralization. It is generally impossible to assess the usefulness of most estimates of N mineralization as predictors of field rates because of the unknown effects of assay conditions. A methodology for fluxes of mineral-N, based on sequential soil coring and *in-situ* exposure of largely undisturbed soil columns confined within metal tube, to research the soil mineral-N's release and immobilization, plant up take of N and maximum N leaching on degraded soils in Lancang River watersheds, Yunnan. We show that disturbance can either increase net N mineralization, cause leaching of N and immobilization of N, alter the proportion of nitrate nitrogen produced during incubation, or induce or obscure the effects of previous fertilization on rates of N mineralization. The types changed from broadleaved forest to orchard, slop

基金项目: 湖北省涝渍灾害与湿地农业重点实验室开放科研基金项目(HNKFJ2002A04); 云南省自然科学基金项目(2001C0044M); 云南省应用基础研究项目(2000FXZ02)资助

收稿日期: 2002-10-28; **修订日期:** 2003-05-18

作者简介: 田昆(1957 ~), 男, 山西人, 博士, 副教授, 主要从事土壤学和生态恢复研究。E-mail: tlkunp@public.km.yn.cn; tlkunp@yahoo.com.cn

Foundation item: Research Fund of Hubei Key Laboratory of Waterlogged Disaster and Wetland Agriculture (No. HNKFJ2002A04); Natural Science Foundation of Yunnan Province(2001C0044M); Fund of Yunnan Applied Science (2000FXZ02)

Received date 2003-05-18 **Accepted date:** 2003-05-18

Biography: Tian Kun, Ph. D., Associate professor, main research field: soil science and ecorestoration.

cropland, eucalyptus and pine coniferous forest, mineral-N reduced 51.51,29.64,26.84,16.40 mg · kg⁻¹ within 60 days,and the coefficient of variation was 21.5%, 11.0%, 14.2% and 8.3%, respectively. The immobilization of N was 15.45 mg · kg⁻¹ for orchard, 13.90 mg · kg⁻¹for eucalyptus and 8.51 mg · kg⁻¹ for slop cropland. The maximum N leaching occurred at the type of slop cropland (44.50 mg · kg⁻¹), and followed the types of pine coniferous forest (38.41 mg · kg⁻¹) and eucalyptus forest (25.30 mg · kg⁻¹). The amount of plant up take of N for different types is orchard > slop cropland > eucalyptus forest > pine coniferous forest > broadleaved forest and type of mineral N up taken by plant is mainly as NO³-N. The results also show that this method causes fewer disturbances to natural process and has no effect on the accumulative N's type of the process of mineralization. It is the effective method to determine the fluxes of the soil mineral-N that under the field conditions.

Key words:soil core; *in-situ* exposure; N fluxes; mineralization; soil degradation

文章编号:1000-0933(2003)09-1937-07 中图分类号:S158.1,S181 文献标识码:A

近年来,国内外对生态环境脆弱造成的土壤养分退化进行了大量研究,但用来研究田间条件下土壤氮库变化过程的大多数方法,由于分析条件限制,难于对其过程与规律进行定量研究,另外实验室条件下的氮测定值也很难反映田间条件下的真实值^[1~8]。Raison 等提出了野外原状土连续就地取样研究技术^[9]并在国外广泛应用。

国内对原状土连续就地取样方法的应用尚未见报导,选择澜沧江流域典型退化土壤,利用该方法对其氮素营养时空变化过程进行动态监测,并对测定步骤和方法应用进行描述,同时对这一方法的合理性进行探讨,为土壤退化过程和机理研究提供理论依据和研究方法。

1 样地概况与方法

1.1 试验样地

试验地位于澜沧江流域,云南西北部大理洱源县坡度 15°~35°山地,地理坐标为东经 99°48′~99°52′,北纬 25°55′~26°0′。自然土壤为红壤,母质为砂页岩。由于人为活动影响,自然植被除零星分布外,其余或被云南松(*Pinus yunnanensis*)、华山松(*P. armandii*)等人工林取代,或被兰桉(*Eucalyptus globulus*)、梅子(*Prunus mume*)等经济林取代或开垦成坡耕地,水土大量流失,土壤退化严重。试验选择保存较好的自然植被阔叶林地作为土壤退化研究的参照样地,并根据野外土壤生态系统退化特征和土壤的基本理化性质(表 1),选择桉树、梅园等经济林地以及坡耕地、针叶林地作为阔叶林破坏后不同利用方式下土壤退化研究的样地类型。

表 1 试验地土壤理化性质
Table 1 soil characteristics of experiment site

利用方式	土壤	pH 值	有机质	标准	全氮	标准	水解性 N		标准	速效 P	标准	速效 K	标准	土壤质
Utilization	类型	水浸	Organic	差	Total	差	C/N	Available N	差	Available P	差	Available K	差	地 Soil
types	Soils	(H ₂ O)	matter%	Stdev	N (%)	Stdev		(mg · kg ⁻¹)	Stdev	(mg · kg ⁻¹)	Stdev	(mg · kg ⁻¹)	Stdev	texture
按树林地 E	胶泥土	4.10	1.85	0.11	0.95	0.11	1.13	146.80	2.64	1.26	0.02	71.20	2.29	轻粘
果 园 O	胶泥土	5.00	1.80	0.54	1.51	0.20	0.69	116.80	1.04	5.89	0.16	43.30	0.05	重壤
坡耕地 SC	胶泥土	6.10	2.52	0.84	1.39	0.44	1.05	130.80	3.56	3.75	0.05	92.60	0.20	中壤
针叶林地 PC	红 壤	5.50	2.30	0.36	0.73	0.19	1.83	83.50	1.18	2.36	0.04	93.70	3.24	中壤
阔叶林地 B	红 壤	6.00	6.89	0.76	2.37	0.65	1.69	484.40	3.44	13.29	0.14	169.80	3.52	轻壤

E——eucalyptus 按树林, O——orchard 果园, SC——slop cropland 耕地, PC——pine coniferous forests 针叶林, B——broad-leaved forests 阔叶林

1.2 研究方法

利用原状土连续就地取样器以 30d 为一时段,每一土壤类型设置 3~5 个定位点监测不同利用方式下土壤氮库营养动态变化。方法原理是:利用三支取土管打入土壤中,取走一支分析得到当时土壤氮状况(N_{b(t)}),

留下两支在田间条件下进行矿质化培养,其中一支盖上盖子以避免淋失,另一支让其敞开与自然条件变化一致(图 1)。

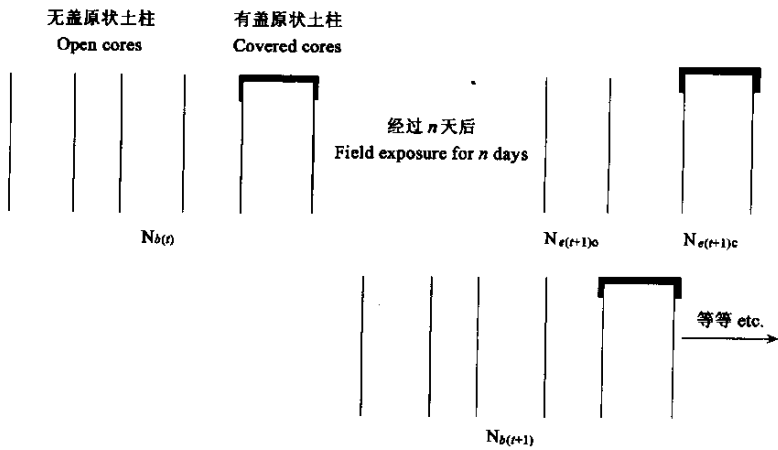


图 1 原状土就地取样技术连续监测土壤 N 动态变化示意图

Fig. 1 Fluxes of soil N using the sequential coring and in situ exposure technique

(1)一定时间内土壤矿质化释放的氮或固定的氮 $N_{\min} = \Delta NH_4^+ - N + \Delta NO_3^- - N$,而
 $\Delta NH_4^+ - N = NH_4^+ - N_{e(t+1)c} - NH_4^+ - N_{b(t)}$ $\Delta NO_3^- - N = NO_3^- - N_{e(t+1)c} - NO_3^- - N_{b(t)}$
(2)一定时间内植物吸收的矿质氮 $N_u = NH_4^+ - N_u + NO_3^- - N_u$
如果管子内外的氨化率和硝化率相同,则野外就地培养期间植物吸收的矿质氮可表达为:
$$N_u = [N_{e(t+1)c} - N_{b(t)}] - [N_{b(t+1)} - N_{b(t)}] - N_L = N_{e(t+1)c} - N_{b(t+1)} - N_L$$

(N_L 为淋失的氮)
假定有盖原状土柱的反硝化作用及淋失为零,则无盖原状土柱的反硝化作用和淋失最大,于是:
$$N_u = N_{e(t+1)c} - N_{b(t+1)} - N_L \longrightarrow N_u = N_{e(t+1)o} - N_{b(t+1)}$$

同理可计算植物吸收的 $NH_4^+ - N_u$ 和 $NO_3^- - N_u$
(3)一段时间内淋失的氮可从野外就地培养某一时段结束时的有盖原状土柱与无盖原状土柱矿质氮量上的差值确定。

$$N_L(\text{最大淋失量}) = N_{e(t+1)c} - N_{e(t+1)o}$$

室内分析采用中国分析标准方法^[10]和中国科学院南京土壤研究所分析方法^[11]。数据取平均值并进行统计分析。

2 结果讨论

$t+1 \sim t+2$ 时段内不同利用方式下土壤氮矿质化过程中氮在时间和空间上的释放与固定,植物吸收消耗与淋失等动态变化的监测结果见表 2。

2.1 果园土壤矿质氮的动态变化

$(t+1)$ 时段内果园土壤氮矿质化释放了 $30.79 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 2),具有较高比例的矿化率。植物吸收消耗了 $86.43 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,铵态氮淋失 $0.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 4),氮营养库变化中负积累 $55.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 6); 30d 后的 $(t+2)$ 时段内,氮矿质化过程中固定了铵态氮 $15.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,释放硝态氮 $18.87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,矿质氮积累了 $3.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 3),植物吸收消耗了 $30.58 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,淋失量为负数(图 5),氮营养库变化中负积累 $27.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 7)。

该利用类型较高比例的氮吸收率反映了果树生长对氮素营养的需求。 $(t+1)$ 和 $(t+2)$ 时段内氮营养库变化中消耗为负数据,不足部分除少量由大气补给外,大多需通过施肥给予补充以保持养分平衡,否则土壤将处于氮营养衰减贫瘠状态,加重土壤化学退化。

表 2 不同利用方式下土壤矿质氮养分 30~60 d($t+1\sim t+2$ 时段内)的变化状况
Table 2 The fluxes of soil mineral-N within 30~60 days under different types

t 时的矿质氮($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) $N_{b(t)}$					$t+1$ 时的矿质氮($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) $N_{e(t+1)}$					$t+2$ 时的矿质氮($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) $N_{e(t+2)}$				
土柱 Cores	铵态 N NH_4^+-N	变异 系数 cv %	硝态 N NO_3^--N	变异 系数 cv %	土柱 Cores	铵态 N NH_4^+-N	变异 系数 cv %	硝态 N NO_3^--N	变异 系数 cv %	土柱 Cores	铵态 N NH_4^+-N	变异 系数 cv %	硝态 N NO_3^--N	变异 系数 cv %
O- $N_{b(t)}$	57.29	9.7	10.43	15.8	O- $N_{e(t+1) \text{ o}}$	74.72	6.4	60.71	20.0	O- $N_{e(t+2) \text{ o}}$	43.92	11.6	29.28	23.8
					O- $N_{e(t+1) \text{ c}}$	74.87	8.4	23.64	24.4	O- $N_{e(t+2) \text{ c}}$	24.64	10.2	27.78	16.8
					O- $N_{b(t+1)}$	40.09	17.8	8.91	22.5	O- $N_{b(t+2)}$	32.77	21.6	9.85	23.8
					SC- $N_{e(t+1) \text{ o}}$	39.86	18.7	84.14	11.9	SC- $N_{e(t+2) \text{ o}}$	35.75	14.0	47.96	8.6
SC- $N_{b(t)}$	38.55	10.2	41.26	9.7	SC- $N_{e(t+1) \text{ c}}$	49.46	13.4	59.35	12.4	SC- $N_{e(t+2) \text{ c}}$	44.79	13.1	83.42	8.2
					SC- $N_{b(t+1)}$	44.26	13.0	31.61	17.5	SC- $N_{b(t+2)}$	51.94	12.4	34.7	16.1
					E- $N_{e(t+1) \text{ o}}$	29.79	18.2	29.79	10.8	E- $N_{e(t+2) \text{ o}}$	34.64	22.4	13.84	20.6
					E- $N_{e(t+1) \text{ c}}$	57.72	3.4	15.03	9.9	E- $N_{e(t+2) \text{ c}}$	39.09	3.3	21.52	8.3
E- $N_{b(t)}$	28.28	12.3	28.93	14.5	E- $N_{b(t+1)}$	22.54	21.0	14.44	24.1	E- $N_{b(t+2)}$	24.59	14.2	7.44	13.7
					B- $N_{e(t+1) \text{ o}}$	57.68	9.1	65.37	10.1	B- $N_{e(t+2) \text{ o}}$	58.72	4.0	76.47	2.5
					B- $N_{e(t+1) \text{ c}}$	75.50	8.2	61.25	5.1	B- $N_{e(t+2) \text{ c}}$	67.73	2.9	77.97	3.3
					B- $N_{b(t+1)}$	58.01	4.6	77.66	3.1	B- $N_{b(t+2)}$	59.48	5.5	72.34	3.0
B- $N_{b(t)}$	57.74	6.0	49.87	10.5	PC- $N_{e(t+1) \text{ o}}$	55.72	9.9	34.15	8.7	PC- $N_{e(t+2) \text{ o}}$	64.47	4.9	33.99	4.9
					PC- $N_{e(t+1) \text{ c}}$	66.84	5.0	57.89	3.8	PC- $N_{e(t+2) \text{ c}}$	66.22	6.2	35.79	9.9
					PC- $N_{b(t+1)}$	52.17	4.2	33.04	12.7	PC- $N_{b(t+2)}$	58.09	4.7	30.28	10.2

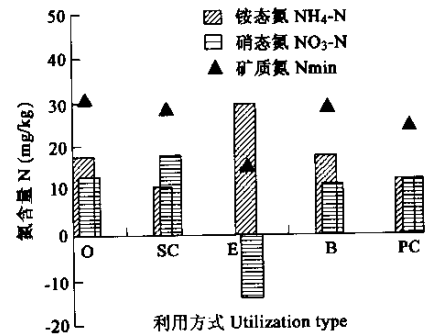


图 2 不同利用类型($t+1$)时段的土壤氮矿质化
Fig. 2 Net mineralization or immobilization within the time of ($t+1$) under different types

2.2 坡耕地土壤矿质氮的动态变化

($t+1$)时段内坡耕地氮矿质化释放了 $29.00 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 2),植物吸收消耗了硝态氮 $52.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,淋失铵态氮 $9.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,氮营养库变化中消耗了 $62.13 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 4),负积累 $33.13 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 6);60d 时氮矿质化过程中 $8.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铵态氮被固定,释放硝态氮 $51.81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,使氮库中矿质氮积累至 $43.30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 3),植物吸收利用的矿质氮形态仅为硝态氮($13.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),其淋失也较大($35.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),总淋失量达 $44.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 5),使土壤氮营养库变化中矿质氮仍负积累 $1.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 7)。($t+1$)时段结束时的第 30 天出现较大负积累主要与那个时期农作物(小麦)生长需要大量的氮素营养有关,尤其是对硝态氮肥的需求较大。该利用类型的矿化率无论是($t+1$)时段或是($t+2$)时段,均较其它几种利用类型高,可能是因为收获移走土壤中的氮导致的养分贫瘠诱导了较高比例的矿化率,另外数据营养库变化中仍是消耗高于积累,表明农作物生长期间须有充足的氮源补给才能保证其旺盛生长;($t+2$)时段结束时的第 60 天矿质氮的负积累仅为 $1.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,一方面是由于农作物

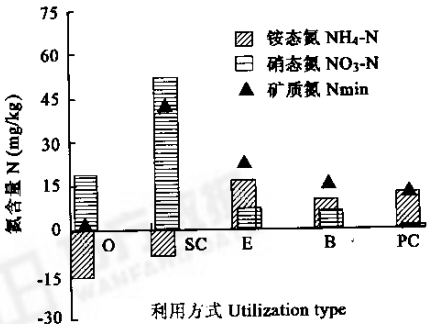


图 3 不同利用类型($t+2$)时段的土壤氮矿质化
Fig. 3 Net mineralization or immobilization within the time of ($t+2$) under different types

收获后土壤裸露,减少了植物对氮的吸收,另一方面是前期土壤中缺氮(氮的负积累)诱导了氮的矿质化,使土壤中的矿质氮得到一定补充,同时也诱导了裸露土壤的氮淋溶,淋失量为 5 种利用类型中最大。

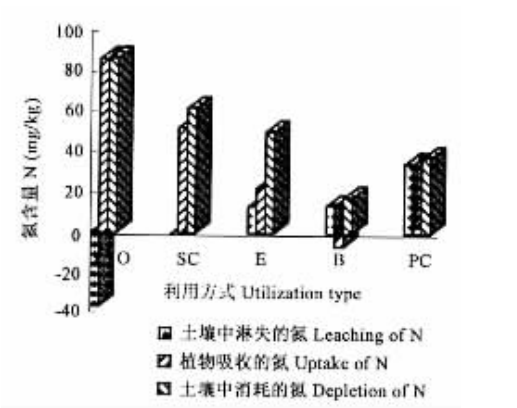


图 4 不同利用类型($t+1$)时段土壤矿质氮吸收与淋失
Fig. 4 Uptake and leaching of soil mineral N within the time of ($t+1$) under different types
O 果园 Orchard; SC 坡耕地 Slop cropland; E 桉树林 Eucalyptus; B 阔叶林 Broad-leaved forest; PC 针叶林 Pine coniferous forests

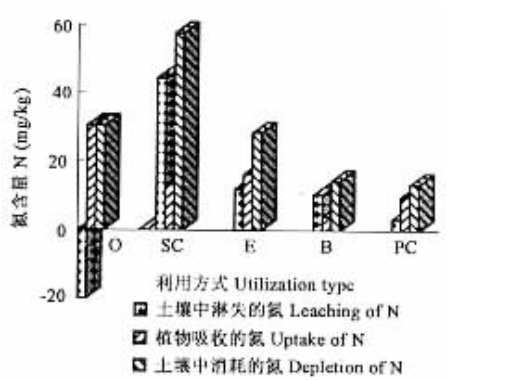


图 5 不同利用类型($t+2$)时段土壤矿质氮吸收与淋失
Fig. 5 Uptake and leaching of soil mineral N within the time of ($t+2$) under different types
O, SC, E, B, PC 同图 4 The same as fig. 4

一种途径。

2.5 针叶林土壤矿质氮的动态变化

从图 2 可知, ($t+1$)时段针叶林地氮矿质化释放了 $24.71 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。从图 4、6 知, 植物吸收消耗了 $3.06 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 淋失铵态氮 $11.12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 硝态氮 $23.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 负积累 $13.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; ($t+2$)时段内氮矿质化又释放了 $13.40 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 3), 植物吸收消耗了 $10.09 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 淋失铵态氮 $1.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 硝态氮 $1.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 5), 负积累 $0.24 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 7), 氮营养库变化中消耗仍高于积累。但无论两个时段还是 ($t+2$)时段并无氮的固定, 意味着针叶林利用类型人为干扰导致的土壤退化较轻, 土壤中出现的负积累主要是氮的淋失所致, 硝态氮淋失量仅次于裸露的坡耕地, 这与针叶林下缺少

2.3 桉树林土壤矿质氮的动态变化

($t+1$)时段内桉树林地氮矿质化过程中固定了硝态氮 $13.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 释放了铵态氮 $29.44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 2), 植物吸收消耗了 $22.60 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 铵态氮淋失 $27.93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 4), 负积累 $34.99 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 6); ($t+2$)时段内氮矿质化又释放了矿质氮 $23.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 3), 植物吸收消耗了 $16.45 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 铵态氮淋失 $4.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 硝态氮淋失 $7.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 氮营养库变化中消耗了矿质氮 $28.58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 5), 负积累 $4.95 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 7), 氮营养库变化中仍是消耗高于积累, 需施氮肥以维持平衡, 但对大面积桉树林进行施肥并不可行, 也就是说自然状态下的桉树林地氮营养正在衰减, 而处于退化状态。该利用类型的氮淋失量较大, 平均 $25.30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 这与桉树的排它性导致林下缺少地被物、土壤裸露有关。

2.4 阔叶林土壤矿质氮的动态变化

($t+1$)时段阔叶林地氮矿质化释放了 $29.14 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其中铵态氮 $17.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 硝态氮 $11.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 2), 具有较高比例的矿化率。铵态氮淋失 $17.82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 4), 固氮树种的阔叶林植物旱冬瓜 (*Alnus nepalensis*) 对铵态氮和硝态氮的吸收均为负数, 这可能与其生长过程中, 主要靠吸收自身固定的氮有关。此时氮营养库变化中有 $17.94 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 积累(图 6); ($t+2$)时段氮矿质化又释放了铵态氮 $9.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 硝态氮 $6.31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 3), 淋失铵态氮 $18.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 5), 植物仅吸收消耗了硝态氮 $4.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 呈现出与 ($t+1$)时段相似的结果。扣除土壤中氮的总消耗, 仍然有 $2.15 \text{ N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 积累(图 7)。可见无人为干扰的阔叶林土壤, 自然状态下较为肥沃, 处于良性生态循环中。($t+1$)时段与 ($t+2$)时段结束时旱冬瓜林地均有较大铵态氮淋失而无硝态氮淋失, 可能与此时正值旱季, 较好的土壤通透性诱导了铵态氮向大气中挥发淋失有关^[12], 也可能是自然过程中氮平衡的

植被,土壤干燥,诱导了较强的硝化作用有关^[12]。

3 结论

3.1 原状土就地连续取样技术克服了田间条件下氮库营养变化研究方法的弊病 如利用薄铁罐、有盖塑料管分离原状土柱装入塑料袋中再置于上层土体中进行的矿质化培养研究,以及把过筛后混合的土壤装于塑料袋中留在野外自然条件下进行的矿质化培养研究^[5-13]等,这些方法中因装于塑料袋的原状土柱一直保持取样时的土壤水分而同袋外的水分条件存在明显差异,而装于袋中的混合土壤与自然剖面土层显然不同,且皆因无活的植物根系而极大地影响土壤的矿质化过程^[3~8]。

原状土就地连续取样技术利用对原状土几乎没有扰动的三支普通金属管进行就地取样并将其留在野外连续监测土壤矿质氮的动态变化,可定性定量监测田间条件下土壤氮库动态变化中的氮释放与固定、吸收和淋失等氮素营养随时间和季节变化的整个过程,其对土壤发育的自然过程破坏较小,对矿质化过程积累的氮的类型没有影响,也没有区域土壤类型的限制,简单易行。但在我国南方应用,由于土壤粘重,土柱紧实,土样不易从取土管中取出而较难保持自然土层结构,制约了对更具意义的深层土壤矿质化过程的研究,另外,取土管阻碍了土壤侧向径流,对氮淋失的测定有一定影响。尽管如此,该方法仍不失为田间条件下土壤矿质氮动态变化研究的有效方法。

3.2 人为活动干扰氮矿质化过程并引起土壤化学退化 天然阔叶林破坏后,无论代之以用材林、经济林或农作物都诱导矿质氮的淋失和固定,引起氮素营养的衰减。退化严重的果园、桉树林及坡耕地变异系数较大,被固定的氮分别为 15.45、13.90 和 8.51 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,针叶林类型虽没有氮的固定,但由于针叶纯林下缺乏地被诱导的氮淋失,使其土壤仍呈现出养分衰减退化趋势。从图 6、图 7 可看出人为干扰后果园的养分衰减退化最为严重,统计分析结果的变异系数也最大(21.5%),60 d 内氮平均衰减达 51.51 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其次为坡耕地(变异系数 11%),衰减 29.64 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,然后是桉树林地衰减 26.84 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数 14.2%,针叶林地衰减较少(16.40 $\text{N mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),变异系数也较低(8.3%)。坡耕地衰减较果园轻可能是因为大量施肥补充的缘故,综合分析其它物理退化特征如土层浅薄、结构紧实、透气蓄水差以及土壤生物多样性减少等特征,坡耕地退化最为严重。

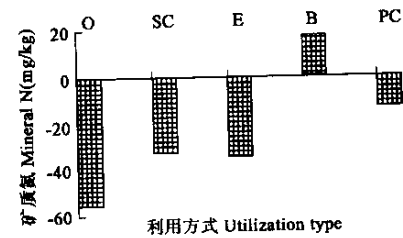


图 6 土壤矿质氮($t+1$)时段空间结构的衰减退化
Fig. 6 The spatial degradation of soil mineral-N within the time of ($t+1$)

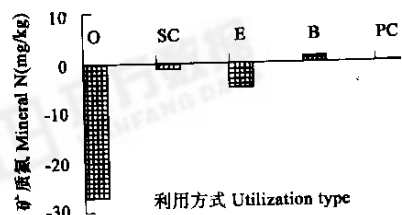


图 7 土壤矿质氮($t+2$)时段空间结构的衰减退化
Fig. 7 The spatial degradation of soil mineral-N within the time of ($t+2$)

3.3 土壤贫瘠诱导氮矿质化并引起矿质化过程中的 NO_3^- -N 比例改变 农作物收获后带走了坡耕地土壤中的氮,使土壤氮素贫瘠,从而诱导了氮矿质化,释放的矿质氮达 43.30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。研究中发现,如果土壤中铵态氮的含量积累超过 10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,消化作用加强,硝态氮淋失增加。另外不同利用类型的植物对土壤中矿质氮的吸收消耗不同(果园>坡耕地作物>桉树林>针叶林>阔叶林),并且吸收利用的矿质氮形态以硝态氮为主。

3.4 研究结果较好地反映了一个季度不同利用方式下,土壤矿质化氮时间和空间上的释放与固定,植物吸收消耗与淋失等整个动态变化过程,但受气候条件和人为生产活动的影响,不同季节的氮库变化可能呈现差异,因此对土壤生态系统中的氮库长期变化规律尚需进一步进行研究,另外,该方法能否有效测定其他营养元素的动态变化尚不十分清楚。

References :

[1] Su Y Z, Zhao H L, Zhang T H. Process and character of soil degradation of rainfed farmland in Horqin sandy land. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, **16** (1): 25~28.

[2] Zhao Q G. *Mechanism, temporal-spatial changes and controlling countermeasures of soil degradation in hilly red soil region of southwestern China*. Beijing: Chinese Scientific Press, 2002. 142~146.

[3] Eno C F. Nitrate production in the field by incubating the Soil in polyethylene bags. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1960, **24**.

[4] Nordmeyer H and Richter J. Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. *Plant and Soil*, 1985, **83**, 433~445.

[5] Nadelhoffer K J, Aber J D and Melillo J M. Fine roots, net primary production and soil nitrogen availability: a new hypothesie. *Ecology*, 1985, **66**, 1377~1390.

[6] Hart S C and Binkley D. Correlations among indices of forest soil nutrient availability in fertilized and unfertilized loblolly pine plantations. *Plant and Soil*, 1985, **85**.

[7] Vitousek P M and Maston P A. Disturbance, nitrogen availability and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation. *Ecology*, 1985, **66** 1360~1376.

[8] Lamb D. Soil nitrogen mineralization in a secondary rainforest succession. *Oecologia*, 1990, **47**, 257~263.

[9] Raison R J, Connell M J and Khanna P K. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N IN-SITU. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, **19**(5): 521~530.

[10] Liu G S. *Soil physical and chemical analysis description of soil profiles*. Beijing: Standards Press of China, 1996. 31~37.

[11] Nanjing institute of soil science, Chinese Academe of Sciences. *Analysis of soil physics-chemical properties*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987. 62~93, 132~135.

[12] Zhu Z L, Wen Q X. *Nitrogen in soils of China*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1992. 145~185.

[13] Adams M A and Attiwill P M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalyptus forests of southeastern Australia II. Indices of nitrogen mineralization. *Plant and Soil*, 1986, **92**, 341~362.

参考文献:

[1] 苏永中, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地旱作农田土壤退化的过程和特征. 水土保持学报, 2002, **16** (1): 25~28.

[2] 赵其国. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控. 北京: 科学出版社, 2002. 142~146.

[10] 刘公崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996. 31~37.

[11] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 上海: 科学技术出版社, 1987. 62~93, 132~135.

[12] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. 145~185.