

石灰性土壤起始 NO_3^- -N 对土壤供氮能力测定方法的影响

叶优良^{1,2}, 李生秀¹

(1 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨陵 712100; 2 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018)

摘要:在陕西省的澄城、永寿、杨陵 3 地区选取有机质、全 N、硝态 N 含量差异较大的 17 个石灰性土壤, 分别在淋洗与未淋洗土壤起始 NO_3^- -N 后, 利用盆栽试验探讨土壤 NO_3^- -N 淋洗前、后, 不同方法测定的已矿化 N 和可矿化 N 与小麦吸 N 量之间的相关性。结果表明, 未淋洗土壤起始 NO_3^- -N, 用 KCl 直接浸取、KCl 煮沸法所浸取以及通气培养前 CaCl_2 所淋洗的起始 NO_3^- -N 均与小麦吸 N 量密切相关, 相关系数(r)分别为 0.934, 0.856 和 0.862, 均达 1% 显著水准。与此相反, 通气培养、淹水培养、沸水煮沸、碱性高锰酸钾、酸性高锰酸钾及碱解扩散等方法所提取的可矿化 N 与小麦吸 N 量间无显著相关。淋洗土壤起始 NO_3^- -N 后, 用 KCl 直接浸取、KCl 煮沸法浸取以及通气培养前 CaCl_2 所淋洗的起始 NO_3^- -N 与小麦吸 N 量之间的相关系数明显降低, 达不到 5% 的显著水准。而通气培养、淹水培养、沸水煮沸、碱性高锰酸钾、酸性高锰酸钾及碱解扩散等方法所提取的可矿化 N 与小麦吸 N 量之间相关系数却明显提高, 都达到 5% 或 1% 的显著水平。其中变化最明显的是淹水培养 1 周矿化出的 NH_4^+ -N、通气正式培养 2 周矿化出的 NO_3^- -N 及碱解扩散出的 NH_4^+ -N, 其与小麦地上部吸 N 量之间的相关系数(r)分别由淋洗前的 0.443, 0.119, 0.259 增加到淋洗后的 0.866, 0.767, 0.763。说明可矿化 N 反映土壤供 N 能力不佳是因为受起始 NO_3^- -N 的干扰和影响, 在土壤 NO_3^- -N 含量较高的情况下, 要正确评价可矿化 N 测定方法必须考虑 NO_3^- -N 的作用。

关键词:土壤; 起始 NO_3^- -N; 供氮指标; 测定方法

中图分类号: S151.9 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2002)03-0310-08

Influence of initial nitrate – nitrogen on methods of measuring soil nitrogen supplying capacity in calcareous soils

YE You-liang^{1,2}, LI Sheng-xiu¹

(1 Northwest Sci. and Tech. Univ. of Agric. and Forestry, Yangling 712100, China; 2 Shandong Agric. Univ., Taian 271018, China)

Abstract: Seventeen calcareous soils representing different organic matter, total N and NO_3^- -N contents were sampled from Chengcheng, Yongshou and Yangling area of Shannxi Province, and the soils with and without leaching of NO_3^- -N were used for pot experiments using wheat as indicator to discuss the relationship between initial NO_3^- -N and mineralizable N determined by various methods with wheat uptake N. The results showed that when initial NO_3^- -N were not leached, soil initial NO_3^- -N extracted by KCl directly and KCl boiling method, and leached by CaCl_2 before aerobic incubation were closely related with wheat N uptake, the correlation coefficients were 0.934, 0.856, 0.862, respectively, all reached at 1% significant level. On the contrary, it was no good relationship between mineralizable N extracted by aerobic incubation, water logging method, boiling water method, alkaline permanganate extraction, acid permanganate extraction and NaOH hydrolyzation diffusion method with wheat uptake N. When initial NO_3^- -N were leached, the correlation coefficient between

收稿日期: 2001-04-18

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330); 农业倾斜项目(30070429); 国家重点基础研究专题经费资助项目(G1999011707)。

作者简介: 叶优良(1968—), 男, 陕西留坝县人, 硕士, 现为中国农业大学植物营养系在职博士研究生, 主要从事植物营养与施肥方面的研究。

initial NO₃⁻-N extracted by KCl directly and KCl boiling method, and leached by CaCl₂ before aerobic incubation with wheat uptake N were decreased greatly, and could not reach 5% significant level. However, the correlation coefficients between mineralizable N extracted by aerobic incubation, water logging method, boiling water method, alkaline permanganate extraction, acid permanganate extraction and NaOH hydrolyzation diffusion method with wheat uptake N were raised obviously, and all reached 5% or 1% significant level. Of which, the NH₄⁺-N mineralized by one week waterlogging and NO₃⁻-N leached by two weeks formal aerobic incubation, as well as NH₄⁺-N extracted by Conway method varied greatly. The correlation coefficients between mineralizable N and uptake N of wheat above ground raised from 0.443, 0.119, 0.259 to 0.866, 0.767, 0.763, respectively. It showed that the poor effects of mineralizable N on reflecting soil N capacity were influenced and disturbed by initial NO₃⁻-N, warning researcher to pay more attention to correctly evaluate the function of mineralizable N when soil initial NO₃⁻-N is higher.

Key words: soil; initial nitrate nitrogen; index of soil nitrogen-supplying capacity; methods of measuring soil nitrogen supplying capacity

播前土壤能供给作物的氮素主要有两部分:一是土壤中已存在的 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N,称为起始矿质 N 或已矿化 N;二是作物生长期土壤有机 N 的矿化,称为可矿化 N。在旱地,土壤已矿化 N 以 NO₃⁻-N 为主要形态,因此,用起始 NO₃⁻-N 含量作为旱地土壤供 N 能力指标引起了研究者的极大关注。许多研究表明^[1-5],用一定深度土壤起始 NO₃⁻-N 含量可以作为当季作物的供 N 指标;但用不同方法浸取的可矿化 N 来反映土壤供 N 效果报道不一。胡田田、李生秀等对几种不同方法测定的已矿化 N 和可矿化 N 指标在反映冬小麦供 N 效果上表明,一定深度土壤起始 NO₃⁻-N 在反映土壤供 N 能力效果上远优越于其它指标,而且,将土壤起始 NO₃⁻-N 和可矿化 N 共同作为供 N 指标效果更佳^[1,4,5]。为探讨起始 NO₃⁻-N 和可矿化 N 在反映土壤供 N 能力方面何者更好以及它们之间的关系,开展了本试验。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

供试土壤于 1993 年 9 月初采自陕西省的杨陵、永寿、澄城 3 个地区的土壤耕层。在每个地区尽量选取有机质、硝态 N 含量差异较大的土壤。所采鲜样经剔除石块、茎秆和根茬,过 2cm 筛后,混匀。取处理后的一部分土样用于分析土壤基本性质(表 1),余者用于盆栽试验。

1.2 盆栽试验

选用 12cm × 15cm 米氏盆,每盆装土 1.50kg,每个土样各装 10 盆,共 170 盆。装土过程中轻轻震动数次,使其达合适紧实度。装好后,土表距盆顶 2.5cm。土壤装好后,每个土样随机取出 6 盆,淋洗其起始硝态 N,其余 4 盆不淋洗。

淋洗时每盆每次均加等量的蒸馏水,土壤的淋洗液与格利斯试剂不产生颜色,即为淋洗完全^[6]。一天淋洗完。淋洗过的每个土样取 2 盆,用于分析土壤的矿质 N,了解淋洗前后的变化。

在淋洗结束后,立即给未淋洗的 68 盆加水饱和,使与淋洗过的各盆土壤水分条件一致,避免淋洗土壤和未淋洗土壤在结构和通气性方面的差异。放置 1 周后,每盆各加 100mL 浓度为 0.6 g/L 的 KH₂PO₄ 溶液(每千克土施 P 0.091 克),待土壤水分合适后播种小麦。供试小麦品种为 84—G—6,每盆播种 15 粒,待株高 6cm 左右后定苗 9 株。用无 N 蒸馏水灌溉。每次灌溉前,将渗入底盆的溶液返回原盆,再适当加水。

为了保证小麦安全过冬,于 1993 年 12 月 8 日将试盆埋于土中,露出地面 2cm。开春后将盆取出,仍置盆栽场中。小麦于 1994 年 5 月 17 日收获。收获后立即烘干(65℃, 72h),称重,分析 N 素含量。

1.3 培养试验

通气培养采用由 Stanford 等人提出的间歇淋洗通气培养法^[7]。在 35℃ 下,预培 1 周,正式培养 2 周,分别淋洗和测定起始 NO₃⁻-N,及预培和正式培养矿化出的 NO₃⁻-N。淹水培养采用 Waring & Bremner 改进的方法^[8],在 40℃ 下淹水培养 1 周,测定矿化出来的 NH₄⁺-N。

1.4 化学浸取

矿质 N 的直接浸取采用 Bremner 的 1 mol/L KCl 浸取法^[9],测定浸取液中已矿化的 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N;KCl 煮沸浸取采用 Gianello & Bremner 法^[10],用 2mol/L KCl 煮沸 4h,测定已矿化的 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N。

上述几种方法的淋洗液和浸取液中的 NH₄⁺-N,NO₃⁻-N 均用连续流动分析仪测定。

沸水浸取法采用 Livens 法^[11],加几滴 2.5mol/L CaCl₂ 溶液,以利过滤^[12]。分别测定浸取出的铵态 N,全 N 及有机 N;碱性高锰酸钾蒸馏法用 Stanford 修改了的方法^[13],分别

测定 0.25mol/L NaOH 水解出的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 。

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of soil samples for pot experiment

土样号 Soil No.	采样地点 Site	前茬 Preceding crop	有机质(%) OM	全氮(%) Tot. N	C/N	速效磷 (mg/kg) Avail. P	pH(H ₂ O)
1	澄城 Chengcheng	小麦 Wheat	1.006	0.040	14.59	8.1	7.9
2	澄城 Chengcheng	小麦 Wheat	0.904	0.043	12.19	6.6	7.8
3	澄城 Chengcheng	大豆 Soybean	0.999	0.044	13.17	7.9	8.0
4	澄城 Chengcheng	苹果 Apple	0.789	0.034	13.46	3.1	8.1
5	澄城 Chengcheng	玉米 Corn	1.035	0.039	15.39	5.6	8.0
6	澄城 Chengcheng	辣椒 Chili	0.962	0.046	12.13	3.5	8.0
7	杨陵 Yanglin	沙滩地 Sandy beach	0.573	0.026	12.78	5.5	8.0
8	杨陵 Yanglin	大豆 Soybean	1.579	0.074	12.38	25.6	8.0
9	杨陵 Yanglin	蔬菜 Vegetable	2.069	0.095	12.63	57.9	7.8
10	杨陵 Yanglin	玉米 Corn	1.321	0.073	10.50	16.3	8.1
11	杨陵 Yanglin	玉米 Corn	1.616	0.080	11.72	23.9	8.1
12	永寿 Yongshou	西瓜 Watermelon	1.351	0.059	13.28	12.5	8.1
13	永寿 Yongshou	大豆 Soybean	1.095	0.062	10.24	3.6	8.1
14	永寿 Yongshou	荞麦 Buckwheat	0.537	0.029	10.74	3.0	8.2
14	永寿 Yongshou	谷子 Millet	1.309	0.065	11.68	6.3	8.2
16	永寿 Yongshou	谷子 Millet	0.783	0.035	12.98	4.4	8.1
17	永寿 Yongshou	谷子 Millet	1.347	0.069	11.32	11.5	8.2

2 结果与分析

2.1 未淋洗起始 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 时, 矿质 N 及可矿化 N 与作物吸 N 量的关系

相关分析表明(表 2), 未淋洗起始 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 时, 作物地上部分吸收的 N 素与土壤起始 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 关系非常密切。用 KCl 直接浸取的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 与作物吸 N 量之间的相关系数为 0.934 ($n=17$), 可对作物吸 N 量给出 87.3% 的解释; 用 KCl 煮沸法浸取的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 与作物吸 N 量之间的相关系数为 0.856, 可对作物吸 N 给出 73.3% 的解释; 通气培养前淋洗出的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 与作物吸 N 量的相关系数为 0.862, 可对作物吸 N 量给出 74.3% 的解释。这 3 种方法所浸取的起始 $\text{NO}_3^- \text{-N}$, 数量上虽不完全相等, 相关系数也有或多或少的差异, 但它们都能很好的反映土壤的供 N 能力。而且, 从测定值和计算结果来看, 它们在本质上似乎无明显差别。与起始 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 相反, 培养期间矿化出来的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 以及用化学方法浸取出来的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 皆与作物的吸 N 量无这样密切的关系(表 2、表 3)。通气培养 1 周所矿化出来的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 与作物吸 N 量之间的相关系数虽然达显著水准, 但相关系数比起始 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 明显下降($r=0.704$), 仅能对作物吸 N 量给出 49.6% 的解释;

正式培养 2 周矿化出来的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 与作物之间的相关系数更低($r=0.443$), 达不到统计上的显著水准。淹水培养矿化的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 以及其它方法所浸取的可矿化 N 效果更差, 它们与作物吸 N 量之间的相关系数无一显著。

为什么测定的可矿化 N 与作物吸 N 量没有密切关系呢? 本试验所用土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 平均含量虽然不高, 但差别极大, 低者仅为 6.17mg/kg, 高者可达 61.7mg/kg, 而与此相对应的吸 N 量则分别为 6.17 g/盆和 67.01g/盆, 是不是起始 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 掩盖了可矿化 N 的效果呢? 为了回答这个问题我们进行了通径分析。在两个自变量都影响因变量, 而且两个自变量又密切相关的时候, 通径分析可以分出两个自变量对因变量的直接贡献, 也可以分出一个自变量通过另一个自变量对因变量的间接贡献。从表 4 可以看出, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 对作物吸 N 量的直接通径系数是其它矿化 N 的直接通径系数的 3~7 倍, 对作物的吸 N 量起着主导作用; 而 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 通过其它矿化 N 的间接通径系数, 即由于某一可矿化 N 的作用而使 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 作用提高所表现出来的对作物吸 N 量的贡献, 变动在 -0.0100 ~ -0.1528 之间, 并不明显。相反, 其它可矿化 N 通过 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的间接通径系数, 即由于 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的作用而使其它可矿化 N

的作用提高所表现出来的对作物吸 N 量的贡献,多数远大于 NO_3^- -N 通过其它矿化 N 的间接途径系数,有的可达 0.4180。 NO_3^- -N 的直接途径系数表明了它的主要作用;通过 NO_3^- -N 而使其它可矿化

N 效果提高,又说明了 NO_3^- -N 在间接途径系数中的作用。不管从直接途径系数或间接途径系数来看, NO_3^- -N 均主导了作物对 N 素的吸收。

表 2 土壤培养矿化 N 与小麦吸 N 量的相关系数

Table 2 The Correlation coefficients between soil mineralizable N after incubation with wheat uptake N

项目 Item	通气培养 Aerobic incubation					淹水培养 Waterlogged incubation
	1	2	3	4	5	6
	未淋洗土壤 Soils without leaching					
地上部 Shoot	0.862	0.704	0.443	0.62	0.777	0.119
整株 Plant	0.863	0.692	0.456	0.619	0.785	0.251
	淋洗土壤 Soils being leached					
地上部 Shoot	0.557	0.663	0.767	0.643	0.640	0.866
整株 Plant	0.684	0.530	0.695	0.638	0.668	0.832

注:1-起始 NO_3^- -N;2-预培1周的 NO_3^- -N;3-正式培养2周矿化的 NO_3^- -N;4-2+3;5-1+2+3;6-淹水培养矿化的 NH_4^+ -N,下同。
 $r_{0.05}=0.482$, $r_{0.01}=0.606$ 。

Note: 1- Initial NO_3^- -N; 2- NO_3^- -N extracted by one week pre incubation; 3- NO_3^- -N mineralized by two weeks formal aerobic incubation; 4- 2+3; 5- 1+2+3; 6- NH_4^+ -N extracted by one week water logging method.

表 3 土壤化学浸取 N 与小麦吸 N 量的相关系数

Table 3 The Correlation coefficients between soil chemical extracted N with wheat uptake N

供 N 指标 N supplying indexes	未淋洗土壤 Soils without leaching		淋洗土壤 Soils being leached	
	地上部吸 N 量 Uptaked N by shoot	整株吸 N 量 Uptaked N by plant	地上部吸 N 量 Uptaked N by shoo	整株吸 N 量 Uptaked N by plant
7	0.856	0.868	0.356	0.441
8	0.265	0.254	0.558	0.454
9	0.841	0.838	0.579	0.507
10	0.465	0.469	0.820	0.732
11	0.419	0.359	0.709	0.735
12	0.397	0.403	0.726	0.711
13	0.298	0.291	0.766	0.824
14	0.438	0.423	0.461	0.583
15	0.298	0.422	0.593	0.719
17	0.169	0.205	0.763	0.697
18	0.186	0.153	0.570	0.574
19	0.128	0.091	0.771	0.639
16	0.259	0.424	0.714	0.778
20	0.934	0.927	0.441	0.344
21	0.183	0.194	-0.387	-0.346

注:7,8,9 分别代表 2 mol/L KCl 煮沸浸取的硝态 N,铵态 N 及两者之和;10,11,12 代表碱性高锰酸钾水解出的铵态 N(B),水解-氧化释放出的铵态 N(BOX),在碱性条件下氧化释放出的铵态 N(BOX-B);13,14,15 代表酸性高锰酸钾水解出的铵态 N(H),高锰酸钾在酸性条件下氧化出的铵态 N(HOX)及两者之和;16 代表 1 mol/L NaOH 碱解扩散出的铵态 N;17,18,19 分别为沸水浸取的铵态 N,全 N,有机 N;20,21 为 KCl 直接浸提的 NO_3^- -N 和铵态 N,下同。 $r_{0.05}=0.482$, $r_{0.01}=0.606$ 。

Note: 7- NO_3^- -N extracted by 2 mol/L KCl boiling method; 8- NH_4^+ -N extracted by 2 mol/L KCl boiling method; 9- 7+8; 10- NH_4^+ -N hydrolyzed by alkaline permanganate method; 11- NH_4^+ -N extracted by hydrolyzation and oxidation-reduction of alkaline permanganate method; 12- NH_4^+ -N extracted by oxidation-reduction of alkaline permanganate method; 13- NH_4^+ -N hydrolyzed by acid permanganate method; 14- NH_4^+ -N extracted by oxidation of acid permanganate method; 15- 13+14; 16- NH_4^+ -N extracted by 1 mol/L NaOH hydrolyzation diffusion method; 17- NH_4^+ -N extracted by boiling water method; 18- Total N extracted by boiling water method; 19- Organic N extracted by boiling water method; 20- NO_3^- -N extracted by 1 mol/L KCl directly; 21- NH_4^+ -N extracted by 1 mol/L KCl directly.

表4 未淋洗土壤起始 NO_3^- -N(X_1)及可矿化 N(X_2)对小麦吸 N量(Y)的通路系数

Table 4 The path coefficients between initial nitrate and mineralizable N in soils without leaching with amount of N uptaken by wheat

通路 Paths	2	3	6	16	7	10	11	12	13	14	15	17	18	19
直接通路系数 Direct path coefficients														
$X_1 \rightarrow Y$	0.781	0.881	0.951	0.874	0.917	0.882	0.883	0.890	0.910	0.884	0.879	0.944	0.945	0.940
$X_2 \rightarrow Y$	0.286	0.158	0.200	0.303	0.180	0.143	0.204	0.177	0.147	0.128	0.204	0.213	0.220	0.160
间接通路系数 Indirect path coefficients														
$X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow Y$	0.153	0.053	-0.017	0.060	0.017	0.052	0.052	0.044	0.024	0.051	0.055	-0.010	-0.010	0.005
$X_2 \rightarrow X_1 \rightarrow Y$	0.418	0.297	-0.056	0.173	0.086	0.322	0.224	0.221	0.149	0.350	0.236	-0.044	0.220	0.160

为了了解可矿化 N 效果不佳是否是起始 NO_3^- -N 影响的结果,我们以作物吸 N 量为因变量,以任一方法测定的可矿化 N 为自变量进行了偏相关分析。偏相关分析可以在固定起始 NO_3^- -N 的情况下,也就是在排出 NO_3^- -N 干扰的情况下,考察可矿化 N 的效果;也可以在固定可矿化 N 的情况下来考察 NO_3^- -N 的效果,从而对各种 N 源的作用和效果做出更客观、更全面的评价。偏相关分析表明(表 5、表 6),固定起始 NO_3^- -N 后,其它方法测定的 NO_3^- -N,如 KCl 煮沸是所浸取的 NO_3^- -N,通气培养前用 CaCl_2 所淋洗的 NO_3^- -N,预培 1 周、正式培养 2 周所矿化的 NO_3^- -N 与作物吸 N 量之间的偏相关系数均比简单相关系数明显下降。下降最突出的是 KCl 煮沸所浸取出来的及培养前淋洗出来的

NO_3^- -N,它们与作物吸 N 量的偏相关系数分别为 -0.170 和 0.099。固定通气培养前淋洗的 NO_3^- -N 或 KCl 煮沸法浸取的 NO_3^- -N,起始 NO_3^- -N 与作物吸 N 量间的偏相关系数也比简单相关系数降低。不同方法浸取的 NO_3^- -N 互有影响,从正反两方面说明了起始 NO_3^- -N 与上述两种方法所浸取的 NO_3^- -N 无本质差异。固定预培 1 周及正式培养 2 周所矿化的 NO_3^- -N,对起始 NO_3^- -N 的效果无明显影响;固定起始 NO_3^- -N 后,这两个培养阶段所矿化出来的 NO_3^- -N 与作物吸 N 量之间的偏相关系数也与简单相关系数无多大差别,说明了它们对作物吸 N 量都有较重要的贡献,矿化出来的 N 素确实有一定作用。

表5 土壤培养矿化 N,起始 NO_3^- -N 与小麦吸 N 量之间的一级偏相关系数Table 5 The first partial coefficients between mineralizable N and initial NO_3^- -N in soils with wheat uptake N

固定矿化氮 Mineral N	通气培养 Aerobic incubation				淹水培养 Waterlogged incubation		起始 NO_3^- -N Initial NO_3^- -N
	1	2	3	4	5	6	20
未淋洗土壤 Soils without leaching							
1	-	0.636	0.197	0.475	-0.521	0.353	0.876
2	0.601	-	-0.160	-0.196	0.521	-0.360	0.929
3	0.586	0.616	-	0.528	0.789	-0.031	0.931
4	0.574	0.474	-0.294	-	0.610	-0.278	0.942
5	0.051	0.268	-0.494	0.088	-	-0.024	0.867
6	0.706	0.732	0.404	0.624	0.763	-	0.976
20	0.099	0.676	0.417	0.670	0.476	0.805	-
淋洗土壤 Soils being leached							
1	-	0.360	0.515	0.477	0.485	0.774	-0.015
2	0.362	-	0.508	0.508	0.522	0.823	0.406
3	0.130	0.078	-	0.079	0.140	0.719	0.134
4	0.179	-0.264	0.263	-	0.214	0.768	0.277
5	0.024	-0.218	0.205	-0.066	-	0.755	0.185
6	0.348	0.542	0.457	0.533	0.530	-	0.264
20	0.564	0.655	0.706	0.705	0.704	0.843	-

注(Note): $r_{0.05} = 0.497, r_{0.01} = 0.623$

表 6 土样化学浸取 N, 起始 NO_3^- -N 与小麦吸 N 量之间一级偏相关系数

Table 6 The first coefficients between chemical extracted N and initial nitrate with wheat uptake N

固定矿 化氮 Mineral N	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	未淋洗土样 Soils without leaching												
7	-	0.304	0.240	0.380	0.373	0.097	0.275	0.337	0.588	0.295	0.339	0.258	0.719
8	0.866	-	0.431	0.348	0.307	0.169	0.412	0.364	0.438	0.101	0.041	0.005	0.947
10	0.832	0.184	-	0.275	0.305	-0.048	0.443	0.283	0.331	0.059	-0.098	-0.123	0.929
11	0.855	-0.017	0.338	-	-0.099	0.027	0.297	0.173	0.252	0.001	-0.032	-0.032	0.944
12	0.859	0.062	0.395	0.197	-	0.111	0.320	0.231	0.294	0.055	-0.033	0.015	0.940
13	0.850	0.101	0.380	0.324	0.297	-	0.397	0.347	0.391	0.057	-0.109	-0.123	0.94
14	0.832	0.015	0.429	0.186	0.143	0.061	-	0.151	0.256	0.044	-0.111	-0.128	0.931
15	0.847	-0.016	0.326	0.129	0.107	-0.067	0.254	-	0.252	0.032	-0.228	-0.235	0.943
16	0.885	-0.170	0.313	0.102	0.070	-0.018	0.260	0.153	-	-0.138	-0.202	-0.142	0.974
17	0.871	0.230	0.443	0.398	0.368	0.253	0.455	0.413	0.468	-	0.128	0.128	0.957
18	0.875	0.206	0.447	0.397	0.363	0.264	0.462	0.460	0.484	0.119	-	-0.117	0.958
19	0.870	0.234	0.464	0.412	0.379	0.294	0.478	0.475	0.479	0.169	0.168	-	0.947
20	-0.17	0.499	0.397	0.551	0.480	0.406	0.441	0.551	0.831	0.597	0.617	0.449	-
	淋洗土样 Soils being leached												
7	-	0.484	0.759	0.726	0.593	0.769	0.372	0.559	0.723	0.544	0.750	0.690	0.289
8	0.187	-	0.724	0.629	0.443	0.680	0.402	0.527	0.638	0.349	0.710	0.677	0.326
10	0.184	-0.001	-	0.150	0.106	0.419	0.033	0.170	0.687	0.470	0.506	0.406	0.325
11	-0.13	-0.040	-	-	-0.318	0.477	-0.011	0.168	0.158	0.465	0.508	0.405	0.050
12	-0.04	0.134	0.652	0.579	-	0.554	0.091	0.271	0.531	0.641	0.564	0.463	0.165
13	0.376	0.322	0.589	0.470	0.233	-	-0.318	-0.319	0.522	0.304	0.433	0.350	0.454
14	0.291	0.542	0.774	0.700	0.562	0.739	-	0.738	0.703	0.512	0.711	0.631	0.373
15	0.286	0.485	0.715	0.614	0.443	0.655	-0.655	-	0.637	0.445	0.617	0.523	0.373
16	-0.10	-0.152	0.473	0.169	-0.183	0.530	0.113	0.275	-	0.402	0.517	0.430	0.133
17	0.309	0.324	0.789	0.718	0.586	0.667	0.329	0.478	0.694	-	0.683	0.684	0.352
18	0.253	0.398	0.633	0.488	0.232	0.416	-0.073	0.093	0.495	0.336	-	-0.331	0.364
19	0.273	0.491	0.666	0.540	0.316	0.513	0.010	0.200	0.554	0.519	0.515	-	0.392
20	-0.11	0.486	0.798	0.696	0.565	0.770	0.362	0.552	0.700	0.515	0.750	0.695	-

注(Note): $r_{0.05} = 0.497$, $r_{0.01} = 0.623$

固定 NO_3^- -N 后, 其它方法所测定的可矿化 N 与作物吸 N 量之间的偏相关系数远高于简单相关系数。效果最明显的是淹水培养所矿化的 NH_4^+ -N, 以及碱解扩散法所碱解的 NH_4^+ -N, 它们与作物吸 N 量之间的偏相关系数均在 0.80 以上(表 5、表 6)。KCl 煮沸法, 碱性高锰酸钾, 沸水浸取法所浸取的可矿化 N 与此有相同趋势, 好几项测定值与作物吸 N 量之间偏相关系数都达到显著水准。说明了起始 NO_3^- -N 确实掩盖了各种方法所测定的可矿化 N 的效果。同样, 固定不同方法所测定的可矿化 N 后, 起始 NO_3^- -N 与作物吸 N 量之间的偏相关系数也大多大于其简单相关系数, 证明了可矿化 N 也影响着 NO_3^- -N 的效果, 只是这种影响远不如 NO_3^- -N 对可矿化 N 的影响突出。

2.2 淋洗 NO_3^- -N 后, 矿质 N 及可矿化 N 反映土

壤供 N 能力的效果

以上从统计分析角度讨论了 NO_3^- -N 含量对可矿化 N 在反映土壤供 N 能力方面的影响。这种分析, 揭示了一些问题, 但毕竟是间接的。要证明上述方法测定的可矿化 N 是否有实际意义, 能否反映土壤的供 N 能力, 最简单、也是最根本的方法, 就是排除 NO_3^- -N 的干扰, 创造可矿化 N 能够发挥作用的条件。只有在这种情况下, 才可以判定各种测定可矿化 N 方法的优劣及实用价值。基于这种设想, 我们在用未淋洗土壤进行盆栽试验的同时, 也安排了用淋洗 NO_3^- -N 后的土壤进行盆栽试验。可以设想, 如果淋洗了 NO_3^- -N, 某些测定的可矿化 N 与作物吸 N 量的相关系数明显提高, 则证明了这些方法测定的可矿化 N 能反映土壤有机 N 的真正矿化过程, 也可以证明未淋洗 NO_3^- -N 时可矿化氮效果不

佳是由于起始 NO_3^- -N 干扰的结果。由于起始 NO_3^- -N 的作用,它们的效果暂时不表现出来,但以后总会表现出来的。相反,某些方法的测定结果与 NO_3^- -N 存在时的作物吸 N 量无关,也与 NO_3^- -N 淋洗后作物的吸 N 量无关,则证明了这些方法的测定值不能反映土壤有机 N 的矿化过程。

从表 2、表 3 可以看出,淋洗后,即使 NO_3^- -N 并未全部除去, NO_3^- -N 的作用和影响已基本消除,淋洗后土壤残存的 NO_3^- -N 与淋洗土壤小麦吸 N 量之间的相关系数也大大降低:残存起始 NO_3^- -N 与作物地上部吸 N 量之间的相关系数为 0.441;KCl 煮沸法所浸取的残存 NO_3^- -N 与作物地上部吸 N 量之间的相关系数为 0.366。不但相关系数低,而且达不到 5% 的显著水准,因而这种结果是不可靠的。通气培养前 CaCl_2 淋洗出的 NO_3^- -N 虽与作物地上部吸 N 量之间达 5% 的显著水准,但相关系数不高,仅能对作物吸 N 量给出 31.0% 的解释。与此相反,各种方法所测定的可矿化 N(既在作物生长期可矿化出来的 N 素),如通气正式培养 2 周所产生的 NO_3^- -N,淹水培养所产生的 NH_4^+ -N,KCl 煮沸所浸取出来的 NH_4^+ -N 等与作物地上部吸 N 量之间的相关系数显著增高。由表 4、表 5 可见,除在酸性条件下高锰酸钾氧化释放的 NH_4^+ -N(HOX)为 0.461,达不到显著水准外,其它方法浸取的可矿化 N 与作物吸 N 量之间的相关系数均达到 5% 或 1% 以上显著水平。而且,虽然酸性高锰酸钾氧化释放的 NH_4^+ -N(HOX)与作物地上部吸 N 量达不到显著水平,但其与整株作物吸 N 量之间的相关系数也超过 5% 以上显著水准($r=0.583, n=17$)。其中变化较明显的是淹水培养矿化 N 与作物地上部吸 N 量之间的相关系数由未淋洗时的 0.119 增加到 0.866,可对作物吸 N 量给出 75.0% 的解释;通气正式培养 2 周所矿化的 N 素与作物地上部吸 N 量之间的相关系数由未淋洗时的 0.443 上升到 0.767,可对作物吸 N 量给出 58.8% 的解释;碱解扩散 N 与作物地上部吸 N 量之间的相关系数由未淋洗时的 0.259 增加到 0.763,可对作物吸 N 量给出 58.2% 的解释。碱性高锰酸钾法,沸水浸取法及酸性高锰酸钾法所浸取的可矿化 N 与作物吸 N 量之间的相关性也明显升高。

进一步对淋洗土壤进行偏相关分析表明(表 5、表 6),固定残存的起始 NO_3^- -N 后,不同方法测定的可矿化 N 与作物吸 N 量之间的一级偏相关系数均

较简单相关系数有所下降,但下降程度不大;固定可矿化 N 后,残存起始 NO_3^- -N 与作物吸 N 量之间的一级偏相关系数较之简单相关系数也有下降,下降程度亦不明显。

土壤经淋洗后,不同方法所测定的可矿化 N 与作物吸 N 量之间相关系数的明显提高及其一级偏相关系数的变化,对我们的推断提供了直接、可靠的证据。试验结果不但证明了可矿化 N 对作物的作用和效果,也肯定了 NO_3^- -N 对可矿化 N 的干扰和影响。说明在土壤 NO_3^- -N 含量较高的情况下,要正确评价可矿化 NO_3^- -N 的测定方法必须考虑 NO_3^- -N 的干扰。

3 结语

3.1 未淋洗土壤起始 NO_3^- -N 时,用 KCl 直接浸取的起始 NO_3^- -N,KCl 煮沸法所浸取的起始 NO_3^- -N 以及通气培养前 CaCl_2 所淋洗的起始 NO_3^- -N 均与小麦吸 N 量密切相关,相关系数分别为 0.934, 0.856 和 0.862,均达 1% 显著水准。与此相反,通气培养、淹水培养、沸水煮沸、碱性高锰酸钾、酸性高锰酸钾及碱解扩散等方法所提取的可矿化 N 与小麦吸 N 量之间相关性则不高。

3.2 淋洗起始 NO_3^- -N 后,用 KCl 直接浸取的起始 NO_3^- -N,KCl 煮沸法所浸取的起始 NO_3^- -N 以及通气培养前 CaCl_2 所淋洗的起始 NO_3^- -N 与小麦吸氮量之间的相关系数明显降低,达不到 5% 的显著水准。而通气培养、淹水培养、沸水煮沸、碱性高锰酸钾、酸性高锰酸钾及碱解扩散等方法所提取的可矿化 N 与小麦吸 N 量之间相关系数却明显提高,都达到 5% 或 1% 的显著水平。其中变化最明显的是淹水培养 1 周矿化出的 NH_4^+ -N、通气正式培养 2 周矿化出的 NO_3^- -N 及碱解扩散出的 NH_4^+ -N。

3.3 在土壤 NO_3^- -N 含量较高的情况下,要正确评价可矿化氮测定方法必须考虑 NO_3^- -N 的作用。

参考文献:

- [1] 胡田田,李生秀. 土壤供氮能力测试方法的研究 IV. 土壤剖面中的起始 NO_3^- -N 一可靠的土壤氮素有效性指标[J]. 干旱地区农业研究,1993,(增刊):74-82.
- [2] 邵则瑶,杨海顺,朱明仪,刘连贵. 小麦耕层土壤剖面残留无机态氮的研究[J]. 北京农业大学学报,1988,(4):420-429.
- [3] Gianallo and Bremner(王涌清译). 估算土壤潜在有效有机氮化学方法的比较[J]. 国外农学-土壤肥料,1987,(2):54-59.
- [4] 李生秀. 关于土壤供氮指标研究 I. 对几种测定土壤供氮能力

- 方法的评价[J]. 土壤学报,1990,27(3):233-240.
- [5] 李生秀,付会芳,袁虎林,肖俊璋. 几种测氮方法在反映土壤供氮能力方法能力方面的效果[J]. 土壤,1990,22(4):194-197.
- [6] 布仑纳 J M [美](曹亚澄译). 土壤氮素分析法[M]. 北京:农业出版社,1981.104-126.
- [7] Stanford G and Smith S J. Nitrogen mineralization potentials of soils [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1972, 36:465-472.
- [8] Keeney D R and Bremner J M. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability[J]. Agronomy J., 1966, 58:498-503.
- [9] Bremner J M. Nitrogen availability indexes[A]. In : Black C A (ed.). Methods of soil analysis, Part 2[M]. Am Soc. of Agron., Madison. Wis., 1965. Agronomy 9:1324-1345.
- [10] Gianello C, Bremner T M. A simple method of assessing potential available organic nitrogen in soil[J]. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 1986, 17(2):195-214.
- [11] Livens J. Studies concerning ammoniacal and organic soil nitrogen soluble in water[J]. Agricultura(In French), 1959, 7:519-532.
- [12] Bronner H and Bachler W. Evaluating the nitrogen requirements of sugar beet from hydrolyzable soil nitrogen[J]. Soil Sci., 1980, 130:303-306.
- [13] Stanford G. Extractable of ammonium release by alkaline permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability[J]. Soil Sci., 1978, 126:244-258.
- [14] Stanford G and Smith S J. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction[J]. Soil Sci., 1978, 126: 210-216.
- [15] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1987. 33-66.