

土壤易矿化有机态氮和微生物态氮作为土壤氮素生物有效性指标的评价

宋建国¹, 林 杉², 吴文良², 毛达如²

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要:通过盆栽试验研究了土壤易矿化有机态氮和土壤微生物态氮与土壤净矿化氮及植物吸氮量之间的关系。结果表明, 种植前土壤易矿化有机态氮和土壤微生物态氮以及种植前后土壤易矿化有机态氮的变化量均与土壤氮素净矿化量和植物吸氮量之间存在显著的相关性。在盆栽试验条件下, 土壤易矿化有机态氮和种植前土壤微生物态氮能够较好地反映土壤氮素的矿化和供应能力, 可以作为土壤氮素的生物有效性指标。

关键词:易矿化有机态氮; 微生物态氮; 生物有效性

Evaluation of soil easily mineralizable nitrogen and microbial biomass nitrogen for biological available index

SONG Jian-Guo¹, LIN Shan², WU Wen-Liang², MAO Da-Ru² (1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: There was a significant correlation between soil easily mineralizable nitrogen and microbial biomass nitrogen measured before planting with the net nitrogen mineralization and plant nitrogen uptake. The significant relationship was also found between the difference of easily mineralizable nitrogen before and after planting with soil net nitrogen mineralizable and plant nitrogen uptake. It is concluded that the soil easily mineralizable nitrogen and microbial biomass nitrogen can be taken as the biological available index for soil nitrogen mineralization and availability in the pot experiment.

Key words: soil easily mineralizable nitrogen; microbial biomass nitrogen; biological available index

文章编号: 1000-0933(2001)02-0290-05 中图分类号: S153.6, S154 文献标识码: A

在农业生态系统中, 氮素既是限制植物生长又是引起地下水污染的主要因子之一。因此, 有关反映土壤供氮能力和生物有效性的指标及其研究方法一直受到人们的极大关注^[1]。许多反映土壤供氮能力的指标均直接或间接地与土壤微生物的数量和活性有关, 而土壤微生物本身亦是土壤氮素矿化的活性库之一^[2,3]。许多实验证实, 土壤微生物态氮与土壤矿化氮量及土壤氮素潜在矿化位势存在密切联系^[4,5]。但能否直接用土壤微生物态氮来反映植物生长期间土壤的供氮情况, 一直是人们争论的焦点。

此外, 用电超滤(EUF)或 CaCl_2 浸提出来的土壤有机态氮组分, 被看作是土壤活性有机态氮的重要组成部分, 这部分氮在土壤中容易矿化, 故名为易矿化有机态氮^[6~9]。长期以来, $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ 被欧洲一些国家列为评价土壤供氮能力的指标而应用于推荐施肥中^[7,9,10]。Houba 用常规浸提方法与 EUF 浸提法进行比较后发现, $0.01 \text{ mol/L CaCl}_2$ 浸提出的不同氮素组分与 EUF 法之间存在显著的相关性^[10], 与黑麦草吸氮量之间亦具有显著的相关^[8], 而且, 当浸提温度提高到 80°C 时, $0.01 \text{ mol/L CaCl}_2$ 浸提出的有机态氮的数量与 $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ 的数量相当^[11]。国内在 80 年代中后期进行过 EUF 可浸提的易矿化有机态氮与植物吸氮量之

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39630070 和 49771052)

收稿日期: 2000-06-12 修回日期: 2000-06-12

万方数据

作者简介: 宋建国(1965~), 男, 满, 辽宁人, 博士, 副研究员。主要从事生态系统养分循环与可持续发展等研究。

间相互关系的研究,认为 EUF 可浸提的易矿化有机态氮可以反映旱地土壤的潜在供氮能力^[12]。关于土壤微生物态氮的研究工作已成为国际氮素研究的一个新热点,但在国内尚鲜见报道^[13]。

本研究旨在通过盆栽试验,探明土壤微生物态氮和易矿化有机态氮与土壤供氮能力和植物吸氮量的关系,为正确理解和评价土壤微生物态氮和易矿化有机态氮作为反映土壤供氮能力指标的可行性提供理论依据。

1 材料和方法

供试土壤 采用 19 种不同肥力水平的 0~20cm 耕层土壤,其基本理化性状见表 1。土壤风干后过 2mm 筛,称取 2.5 kg 风干土加入封底(防止 NO₃⁻-N 淋失)盆钵后,调节土壤含水量至田间持水量的 60%,每种土壤设 3 次重复,预培养 1 周,以减少新鲜有机物质的干扰,消除采样时土壤水分和温度的差异,使各土样测定结果具有可比性^[14]。培养期间保持土壤含水量基本恒定在田间持水量的 60%。

表 1 供试土壤的理化性状

Table 1 Some properties of soils used for pot experiment						
地点	代号	有机碳	全氮	pH(水)	C/N 比	土壤质地*
Site	No.	Total C (g/kg)	Total N (g/kg)	pH (water)	C / N ratio	Soil texture
北京昌平 Changping Beijing	1	15.19	0.921	8.35	16.5	L
	2	14.93	0.678	8.14	22.0	S-L
	3	12.84	0.815	8.43	15.8	L
	4	11.19	0.845	8.28	13.3	L
	5	12.92	0.820	8.15	15.8	L
河南 Henan	6	10.45	0.613	7.92	17.1	S
	7	9.38	0.596	8.06	15.8	S
	8	8.97	0.597	8.26	15.1	S
	9	9.52	0.561	7.86	16.9	S
	10	12.43	0.699	8.17	17.8	S
湖北 Hubei	11	9.86	0.608	8.27	16.2	S
	12	14.53	1.012	6.15	14.4	L
中国农 业大学 BAU	13	16.32	1.08	8.13	15.1	L
	14	18.13	1.303	8.26	13.9	L
	15	29.95	1.834	8.38	16.3	L
北京大兴 Daxing, Beijing	16	14.8	0.573	8.06	25.8	S
	17	31.09	1.957	7.83	15.9	L
	18	9.06	0.57	7.92	16.0	S
	19	15.83	0.879	8.28	18.0	S

* L: 壤土 Loam, S: 砂土 Sand, S-L: 砂壤土 Sandy-loam.

土样立即加入 0.01 mol / L CaCl₂ 后依上述方法浸提、过滤,滤液冷藏待测。

土样浸提液中各组分氮素的测定 采用连续流动分析法 (TRACCS2000 Continuous Flow Analytical, CFA) 分别测定上述浸提方法得到的滤液中铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)和全氮(N_{tot}),可浸提的有机态氮或称易矿化有机态氮[N_{org} = N_{tot} - (NH₄⁺-N + NO₃⁻-N)]。

土壤微生物态氮(SMB-N)的计算 土壤微生物态氮等于熏蒸样浸提液全氮减去未熏蒸样全氮的差值除以转换系数 *K_n* 值^[17]。

植株全氮测定 用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-开氏定氮法^[18]。

土壤净矿化氮量定义为种植春小麦前后 0.01 mol / L CaCl₂ 浸提测定的无机态氮的差值加上植物吸氮量。

万方数据

春小麦生长期间(59 d)土壤氮素各组分变化量(ΔN_{iractions})为种植前土壤氮素各组分数量减去收获时土

盆栽试验 春小麦于 1997 年 4 月 8 日播种于上述培养土中。每盆 20 粒种子,覆盖 100 g 石英砂以防止浇水时溅出土壤。施入无氮混合营养液,施肥量按每盆 300 mg K、150 mg P、50 mg Mg、5 mg Cu、5 mg Fe、5 mg Mo、5 mg Zn 的数量分别以 NaH₂PO₄、MgSO₄、CuSO₄、FeSO₄、Na₂MoO₄ · 2H₂O、ZnSO₄ · 2H₂O 的化学试剂加入。将试验盆放置于温室内,白天 25℃,夜晚 18℃。每天称重浇水,保持土壤含水量在田间持水量的 60%左右。播种 5 d 后出苗,每盆留苗 15 株,第 59 天收获。收获时取全部植株后,立即烘干、称重,待测。

土样的采集和浸提 在种植前和种植后两个时期,均按下列步骤进行:称取盆钵中鲜土各 4 份,每份约 12 g,其中 2 份土样在 25℃ 黑暗条件下用无水氯仿熏蒸 24 h 后移去多余的氯仿,再用真空泵抽去土样中残留的氯仿^[15]。将熏蒸后的土样全部转移至 200 ml 振荡瓶中后,加入 100 ml 的 0.01 mol / L CaCl₂,振荡 30 min^[16],过滤,滤液冷藏(-18℃)待测;另两份未经熏蒸

壤氮素各组分数量。

2 结果与讨论

2.1 土壤易矿化有机态氮与土壤净矿化氮量和春小麦吸氮量的关系

在不施氮肥的情况下,植物生长所吸收的氮素中,一部分来自土壤中已有的无机态氮,还有相当一部分氮素来自于土壤有机态氮矿化所释放出来的氮素。从表 2 中可以看出,在春小麦生长 59 d 后,土壤氮素各组分均有不同程度的减少(即种植前后土壤氮素各组分的差值为正值)。从春小麦吸氮量大大超过种植前后土壤无机态氮的变化量来看,说明在春小麦的吸氮量中,除了来自土壤中无机态氮以外,而相当大的部分来自于土壤易矿化有机态氮矿化分解释放出的氮素。因此,有人将土壤易矿化有机态氮库看成是土壤矿质态氮库的直接补给源^[8]。

表 2 春小麦生长期间土壤氮素净矿化量和各组分氮素的变化量($\Delta N_{\text{fractions}}$)及吸氮量(mg N/Pot)

Table 2 Net N mineralization and various N fractions ($\Delta N_{\text{fractions}}$) and N uptake of spring wheat during a growth period mg N pot

土样号 Soil No.	$\Delta N_{\text{fractions}}$				N 净矿化量 Net N mineralization	吸 N 量 N uptake
	$\Delta \text{NH}_4\text{—N}$	$\Delta \text{NO}_3\text{—N}$	$\Delta \text{N}_{\text{org}}$	$\Delta \text{SMB-N}$		
1	4.7	14.2	9.4	14.1	58.6	39.7
2	2.7	8.3	4.9	7.5	40.6	29.5
3	1.3	11.1	8.9	16.0	49.8	37.4
4	3.1	12.2	7.9	9.2	51.2	35.9
5	4.0	11.1	8.1	17.2	44.7	29.6
6	2.6	12.8	8.8	20.0	47.0	31.6
7	7.0	7.5	5.6	14.7	36.3	21.7
8	6.7	14.2	11.0	9.7	59.3	38.4
9	3.4	9.2	5.8	15.2	37.9	25.4
10	4.9	13.1	12.0	17.5	59.9	41.8
11	3.9	12.9	8.3	12.5	49.1	32.4
12	3.3	7.8	10.9	12.6	33.9	22.8
13	3.4	13.1	8.5	9.1	41.4	24.8
14	2.9	11.3	11.0	18.5	54.2	40.0
15	5.2	11.8	9.8	13.9	46.4	29.4
16	6.4	16.6	13.0	17.0	60.7	37.7
17	3.6	14.4	7.9	27.1	52.4	34.4
18	1.8	7.1	3.4	8.1	27.3	18.6
19	2.8	10.2	5.0	15.6	38.9	25.9
均值 Mean	3.8	11.1	8.4	14.5	46.6	31.4

从种植前土壤易矿化有机态氮对春小麦吸氮量和土壤净矿化氮量的决定系数上看(见表 3),0.01 mol/L CaCl_2 浸提出的易矿化有机态氮对春小麦吸氮量和土壤净矿化氮量的变异程度分别给出平均 51% 和 59% 的解释($p<0.01$,以下同),低于硝态氮的解释程度(分别为 68% 和 72%),高于微生物态氮和铵态氮的解释程度(分别为 50% 和 52% 及 0.05% 和 0.07%)。种植前土壤不同氮素组分对春小麦吸氮量和土壤净矿化氮量的决定系数 r^2 的顺序为(见表 3): $\text{N}_{\text{NO}_3\text{—N}}>\text{N}_{\text{org}}>\text{SMB-N}>\text{N}_{\text{NH}_4^+\text{—N}}$ 。相关分析表明,初始的土壤硝态氮数量与春小麦吸氮量和土壤净矿化氮量之间均具有极显著的相关性;土壤易矿化有机态氮和微生物态氮与春小麦吸氮量和土壤净矿化氮量之间呈显著相关;而铵态氮则与春小麦吸氮量和土壤净矿化氮量之间无明显相关。

从种植春小麦前后土壤易矿化有机态氮的变化量($\Delta \text{N}_{\text{org}}$)对春小麦吸氮量和土壤净矿化氮量的决定系数来看(见表 4), $\Delta \text{N}_{\text{org}}$ 给出平均 48% 和 57% 的解释($p<0.01$,以下同),低于硝态氮的解释程度(分别为 55% 和 76%),高于微生物态氮和铵态氮的解释程度(分别为 0.04% 和 0.16% 及 0.11% 和 0.12%)。相关

分析表明,种植前后土壤易矿化有机态氮的变化量(ΔN_{org})与春小麦吸氮量和土壤净矿化氮量之间均具有显著的相关性;而土壤微生物态氮和铵态氮的变化量与春小麦吸氮量和土壤净矿化氮量之间则无明显相关。

2.2 土壤微生物态氮与土壤净矿化氮量和春小麦吸氮量的关系

土壤氮素的矿化和固持是在土壤微生物的参与下进行的,而土壤微生物态氮本身亦是土壤活性氮库中的重要组成部分^[14]。在春小麦生长 59 d 后,土壤微生物态氮的数量明显减少($\Delta SMB-N$ 为正值,见表 2),说明在春小麦生长期间,当在土壤无机态氮不能满足其生长需要时,土壤微生物态氮开始矿化,为春小麦生长提供部分氮素。Appel 和 Ross 等人在氮素耗竭实验中也得出了类似的结论^[8,14]。

表 3 种植前土壤各氮素组分数量 $N_{fractions}$ 对春小麦吸氮量及土壤氮素净矿化量决定系数 (r^2)

Table 3 Coefficients of determination (r^2) for various N fractions at 0 day versus N uptake of spring wheat and net N mineralization

N 组分 N fractions	N 净矿化量 Net N mineralization	吸氮量 N uptake
NH ₄ -N	0.07	0.05
NO ₃ -N	0.72**	0.68**
N _{org}	0.59*	0.51*
SMB-N	0.52*	0.50*

表 4 种植前后土壤各氮素组分变化量 ($\Delta N_{fractions}$) 对春小麦吸氮量及土壤氮素净矿化量决定系数 (r^2)

Table 4 Coefficients of determination (r^2) for the difference between various N fractions at 0 and 67 days versus N uptake of spring wheat and net N mineralization

N 组分变化量 ΔN fractions	N 净矿化量 Net N mineralization	吸氮量 N uptake
ΔNH_4-N	0.12	0.11
ΔNO_3-N	0.76**	0.55**
ΔN_{org}	0.57*	0.48*
$\Delta SMB-N$	0.16	0.04
Net N mineralization	—	0.92**

从种植前土壤微生物态氮的数量和种植前后土壤微生物态氮的变化量对土壤净矿化氮量和春小麦吸氮量的决定关系上(r^2)来看,分别给出 52%和 50%及 16%和 4%的解释(见表 3,表 4)。相关分析表明,种植前土壤微生物态氮的数量与土壤净矿化氮量和春小麦吸氮量之间均具有显著的相关性;而种植前后土壤微生物态氮的变化量对土壤净矿化氮量和春小麦吸氮量之间则无明显相关,由此表明,在本试验条件下,种植前土壤微生物态氮数量可以作为反映土壤氮素生物有效性的指标之一。近几年有关土壤微生物态氮的生物有效性方面的报道较多,结果也不尽相同^[3,4,19]。从土壤的生化过程来看,土壤微生物一方面靠自身的代谢参与土壤的氮素循环,另一方面通过自身的生命活动将其它的有机态氮矿化分解成无机态氮,供给植物或其它微生物吸收利用,直接或间接地参与了土壤-植物之间的氮素循环,其间影响因素及过程往往取决于当时水、热和养分等状况^[3,5,14],因此,有关植物生长期间尤其是田间条件下土壤微生物态氮在土壤氮素转化中的作用及其对植物的氮素有效性方面尚需作进一步的研究。

参考文献

[1] Stockdale E A, Rees R M. Relationships between biomass nitrogen and nitrogen extracted by other nitrogen availability methods. *Soil Biol. Biochem.*, 1994, **26**: 1213 ~ 1220.

[2] Juma N G and Paul E A. Mineralizable soil nitrogen: Amounts and extractability ratios. *Soil Sci. Am. J.*, 1984, **48**: 76 ~ 80.

[3] Bonde Torben A. Schnurer Johan and Rosswall Thomas. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. *Soil Biol. Biochem.*, 1988, **20**: 447 ~ 452.

[4] Carter M R and Rennie D A. Changes in soil quality under zero tillage farming systems; distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. *Canadian Journal of Soil Science*, 1982, **62**: 587 ~ 597.

[5] Myrold David D. Relationship between microbial biomass nitrogen and a nitrogen availability index. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1987, **51**: 1047 ~ 1049.

[6] Kohl A and Schinner W. Untersuchungen zur saisonalen Veränderung der EUF-N-Fractionen und zur Charakterisierung des leicht mobilisierbaren Bodenstickstoffs durch elektro-Ultrafiltration (EUF). Kongre(band. *VDLFA-*

- Schriftenreihe*, 1987, **20** : 333 ~ 341.
- [7] Németh K and Recke H. EUF-N fractions in different soils during a vegetation period in pot and field experiments. *Plant and Soil*, 1985, **83** : 39 ~ 46.
- [8] Appel T and Mengel K. Nitrogen fractions in sandy soils in relation to plant nitrogen uptake and organic matter incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, 1993, **25** : 685 ~ 691.
- [9] Mengel K. Available nitrogen in soil and its determination by the 'Nmin-method' and by electroultrafiltration (EUF). *Fertilizer Research*, 1991, **28** : 251 ~ 262.
- [10] Houba V J G, Novozamsky I and Huybregts A W M. Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl_2 , by EUF and some conventional extraction procedures. *Plant and Soil*, 1986, **96** : 433 ~ 437.
- [11] Appel T and Mengel K. Nitrogen uptake of cereals grown on sandy soils as related to nitrogen fertilizer application and soil nitrogen fractions obtained by electro-ultrafiltration (EUF) and CaCl_2 extraction. *European Journal of Agronomy*, 1992, **1** : 1 ~ 9.
- [12] 任建如, 李酉开. 电超滤浸提土壤养分的研究 III : 电超滤-吸光度与培养矿化氮的相关性. 北京农业大学学报, 1991, **17**(3) : 35 ~ 43.
- [13] 何振立. 土壤微生物生物量的测定方法: 现状与展望. 土壤学进展, 1994, **22** : 36 ~ 43.
- [14] Ross D J and Cairns A. Nitrogen availability and microbial biomass in stockpiled topsoils in southland. *New Zealand J Sci.*, 1981, **24** : 137 ~ 143.
- [15] Brookes P C, Landman A, Pruden G, *et al.* Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen; A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol Biochem.*, 1985b, **17**: 837 ~ 842.
- [16] Lin S. Einfluß von Düngungsmaßnahmen auf die N-Umsetzung im Boden unter besonderer Berücksichtigung von Güellen und Nitrifikationshemmern (DCD). 1995, *Dissertation der Universität Kiel*, Band **33**, University Kiel.
- [17] 宋建国, 王 晶, 林 杉. 用连续流动分析仪测定土壤微生物态氮的方法研究. 植物营养与肥料学报, 1999, **5** (3) : 282 ~ 287.
- [18] Bremner J M. Total nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, 1965, 1149 ~ 1178.
- [19] Lin S, Mühling K H and Sattelmacher B. Soil nitrogen fractions as influenced by sample preparation and extraction. *Commun Soil Sci Plant Anal.*, 1997, **28** : 551 ~ 559.