

旱地土壤氮素、有机质状况及与作物吸氮量的关系

杜建军¹, 王新爱¹, 王夏晖², 李生秀², 高亚军², 胡田田²

(1 仲恺农业技术学院 植物营养与新型肥料研究室, 广东 广州 510225;

2 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 在具有典型半干旱气候特征的陕西永寿选取 6 种不同肥力水平的田块, 分层采集 0~100 cm 土样, 测定各土层可矿化氮、全氮及有机质含量, 研究其与作物吸氮量之间的关系。结果表明, 各土层可矿化氮、全氮及有机质之间存在着良好的相关性。可矿化氮与作物吸氮量之间的相关程度高于与全氮、有机质间的相关性, 可矿化氮加上土壤起始矿质氮后, 相关系数更高。0~45 cm 土层的可矿化氮、全氮、有机质与作物吸氮量的相关性高于 45 cm 以下的土层, 且以 30~45 cm 土层的为最好; 以土壤全氮或有机质作为评价土壤供氮能力的指标, 效果不如可矿化氮。

关键词: 可矿化氮; 土壤全氮; 有机质; 作物吸氮量

中图分类号: S143.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2005)01-0011-05

The relationship between soil N, organic matter and N uptaken by crops on dryland

DU Jian-jun¹, WANG Xin-ai¹, WANG Xia-hui², LI Sheng-xiu², GAO Ya-jun², HU Tian-tian²

(1 Laboratory of Plant Nutrition and New Fertilizer, Zhongkai University of Agriculture and Technology, Guangzhou 510225, China;

2 College of Resources and Environmental Science, Northwestern Science and Technology

University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract: Six arable soils with different fertility in Yongshou county, Shaanx Province with typical semiarid-climate characters were chosen. Soils were sampled at different depth within 0—100 cm before sowing. The content of mineralizable nitrogen (MAN), total nitrogen (TN) and organic matter (OM) at different depth of soils were analysed to study the relationships between these three indices and crop uptake of nitrogen (CUN). The results showed that there were good correlations among MAN, TN and OM in different soil layers. The correlation between MAN and CUN was higher than that between MAN and TN, as well as MAN and OM. The correlation coefficient between the sum of MAN plus initial mineral nitrogen in soils and CUN was higher than that between MAN and CUN. MAN, TN and OM had higher correlation to CUN at the depth of 0—45 cm than that at the depth below 45 cm, and the correlation was the highest at the depth of 30—45 cm. As an index to evaluate soil nitrogen availability, MAN was better than TN or OM (or modified value).

Key words: mineralizable nitrogen; total nitrogen; organic matter; crop uptake of nitrogen

在反映旱地土壤供氮能力的各种方法中, 短期通气培养法是较理想的方法^[1~3]。土壤有机氮是土壤矿化氮的直接来源, 一些研究表明, 耕层土壤矿化氮与土壤全氮、有机质含量之间存在着良好的相关性^[3~5], 因此, 有人认为, 测定土壤全氮或有机质(或加以校正)含量来估测土壤的供氮水平, 可避免测定

土壤可矿化氮的麻烦^[3,6]。但由于作物吸收的氮素并不局限在耕层, 而且旱地土壤常累积有大量的矿质氮, 如果只采取耕层土样进行测定, 又不考虑土壤起始矿质氮, 则供氮量的预测很难准确^[1,7]。而且, 耕层以下土壤全氮、有机质与可矿化氮及作物吸氮量是否有良好的相关性, 还是一个值得研究的问题。

探讨土壤不同层次可矿化氮、全氮、有机质含量之间及其与作物吸氮量间的关系,对于正确评价土壤的供氮能力很有帮助. 本文报道这方面的研究结果.

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤采自陕西永寿县进行肥效试验的 6 个

不同肥力水平田块的无肥小区(分别以 01, 02, 03, 04, 05, 06 表示). 供试作物为小麦. 播前由 0~100 cm 的土层按 0~15, 16~30, 31~45, 46~60, 61~80, 81~100 cm 6 个层次分别采样, 土样采回后, 风干、磨细, 分别过 1.00 和 0.15 mm 筛, 用于培养和分

析试验, 土壤基本性质见表 1.

表 1 供试土壤的基本性质
Tab. 1 The properties of soil tested

土壤 编号 soil No.	土层 layer / cm	w(全氮 total N) / (g·kg ⁻¹)	w(有机质 organic matter) / (g·kg ⁻¹)	w(起始矿质氮 initial mineral N) / (mg·kg ⁻¹)		w(培养矿化 NO ₃ ⁻ -N ¹) mineralized NO ₃ ⁻ -N / (mg·kg ⁻¹)			作物吸氮量 N uptaken by crops / (kg·hm ⁻²)
				NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	1 周 1 week	2 周 2 weeks	3 周 3 weeks	
01	0~15	1.14	12.75	16.6	5.2	32.6	22.7	55.3	46.2
	16~30	0.97	11.24	10.0	9.3	28.3	16.1	44.4	
	31~45	0.84	9.27	8.8	9.2	18.0	7.8	25.8	
	46~60	0.75	8.00	9.7	5.6	2.9	5.9	8.8	
	61~80	0.67	7.87	6.4	3.8	3.9	4.9	8.8	
	81~100	0.65	7.78	6.8	1.4	2.1	3.5	5.6	
02	0~15	0.96	10.91	9.5	5.2	24.4	12.1	26.5	27.9
	16~30	0.80	8.97	6.0	4.4	6.4	8.8	15.3	
	31~45	0.60	6.51	4.7	6.7	4.5	2.8	7.3	
	46~60	0.53	6.30	7.6	5.9	2.1	2.2	4.3	
	61~80	0.49	5.68	6.7	1.6	0.5	2.3	2.8	
	81~100	0.46	5.04	5.7	2.1	0.8	0.0	0.8	
03	0~15	0.81	9.19	6.4	5.7	24.0	12.1	36.1	36.6
	16~30	0.74	8.42	4.3	12.6	13.3	6.5	19.4	
	31~45	0.62	6.71	5.4	8.5	4.6	2.9	7.5	
	46~60	0.48	5.34	4.4	6.6	0.9	1.2	2.1	
	61~80	0.46	5.27	4.1	4.3	1.0	1.1	2.1	
	81~100	0.44	5.62	3.8	2.0	1.9	1.1	3.0	
04	0~15	0.75	8.85	8.7	5.5	12.4	9.4	55.3	37.95
	16~30	0.69	7.20	7.2	3.4	1.7	2.7	44.4	
	31~45	0.56	6.27	7.3	2.6	1.7	2.4	25.8	
	46~60	0.45	5.31	6.9	3.7	0.5	0.6	8.8	
	61~80	0.41	5.18	6.2	3.6	0.4	0.1	8.8	
	81~100	0.40	5.00	6.3	3.8	0.4	0.0	5.6	
05	0~15	1.21	14.16	6.4	11.1	31.2	26.8	58.0	46.20
	16~30	1.03	11.87	6.2	14.5	20.2	12.9	33.1	
	31~45	0.87	10.01	6.2	16.8	20.2	6.9	27.1	
	46~60	0.64	8.44	4.6	14.3	8.3	6.1	14.4	
	61~80	0.59	7.46	3.5	8.7	6.0	6.4	12.4	
	81~100	0.50	6.49	3.4	3.2	2.0	1.1	3.1	
06	0~15	0.84	9.36	8.8	4.2	22.6	9.0	31.0	24.15
	16~30	0.77	8.00	7.8	4.6	6.3	5.5	11.8	
	31~45	0.58	6.94	6.4	5.7	2.1	2.5	4.6	
	46~60	0.51	5.93	6.4	4.8	0.8	1.3	2.1	
	61~80	0.45	5.66	5.9	2.3	1.5	1.5	3.0	
	81~100	0.43	5.73	6.5	1.8	1.2	0.4	1.6	

1) 1 周为预培养; 2 周为正式培养; 3 周为预培养+正式培养
©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.2 矿化氮的测定与化学分析

矿化氮的测定用 Stanford 等^[8] 的短期好气培养法, 并略作改进: 称取 15.00 g 土样和等量石英砂 (1 mm< d<2 mm), 加少量蒸馏水, 湿润后充分混匀, 使形成具有良好结构的土砂混合物, 将此混合物移入预先装有一个玻璃珠和 15 g 石英砂且垫一层玻璃丝的 50 mL 塑料注射器(淋洗管)内, 上盖一层玻璃丝及石英砂(避免淋洗时土壤分散), 装好后轻振几下, 用 100 mL 0.01 mol/L CaCl₂ 溶液分 4 次淋洗土壤中矿质氮, 加入 25 mL 无氮营养液(0.002 mol/L Ca-SO₄, 0.002 mol/L MgSO₄, 0.005 mol/L Ca(H₂PO₄)₂, 0.002 5 mol/L K₂SO₄), 加盖橡皮塞, 多余的水分在 8 kPa 负压下抽去, 然后拔掉橡皮塞用塑料薄膜密封管口, 并在薄膜上扎 2 个小孔(用于通气). 置(35±1) °C 恒温箱中培养. 预培养 1 周后如上述法淋洗. 加无氮营养液, 抽气. 之后, 培养 2 周, 再淋洗其矿化氮, 收集各次淋洗液, 测定其中的矿质氮.

土壤矿质氮用 Bremner 法^[9] 提取, 连续流动分析仪测定, 土壤、植物全氮用半微量开氏法测定, 有机质采用重铬酸钾硫酸外加热法测定^[10].

2 结果与分析

2.1 土壤可矿化氮与作物吸氮量的关系

在土壤基础供氮量中, 可矿化氮与起始矿质氮同样重要. 起始矿质氮反映土壤供氮现状, 可矿化氮则反映土壤的供氮潜势. 对旱地耕层土壤(0~20 cm)的研究表明, 它们与作物吸氮量间均有良好的相关性^[1~3, 11], 但这种关系是否也存在于耕层以下土层呢? 短期好气培养矿化 1 周、2 周及 3 周的矿化的 NO₃⁻-N(NH₄⁺-N 甚微, 未计算)与作物吸氮量的相关分析(表 2)结果表明, 虽然表层土壤矿化氮量最高, 但与作物吸氮量的相关系数并非最大, 最大值出现在 31~45 cm 土层, 而且培养 1、2、3 周的矿化氮量均与作物吸氮量达 5% 显著水平, 表层土壤仅 2 周矿化氮量达 5% 显著水平, 其他层次的相关系数虽有所降低, 但大部分接近 5% 显著水平. 整体观之, 0~45 cm 土层可矿化氮与作物吸氮量的相关性要高于 45 cm 以下土层.

朱兆良^[7] 指出, 在研究水稻土或旱作土壤的氮素矿化时, 人们通常只注意到耕层, 这是不够的, 因为即使是对同一类型土壤, 耕层以下土层的供氮量也常相差很大. 只采取耕层土样进行测定, 则必然存在着预测偏差较大的可能性. 考虑作物由深层土壤吸氮的实际情况, 笔者对不同深度各土层可矿化氮的累加量与作物吸氮的关系进行了相关分析(表 2). 结果表明, 各土层矿化的 NO₃⁻-N 累加量与作物吸氮

量之间仍有一定的相关性, 2 周矿化量与吸氮量相关系数在 0.75 以上, 接近 5% 显著水平.

表 2 各土层矿化的 NO₃⁻-N 及其累加量与作物吸氮量的相关系数¹⁾

Tab. 2 The correlation coefficients between different layers mineralized NO₃⁻-N, the sum of different layers mineralized NO₃⁻-N and N uptaken by crops

土层 layer / cm	培养时间 ²⁾ incubation time			平均 average
	1 周	2 周	3 周	
	1 week	2 weeks	3 weeks	
0~15	0.476	0.816 *	0.757	0.683
16~30	0.747	0.627	0.718	0.697
31~45	0.814 *	0.817 *	0.818 *	0.816 *
46~60	0.606	0.731	0.694	0.677
61~80	0.718	0.646	0.690	0.685
81~100	0.584	0.664	0.672	0.640
平均 average	0.658	0.717	0.725	0.700
0~30	0.649	0.762	0.708	0.706
0~45	0.720	0.774	0.744	0.746
0~60	0.728	0.769	0.747	0.748
0~80	0.733	0.752	0.744	0.743
0~100	0.732	0.761	0.746	0.746
平均 average	0.712	0.764	0.738	0.738

1) $r_{0.01}=0.917$, $r_{0.05}=0.811$, $n=6$; 2) 1 周为预培养; 2 周为正式培养; 3 周为预培养+正式培养

考虑到旱地土壤种植作物时常累积有一定数量的起始矿质氮(NH₄⁺-N+NO₃⁻-N), 把各层培养矿化的 NO₃⁻-N、各层累加量与起始矿质氮分别相加, 计算两者之和与作物吸氮量的相关系数(表 3). 与表 2 相比, 分层情况下, 相关系数在上层升高而在下层下降. 这与上层土壤累积有较多的矿质氮并与作物吸氮量的相关性较好有关^[12]; 层间累加情况下, 相关系数绝大多数在 0.75 以上, 甚至达 0.8, 更接近 5% 显著水平. 以上结果说明, 起始矿质氮(特别是上层)对作物吸氮量有重要贡献.

2.2 土壤全氮与可矿化氮及作物吸氮量间的关系

有机氮既是土壤全氮的主体, 又是土壤可矿化氮的源泉, 土壤有机氮的矿化, 不仅取决于有机氮含量及其组成^[13], 而且也取决于土壤水热条件^[14, 15]. 耕作土壤, 从表层至深层, 有机氮状况存在差异, 这些差异必然在土壤可矿化氮上有所反映. 通过对 0~100 cm 各土层全氮与矿化氮的横向(不同土壤同一土层)(表 4)与纵向(同一土壤不同土层)(表 5)分别进行相关分析, 可以看出: 横向分析, 各土层全氮与可矿化氮之间的相关系数大多数达到显著或极显著水平, 其中上 3 层的全氮与培养 1、2、3 周的矿

化氮的相关系数均达到 5%显著水平以上,下 3 层相关系数有所降低. 相关系数最大值出现在 31~45 cm. 这与 2.1 中可矿化氮与作物吸氮量的规律是一致的. 纵向分析表明,除 04 号土壤全氮与 1 周矿化氮未达到 5%显著水平外,其余土壤均达到了 5%显著或 1%极显著水平.

表 3 各土层矿化的 NO₃⁻-N 及其累加量与起始矿质氮之和与作物吸氮量的相关系数¹⁾

Tab. 3 The correlation coefficients between different layers mineralized NO₃⁻-N, the sum of different layers mineralized NO₃⁻-N and initial mineral N and N uptaken by crops

土层 layer/cm	培养时间 ²⁾ incubation time			平均 average
	1 周	2 周	3 周	
	1 week	2 weeks	3 weeks	
0~15	0.586	0.819 *	0.778	0.728
16~30	0.775	0.749	0.752	0.759
31~45	0.795	0.786	0.804	0.795
46~60	0.628	0.688	0.672	0.663
61~80	0.794	0.764	0.754	0.771
81~100	0.616	0.356	0.554	0.360
平均 average	0.623	0.694	0.719	0.679
0~30	0.715	0.800	0.740	0.752
0~45	0.760	0.802	0.767	0.776
0~60	0.761	0.790	0.765	0.772
0~80	0.775	0.793	0.770	0.779
0~100	0.781	0.802	0.776	0.786
平均 average	0.758	0.797	0.764	0.773

1) $r_{0.01}=0.917, r_{0.05}=0.811, n=6$; 2) 1 周为预培养; 2 周为正式培养; 3 周为预培养+正式培养

表 4 不同土壤同一土层全氮与可矿化氮的相关系数¹⁾

Tab. 4 The correlation coefficients between total N and mineralizable N in the same layer of different soils

土层 layer/cm	培养时间 ²⁾ incubation time			平均 average
	1 周	2 周	3 周	
	1 week	2 weeks	3 weeks	
0~15	0.889 *	0.950 **	0.892 *	0.910 *
16~30	0.847 *	0.922 **	0.885 *	0.885 *
31~45	0.998 **	0.980 **	0.998 **	0.992 **
46~60	0.589	0.939 **	0.783	0.770
61~80	0.804	0.894 *	0.862 *	0.853 *
81~100	0.672	0.939 **	0.893 *	0.835 *
平均 average	0.800	0.939 **	0.886 *	0.874 *

1) $r_{0.01}=0.917, r_{0.05}=0.811, n=6$; 2) 1 周为预培养; 2 周为正式培养; 3 周为预培养+正式培养

表 6 列出了各土层及不同入土深度土壤全氮含量与作物吸氮量的相关系数,结果表明:这些相关系

数均低于可矿化氮与作物吸氮量的相关系数(只有 31~45 cm 土层的相关系数达 5%显著水平). t 检验表明,在分层时与可矿化氮(2 或 3 周)和作物吸氮量的相关系数无显著差异;而在不同入土深度时差异极显著($t_{2周}=5.51, t_{3周}=3.98$). 说明以全氮作为评价土壤供氮能力的指标,与可矿化氮不能相提并论.

表 5 同一土壤不同土层全氮与可矿化氮的相关系数¹⁾

Tab. 5 The correlation coefficients between total N and mineralizable N in different layers of the same soil

土壤代号 soil No.	培养时间 ²⁾ incubation time			平均 average
	1 周	2 周	3 周	
	1 week	2 weeks	3 weeks	
01	0.960 **	0.983 **	0.981 **	0.975 **
02	0.911 *	0.988 **	0.993 **	0.964 **
03	0.936 **	0.935 **	0.936 **	0.936 **
04	0.761	0.869 *	0.812 *	0.814 *
05	0.983 **	0.909 *	0.976 **	0.956 **
06	0.838 *	0.965 **	0.884 *	0.896 *
平均 average	0.898 *	0.942 **	0.930 **	0.923 **

1) $r_{0.01}=0.917, r_{0.05}=0.811, n=6$; 2) 1 周为预培养; 2 周为正式培养; 3 周为预培养+正式培养

表 6 各土层及不同入土深度土壤全氮含量与作物吸氮量的相关系数¹⁾

Tab. 6 The correlation coefficients between total N of different layers and depths and N uptaken by crops

土壤层次 layer	相关系数 correlation	入土深度 depth	相关系数 correlation
/cm	coefficient	/cm	coefficient
0~15	0.624	0~15	0.624
16~30	0.661	0~30	0.640
31~45	0.812 *	0~45	0.696
46~60	0.642	0~60	0.691
61~80	0.688	0~80	0.701
81~100	0.614	0~100	0.709
平均 average	0.674	平均 average	0.677

1) $r_{0.01}=0.917, r_{0.05}=0.811, n=6$

2.3 土壤有机质与可矿化氮及作物吸氮量的关系

土壤有机质和全氮之间有着密切关系,这已为许多研究所证明. 本研究进一步表明,这种关系不仅在表层土壤存在,而且在表层以下不同土壤同一土层和同一土壤不同土层存在,其相关系数在 0.911~0.996 之间,除 46~60 cm 土层外(5%显著水平),其余均达 1%显著水平. 土壤有机氮是土壤有机质的重要组成部分,其 C/N 通常是一个稳定的常数^[13]. 土壤有机质的分解、转化和土壤有机氮的矿化是相伴发生的^[16]. 因此,土壤的供氮能力与有机质含量

及其矿化速率有密切关系^[17], 而土壤有机质的矿化又与土壤有机质组成、存在状态和土壤水热条件有关^[18], 不同土层的这些差异同样会影响到土壤可矿化氮的含量。无论横向还是纵向比较, 土壤有机质和可矿化氮的相关系数均达 5% 显著水平, 大多达 1% 的显著水平, 上 3 层相关系数略高于下 3 层, 最大值同样出现在 31~45 cm 土层。

从不同土层及不同入土深度土壤有机质含量与作物吸氮量的相关系数(表 7)来看, 其值大多要低于可矿化氮与作物吸氮量的相关系数, 而且均未达 5% 显著水平。t 检验表明, 分层情况下, 与可矿化氮(2 或 3 周)和作物吸氮量的相关系数差异不显著, 不同入土深度时差异显著($t_{2周}=5.06$, $t_{3周}=3.11$)。可见, 以土壤有机质含量作为评价土壤供氮能力的指标, 其效果也不如可矿化氮。

表 7 各土层及不同入土深度有机质含量与作物吸氮量的相关系数¹⁾

Tab. 7 The correlation coefficients between organic matter of different layers and depths and N uptaken by crops

土层 layer / cm	相关系数 correlation coefficient	入土深度 depth / cm	相关系数 correlation coefficient
0~15	0.660	0~15	0.660
16~30	0.700	16~30	0.683
31~45	0.775	31~45	0.710
46~60	0.653	46~60	0.714
61~80	0.711	61~80	0.719
81~100	0.660	81~100	0.728
平均 average	0.691	平均 average	0.702

1) $r_{0.01}=0.917$, $r_{0.05}=0.811$, $n=6$

3 结论

无论是各层土壤可矿化氮还是其层间累加量与作物吸氮量之间均有较好的相关性。整体观之, 0~45 cm 土层的相关性要高于 45 cm 以下土层, 其中, 以 31~45 cm 土层为最好。当可矿化氮加上土壤起始矿质氮后, 相关系数又有所提高。

各层土壤全氮、有机质与可矿化氮含量间绝大部分达 5% 显著或 1% 极显著相关, 而所有土层, 不论是全氮还是有机质又以 0~45 cm 土层相关性高于 45 cm 以下土层, 相关系数最大值是在 31~45 cm 土层。各层土壤全氮、有机质与作物吸氮量之间存在着一定的相关性, 但它们与作物吸氮量的相关系数要低于可矿化氮与吸氮量的相关系数。

土壤全氮或有机质(或加以校正系数)含量作为评价土壤供氮能力的指标, 其效果不如可矿化氮。

参考文献:

[1] 李生秀, 付会芳, 袁虎林, 等. 几种反映旱地土壤供氮能力的方法的比较[J]. 土壤, 1990, 22(4): 194-197.

[2] 胡田田, 李生秀. 土壤供氮能力测试方法的研究——II. 几种测氮方法的测定值与作物吸氮量的关系[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(增刊): 62-67.

[3] 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.

[4] 朱兆良. 土壤氮素的矿化和供应[A]. 中国土壤学会. 我国土壤氮素研究工作的展望——中国土壤学会土壤氮素工作会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1986. 14-27.

[5] 白志坚, 赵更生. 陕西主要耕种土壤的氮矿化势[J]. 土壤通报, 1981, 13(4): 26-29.

[6] 朱兆良, 蔡贵馆, 徐银华, 等. 太湖地区水稻土的氮素矿化及土壤供氮量的预测[J]. 土壤学报, 1984, 21(1): 29-35.

[7] 朱兆良. 土壤氮素有效性指标与土壤供氮量的预测[J]. 土壤, 1990, 22(4): 177-180.

[8] STANFORD G, SMITH S J. Nitrogen mineralization potentials of soils[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1972, 36(3): 465-472.

[9] BREMNER J M. Nitrogen availability indexes[A]. BLACK C A. Methods of soil analysis: Part 2[C]. Madison: Am Soc of Agron, 1965. 1324-1345.

[10] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994. 44-47.

[11] 付会芳, 李生秀. 土壤氮素矿化与土壤供氮能力——II. 矿化氮量与作物吸氮量的关系[J]. 西北农业大学学报, 1992, 20(增刊): 53-57.

[12] AOYAMA M, NOZAWA T. Microbial biomass nitrogen and mineralization-immobilization processes of nitrogen in soils incubated with various organic materials[J]. Soil Sci Plant Nutr, 1993, 39(1): 23-32.

[13] STANFORD G, FIREVE M H, SCHWARMGER D H. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization[J]. Soil Sci, 1973, 115: 321-323.

[14] STANFORD G, EPSTEIN E. Nitrogen mineralization water relation in soils[J]. Soil Sci Soc Am Prog, 1974, 38: 103-106.

[15] 布雷迪 N C. 土壤的本质与性状[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 85-100.

[16] 福斯 H D. 土壤科学原理[M]. 北京: 农业出版社, 1984. 238-245.

[17] 周鸣铮. 土壤肥力学概论[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1985. 114-133.

[18] 胡田田, 李生秀. 土壤供氮能力测试方法的研究——III. 0~100 cm 土层可矿化氮对作物吸氮量的意义[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(增刊): 68-72.

【责任编辑 李晓丹】