

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2015.11.020

施用不同氮肥对砖红壤表面电化学性质的影响^①

黄容¹, 徐芊², 高明¹,
余砾³, 代文才¹, 叶夏伊¹

1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275;
3. 璧山县农业技术推广中心, 重庆 璧山 402760

摘要:就土壤有效养分的保蓄和提供而言, 土壤对氮素的吸附量及强度大小对其有重要影响. 以砖红壤为研究对象, 采用土柱淋溶方法, 研究了施用不同氮肥对砖红壤表面电化学性质的影响, 探讨了土壤保蓄和提供植物有效养料. 结果表明: (1) CK 处理的土壤表面电荷数比原土明显下降了 6.24%; 在低氮肥水平(100, 200 mg/kg)下, 硝铵处理的表面电荷量显著高于原土; 而硫酸铵和尿素处理比原土低 6.51% 和 1.42%; 在高氮肥水平(300, 400 mg/kg)下, 3 种氮肥处理的表面电荷数与原土无明显差异. (2) 与原土相比, 3 种氮肥处理的比表面积均显著增大, 其中尿素处理的比表面积随施氮水平的变化而显著增大, 特别是 N3 和 N4 处理的比表面积显著高于 N1 和 N2 处理. (3) 随着施氮量的增加, 砖红壤的表面电荷密度和电场强度呈相同的增加趋势. 在同一施氮水平下, 尿素处理的砖红壤表面电荷密度和电场强度均显著高于硝铵和硫酸铵处理, 其中 N4 比 X4 处理高了 98.6%. 土壤表面电化学性质会影响氮肥所转化的 NO_3^- 的淋失、氢离子的吸附以及交换性盐基离子淋失, 为科学施氮, 调节土壤—作物体系的氮素平衡, 故在选择施用氮肥时应适当适量. 本试验条件下, 尿素相较于其他两种氮肥更适合砖红壤, 且氮肥的合理施用量应控制在 350~400 kg/hm².

关键词:氮肥; 砖红壤; 表面电化学性质; 氮素平衡

中图分类号: X144; S147

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2015)11-0137-07

土壤胶体是土壤中活跃且最为细小的部分^[1], 携带着土壤中的绝大部分电荷^[2], 是土壤宏观现象发生的物质基础^[3]. 土壤是具有自我调节功能的类生物体^[4], 其表面电荷性质对土地改良利用、土壤发生分类及土壤污染控制研究都有重要的作用^[5], 同时它也是作物吸收养分机理研究的重点^[6-9], 对改善土壤结构、保水保肥性、酸碱性、缓冲性以及土壤对重金属的富集都有重要作用^[10-12]. 土壤中的化学反应主要发生在固/液界面及其相近的溶液中, 土壤所带的表面电荷是土壤具有一系列化学性质的根本原因^[6]. 国内外学者对土壤表面电化学的研究主要集中在 pH、浓度、温度、电解质类型对土壤表面电荷性质的影响^[5, 13-18], 而氮肥施用对土壤表面电化学性质的影响研究鲜有报道.

氮是作物生长的必需元素之一, 氮肥的施用对我国农业增产增收发挥了巨大的作用^[19], 但大量施氮同时也导致了硝酸根和盐基离子等养分大量淋失, 表观损失量和损失率显著增加, 氮肥利用率降低^[20-22]. 调查表明, 我国氮肥利用率仅为 30%~35%, 远低于发达国家. 施氮所产生的 NH_4^+ 能通过对土壤表面电荷

① 收稿日期: 2014-01-26

基金项目: 国家十二五科技支撑计划项目(2012BAD14B18).

作者简介: 黄容(1989-), 女, 福建福州, 硕士研究生, 主要从事土壤质量与环境研究.

通信作者: 高明, 研究员, 博士研究生导师.

的影响,而使土壤阳离子交换能力发生变化.同时,施入的氮肥可改变土壤团聚体结构,影响其比表面积.因此,合理平衡施肥,对不同土壤制定相应的施肥方案,有利于减缓土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋失,提高氮肥利用率.砖红壤作为中国最南端热带雨林和季雨林地区地带性土壤,是我国南方地区重要的耕作土壤,本文以砖红壤为研究对象,采用土柱淋溶方法,研究了施用不同氮肥对砖红壤表面电化学性质的影响,以期调节土壤—作物体系的氮素平衡,氮肥科学施用及土壤养分管理提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本试验的供试土样为砖红壤,于 2012 年 5 月采自海南省海口市观澜湖($110^{\circ}10' - 110^{\circ}41'E$, $19^{\circ}32' - 20^{\circ}05'N$).该区以滨海平原为主,主要土壤类型有玄武岩砖红壤、火山灰幼龄砖红壤、沙页岩砖红壤、带状潮沙泥、滨海沙土.气候属于热带海洋性季风气候、日照时间长,辐射能量大,最高气温 28.6°C ,最低气温 17.7°C ,年平均气温 23.8°C 、雨水充沛,水源充足,年降水量 $1\,664\text{ mm}$.采集的土样在室温下自然风干,然后研磨过筛($2,1,0.25\text{ mm}$),基本理化性质采用常规方法^[23]测定,供试土壤基本理化性质见表 1.

表 1 供试土壤基本理化性质

土壤类型	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全钾/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
砖红壤	9.68	0.525	0.379	1.7	45.2	2.57	23.3

1.2 材料与方法

1.2.1 试验设计

室内试验于 2012 年 6—10 月在西南大学土壤与生命元素分析实验室进行,室内温度基本保持在 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$.模拟淋溶土柱采用内径 7.2 cm ,高约 50 cm 的 PVC 管,PVC 管内底部采用 2 层 200 目的尼龙滤布,并用密封胶带封住.称取过 2 mm 孔筛($10 \pm 0.1\text{ g}$)的风干土样 1.465 kg ,按照土壤容质量 1.2 g/cm^3 装入模拟土柱中,压实土柱壁边缘的土壤,土柱高 30 cm ,上下各铺 5 cm 厚石英砂.在土柱正上方 30 cm 处架穿有孔洞的塑料薄膜覆盖的塑料篮,以模拟降雨过程,土柱正下方用收集瓶收集淋溶液(如图 1).

供试肥料为尿素(全 N, 46.2%)、硝酸铵(全 N, $34\% \sim 35\%$)和硫酸铵(全 N, $20\% \sim 21\%$) 3 种氮肥.设置 1 个空白对照 CK,不施任何肥料,每种氮肥设置 4 个施氮水平,分别施入纯氮量 $100, 200, 300, 400\text{ mg/kg}$,试验处理分别标记为 $\text{N}_1, \text{N}_2, \text{N}_3, \text{N}_4, \text{X}_1, \text{X}_2, \text{X}_3, \text{X}_4, \text{L}_1, \text{L}_2, \text{L}_3, \text{L}_4$,每个处理 3 次重复,共计 39 个淋溶柱.

1.2.2 样品采集

试验共连续进行 3 次室内土柱淋溶模拟试验,累计施肥 3 次(模拟 3a 自然淋溶过程),每次施肥处理时间分别为试验的第 1, 62, 124 d.为使每次施肥作用相同,均采用将肥料溶于少量去离子水,并少量多次完全洗净到土柱中.每次施肥后,用保鲜膜封住土柱顶部,以防止氨态氮挥发损失,再使其在自然状态下硝化反应 21 d 后开始淋溶(此过程控制含水率为田间持水量的 60%),3 次施肥后开始第 1 次淋溶的时间分别为试验的第 23, 84, 146 d.采用间歇淋溶法,每次淋溶 410 mL ,淋溶速度大约 8.54 mL/h ,淋溶时间维持 2 d 左右,然后间隔 2 d 再继续淋溶.每次施肥反应 21 d 后开始淋溶,淋溶 10 次,整个试

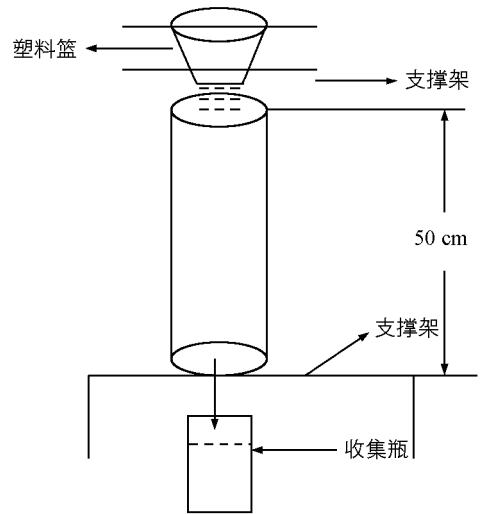


图 1 淋溶液收集试验装置

验期间共施肥 3 次, 淋溶 30 次, 累积淋溶量 3000 mm(略低于重庆 3a 的年均降雨量), 整个试验均在室内进行, 平均室温为 25 °C. 每次施肥后第 1 次淋溶前根据土壤的含水量, 加入了一定体积的高纯水使其达到饱和状态. 在对砖红壤土柱进行多次施肥淋溶后, 取出土柱中的土壤, 风干研磨过 0.5 mm 筛.

1.2.3 样品分析

称取 1 mm 的土样 100 g 于三角瓶中, 加入 2 500 mL 的 0.2 mol/L HCl, 震荡 24 h 后, 离心弃去上清液, 继续加入同体积和浓度的盐酸溶液, 重复上述操作 3 次, 最后一次离心后加入 2 500 mL 的去离子水, 重复上述的震荡和离心过程, 再将土样于 60 °C 温度条件下烘干, 所得的土样为氢饱和样, 然后风干研磨过 0.25 mm 筛.

称取 0.25 mm 的氢饱和样 5 g 于 150 mL 三角瓶, 加入 35 mL 的 0.010 mol/L Ca(OH)₂, 震荡 24 h 后, 加入与 Ca(OH)₂ 溶液相同体积的 0.016 mol/L NaOH 溶液, 再震荡 24 h. 震荡后用 1 mol/L HCl 将土壤悬浮液调节至 pH=7.0 后, 震荡平衡 24 h. 测定平衡后土样的 pH, 采用 Ca²⁺ 离子选择电极测定土壤悬浮液中 Ca²⁺ 活度. 离心, 逐滴加入饱和 Ba(OH)₂ 溶液将土壤悬浮液调节至 pH>10, 并用 Na⁺ 离子选择电极测定上清液中的 Na⁺ 离子活度.

根据李航提出的联合测定法^[24], 计算了土壤的表面电位、比表面积、表面电荷密度、表面电场强度和表面电荷数量.

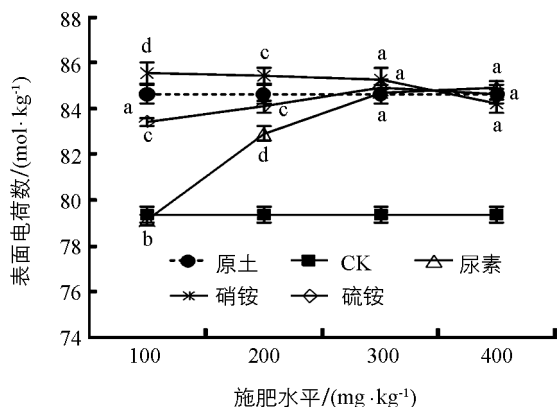
数据处理分析用 SPSS18.0 软件, 图表制作用 Excel 软件.

2 结果与分析

2.1 氮肥施用对砖红壤胶体表面电荷数量的影响

砖红壤施肥淋溶后, 土壤表面电荷数量的变化情况如图 2 所示. 与原土(84.63 mmol/kg)相比, CK 处理的土壤表面电荷数明显下降了 6.24%; 尿素和硫铵处理的土壤表面电荷数也明显下降, 其中 N1 和 L1 处理的减少量最大, 分别下降了 6.51% 和 1.42%; 而硝铵处理的土壤表面电荷数在 X1 和 X2 处理下显著增加了 1.06% 和 0.95%, 可见不同施肥处理对土壤表面电荷存在不同的影响. 从图 2 可以看出, 在施用同种氮肥情况下, 尿素和硫铵处理的表面电荷量随着施氮量的增加呈增加的趋势, 在低氮肥(100, 200 mg/kg)处理下, 随着施氮量的增加, 尿素和硫铵处理的表面电荷量显著增加了 3.80 和

0.65 mmol/kg; 在高氮肥(300, 400 mg/kg)处理下, 随着施氮量的增加, 尿素和硫铵处理的表面电荷量增加量较少, 和原土无显著性差异. 硝铵处理的砖红壤表面电荷数随施氮量的增加呈下降趋势, 但是 X3 和 X4 处理间差异不显著, 而与 X1, X2 处理存在显著性差异. 砖红壤是以可变电荷表面为主的土壤, 其表面电位随电解质浓度变化而发生变化, 在本试验中, 砖红壤经过施肥淋溶后, 土壤的表面电荷数量有了变化. 在 100 mg/kg 施氮水平下, 3 种施肥处理对表面电荷数的影响存在显著差异; 在 200 mg/kg 施氮水平下, 硝铵和硫铵处理对表面电荷数的影响不显著, 而与尿素存在显著差异; 在 300 和 400 mg/kg 施氮水平下, 3 种施肥处理对表面电荷数的影响差异不显著, 说明硫铵和硝铵作为强电解质, 在淋溶过程中, NH₄⁺ 交换了表面强静电吸附的离子, 而在弱电解质条件下, 电解质浓度相对而言较低, 指示离子化学势能也较低, 无法与可变电荷点位上的离子进行交换, 那么低浓度时所测得的表面电荷数量比高浓度条件下的小^[5].



图中的不同字母表示同一施氮水平不同氮肥种类间差异达到 5% 显著水平. 同下.

图 2 施肥淋溶后土壤表面电荷数量的变化

2.2 氮肥施用对砖红壤比表面积与表面电场强度和表面电荷密度的影响

土壤的比表面积主要是受土壤颗粒之间排斥力的影响,本试验采用了不同的施肥处理方法,通过氮肥淋溶使得颗粒之间的排斥力不一样,排斥力大的将使团聚体破坏程度更深,颗粒越细,比表面积越大.经氮肥淋溶后,硝铵和硫铵处理的砖红壤比表面积没有显著差异,且随着施氮量的增加,其比表面积均显著高于原土,分别增加了 0.94~1.91 和 0.87~1.62 dm^2/g .与原土相比,N1 处理的比表面积显著下降了 33.95%,N4 处理的比表面积显著增加了 16.30%,而 N2 和 N3 处理的比表面积差异性不显著.不施肥只用水淋洗的 CK 处理中的颗粒间排斥力较小,土壤比表面积也小,比原土小了 18.99%.可见砖红壤在施肥淋溶后,各施肥处理间的土壤比表面积随施氮量的变化存在一定差异.

如表 2 所示,硝铵和硫铵处理的表面电场强度均显著比原土小,X1 和 L2 处理的表面电场强度与原土的差值最大,分别为 0.80 和 0.73 V/dm^2 ;除 N2 和 N3 处理的表面电场强度与原土差异不显著外,N1 和 N4 处理的表面电场强度均显著不同于原土,分别减少和增加了 58.54%和 17.07%.可见与原土相比,不同的施肥处理对砖红壤电场强度的影响存在差异,随着施氮量的增加,3 种氮肥处理的表面电场强度呈增加趋势,且尿素处理的表面电场强度均显著高于硝铵和硫铵处理的,高氮施肥处理的表面电场强度显著高于低氮施肥处理,尿素处理的增幅最大,可达 91.18%,其中 X1,X2,L1,L2,L3 处理的表面电场强度与 CK 处理的差异性不显著.这同以前的研究所得的结果是一致的,原因产生于电解质中的阳离子在表面对 H^+ 的竞争吸附使 H^+ 的吸附量减少,导致高电解质浓度时负电荷增加^[13].

李航的联合测定法表明,由于土壤的表面电场强度和表面电荷密度呈正比关系,所以砖红壤的表面电场强度和表面电荷密度随施氮量的变化趋势呈现相同的趋势.除 N4 处理显著高于原土($1.74 \times 10^{-3} \text{ C}/\text{dm}^2$)外,大部分的施肥处理的表面电荷密度均显著低于原土.在施用同种氮肥的情况下,3 种施肥处理的表面电荷密度随着施氮量的增加而显著增加,最高值出现在 400 mg/kg 施肥水平上,分别为 2.84×10^{-3} 、 1.43×10^{-3} 和 $1.74 \times 10^{-3} \text{ C}/\text{dm}^2$,其中尿素处理显著高于硝铵和硫铵处理,而硝铵和硫铵处理间差异性不显著.N2 和 N3 处理间差异不显著,与 N1,N4 处理存在显著差异;X4 和 X1,X2 及 X3 处理间存在显著差异;L4 和 L1,L2 及 L3 处理间存在均显著差异,可见不同施肥处理对砖红壤电荷密度的影响不同.从表 2 可以看出,在同一施氮水平,尿素处理的表面电荷密度显著高于其他两种施肥处理,最大差值可达 $1.41 \text{ C}/\text{dm}^2$,高氮施肥处理的表面电荷密度显著高于低氮施肥处理当电解质浓度非常低时,这是因为指示离子的化学势能低,故无法与可变电荷点位上的离子进行交换,那么低浓度时所测定表面电荷总量以及表面电荷密度就比高浓度条件下的小.杨兴伦等^[5]在研究 3 种紫色土表面电荷性质时也获得了同样的变化规律.

表 2 施肥淋溶前后的土壤比表面积与表面电场强度和表面电荷密度

处理	施肥水平/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH	比表面积	表面电场强度	表面电荷密度
		—	$S/(\text{dm}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	$E/(\text{V} \cdot \text{dm}^{-2})$	$\sigma_0(\text{C} \cdot \text{dm}^{-2})$
原土		7.38	$5.95 \times 10^3 \text{ a}$	$2.46 \times 10^7 \text{ a}$	$1.74 \times 10^{-3} \text{ a}$
CK	N0	6.03	$4.82 \times 10^3 \text{ c}$	$1.68 \times 10^7 \text{ c}$	$1.30 \times 10^{-3} \text{ b}$
尿素	N1	7.09	$3.93 \times 10^3 \text{ c}$	$2.04 \times 10^7 \text{ b}$	$1.40 \times 10^{-3} \text{ c}$
	N2	6.32	$5.75 \times 10^3 \text{ a}$	$2.43 \times 10^7 \text{ a}$	$1.72 \times 10^{-3} \text{ a}$
	N3	6.64	$6.00 \times 10^3 \text{ ab}$	$2.50 \times 10^7 \text{ a}$	$1.77 \times 10^{-3} \text{ ab}$
	N4	6.68	$6.92 \times 10^3 \text{ b}$	$3.90 \times 10^7 \text{ d}$	$2.84 \times 10^{-3} \text{ d}$
硝铵	X1	6.73	$6.89 \times 10^3 \text{ b}$	$1.66 \times 10^7 \text{ c}$	$1.17 \times 10^{-3} \text{ b}$
	X2	6.20	$7.68 \times 10^3 \text{ b}$	$1.70 \times 10^7 \text{ c}$	$1.22 \times 10^{-3} \text{ b}$
	X3	6.10	$7.73 \times 10^3 \text{ b}$	$1.72 \times 10^7 \text{ b}$	$1.38 \times 10^{-3} \text{ b}$
	X4	6.07	$7.86 \times 10^3 \text{ b}$	$2.02 \times 10^7 \text{ b}$	$1.43 \times 10^{-3} \text{ c}$
硫铵	L1	6.10	$6.82 \times 10^3 \text{ b}$	$1.73 \times 10^7 \text{ c}$	$1.23 \times 10^{-3} \text{ b}$
	L2	5.86	$7.35 \times 10^3 \text{ b}$	$1.74 \times 10^7 \text{ c}$	$1.32 \times 10^{-3} \text{ b}$
	L3	6.04	$7.11 \times 10^3 \text{ b}$	$1.86 \times 10^7 \text{ c}$	$1.33 \times 10^{-3} \text{ b}$
	L4	6.10	$7.57 \times 10^3 \text{ b}$	$1.95 \times 10^7 \text{ d}$	$1.74 \times 10^{-3} \text{ ab}$

3 讨 论

土壤表面电荷量、比表面积、表面电场强度和表面电荷密度可以用来表征土壤表面电化学性质。目前对土壤表面电化学的研究已取得了许多重要成果, 尤其是 pH、浓度、温度、电解质类型对土壤表面电荷性质的影响。丁武泉等^[13, 25]研究认为 pH < 7 时砖红壤胶体和中性紫砖红壤胶体的表面电荷密度出现降低的趋势, 砖红壤降低了 30% 左右, 而中性紫色土胶体表面电荷密度变化较小; 随温度的升高, 两种土壤的表面电荷总量、表面电位、表面电荷密度都表现出减少的趋势; 中性紫色土表面电荷密度随电解质浓度增加呈增加趋势, 但曲线很快到达“平台”。杨兴伦等^[5]表明随电解质浓度的增加, 表面电荷密度负值、表面电场强度负值和比表面积则出现上升的趋势; 随温度的升高, 3 种紫色土表面电位的负值、表面电荷密度负值表现出减少的趋势。张效年等^[14]认为, 砖红壤和红壤胶体在电荷性质方面存在差异, 与两种胶体的组成成分不同有密切关系。因为红壤胶体不但铁铝氧化物含量较砖红壤少, 且粘土矿物组成中有一定数量的具有永久负电荷的 2:1 型粘土矿物。余正洪等^[2]对红壤, 黄壤及紫色土表面电荷性质研究认为, 在相同 pH 条件下, 石灰性紫色土的表面电场强度、表面电荷数量和比表面积大于红壤和黄壤, 且 3 种土壤的表面电荷总量和表面电荷密度随着 pH 值的降低显著减小。

土壤表面化学是研究土壤胶体的表面结构、表面性质和表面上发生的物理、化学反应, 是土壤学中的微观研究领域。土壤对离子的吸附量和强度的大小对保蓄和提供植物有效养分的作用有重要意义。中国是氮肥消费大国, 农业生产对氮肥的依赖较强, 作物施氮后有显著的增产现象, 但过量的施氮不仅不能够增加作物产量还会带来一系列的环境问题^[26]。本试验结果表明, 尿素, 硝铵和硫铵在不同施氮水平处理下, 土壤表面电化学性质存在差异; 在低氮肥水平下, 3 种氮肥对土壤表面电化学性质均存在显著差异; 在高氮肥水平下, 尿素和其余两种氮肥对土壤表面电化学性质存在显著差异, 而硝铵和硫铵之间差异不显著。可见尿素对土壤表面电化学性质有较大的影响。

土壤表面电荷数是作物吸收营养元素的关键因素, 决定了土壤吸附离子的数量。砖红壤是以可变量表面电荷为主的土壤, 其电荷总量随电解质浓度的改变而发生变化。氮是作物生长发育必须的营养元素, 但是过量的施氮不仅不能增产, 反而会导致大量 NO_3^- 的淋失。本试验的砖红壤经氮肥淋溶后, 硝铵处理的土壤表面电荷数量随施氮量的增加而呈减少趋势, 而尿素和硫铵则呈增加趋势。但随着施氮量的增加, 3 种氮肥处理的砖红壤表面电荷数最终均小于原土, 可见过量的氮肥并不能有效增加土壤表面电荷数, 从而影响作物吸收养分能力, 最终造成的增氮不增收的现象^[26]。土壤胶体的比表面积, 可以使土壤胶粒表面带有更多的电荷, 分散在土壤溶液中时界面上产生更多的双电层, 不仅能提高土壤的吸附力和离子交换能力, 还可以储存氮素, 为作物的生长提供养分保障。氮肥经淋溶作用可以通过改变土壤颗粒之间的排斥力来影响土壤的比表面积。从研究结果可以看出, 不施肥只用水利洗的 CK 处理的颗粒间排斥力较小, 对颗粒的破坏力较小, 最终导致土壤比表面积减小。尿素属弱电解质, 颗粒间的排斥力变化较大, 增加电解质浓度能够显著增加比表面积; 而硝铵和硫铵之间差异不显著。总体上看, 施肥前后砖红壤各处理比表面积差异不大, 有待进一步试验研究。

土壤胶体电荷密度和电场强度对于土壤胶体双电层的形成有重要的作用, 决定了胶体吸附阳离子强度^[27], 而土壤吸附离子强度的大小对保蓄和提供植物有效养料有重要意义。土壤中的电场会影响氮肥所转化的 NO_3^- 的淋失、氢离子的吸附以及交换性盐基离子淋失。本试验结果表明, 在各施肥处理中, 随着施氮水平的提高, 土壤表面电荷密度和电场强度随之增加, 但仅 N3 和 N4 处理分别比原土高了 1.74% 和 38.73%; 相同施氮水平处理下, 尿素显著高于其他两种氮肥处理, 其中 N4 处理比 X4 处理高了 98.6%。可见尿素相较于其他两种氮肥能吸收更多的氮素, 且尿素作为弱电解质, 可以呈完整分子态被土壤吸附, 尿素与土壤的结合力比土壤与 NH_4^+ 的结合力还要强。有研究表明^[13], 自然界中任何一类的土壤都含有可变

电荷表面与恒电荷表面, 砖红壤表面电荷密度随着电解质浓度的增加呈增加趋势。

因此, 合理地平衡施肥, 针对不同的土壤制定不同的施肥方案, 对土壤—作物体系的氮素平衡有重要作用。本试验条件下尿素比硝酸铵和硫酸铵更适合砖红壤, 有利于保障土壤保蓄和提供植物有效养料, 尿素施氮量应控制在 $350\sim 400\text{ kg/hm}^2$ 。

参考文献:

- [1] 熊毅. 土壤胶体 [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 1—3.
- [2] 余正洪, 刘新敏, 李航. 红壤黄壤及紫色土表面电荷性质的研究 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2013, 38(3): 62—66.
- [3] 罗婷, 侍慧宇, 李航. 土壤表面电荷与离子间的相互作用对可变电荷体系电导的影响 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31(1): 161—166.
- [4] 骆东奇, 魏朝富, 谢德体. 紫色土表面物理化学特征研究 [R]. 沈阳: 中国土壤学会第十次全国会员代表大会, 暨第五届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会, 2004.
- [5] 杨兴伦, 李航. 三种紫色土表面电荷性质的研究 [J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 577—583.
- [6] 于天仁. 我国农业持续发展和生态环境中重大土壤问题的化学机理研究 [J]. 土壤, 2001, 33(3): 119—122.
- [7] 于天仁, 季国亮, 丁昌璞. 可变电荷土壤的电化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 25—50.
- [8] 于天仁. 我国电化学的建立和发展 [J]. 土壤, 1999, 31(5): 231—235.
- [9] 于天仁, 季国亮. 加强土壤电化学研究占领土壤科学前沿 [J]. 土壤, 1994, 26(1): 1—3.
- [10] 魏俊峰, 吴大清, 刁桂仪, 等. 铅在高岭石表面的吸附模式 [J]. 地球化学, 2000, 29(4): 397—401.
- [11] 丁振华, 冯俊明. 氧化铁矿物对重金属离子的吸附剂表面特征 [J]. 矿物学报, 2000, 20(4): 349—351.
- [12] 邹献忠, 赵安珍, 季国亮. 可变电荷土壤吸附铜离子时氢离子的释放 [J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 308—317.
- [13] 丁武泉, 李航, 宋仲容, 曹优明. 中性紫色土和砖红壤表面电荷性质的比较研究 [J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1086—1091.
- [14] 张效年, 蒋慧能. 土壤电化学性质的研究, III. 红壤胶体的电荷特性 [J]. 土壤学报, 1964, 12(2): 120—129.
- [15] 杨亚提, 张一平. 恒电荷土壤胶体表面的电荷特征 [J]. 西北农林科技大学学报, 2002, 30(1): 47—51.
- [16] 朱茂旭, 蒋新, 季国亮. 可变电荷土壤和恒电荷土壤与氢离子反应动力学 [J]. 环境科学, 2001, 22(3): 49—53.
- [17] 李航. 土壤界面电化学性质测定的动力学方法研究 [D]. 重庆: 西南农业大学, 2000.
- [18] 徐明岗, 季国亮. 恒电荷土壤和可变电荷土壤与离子间相互作用的研究 [J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 161—169.
- [19] 郑顺林, 杨世民, 李世林, 等. 长期施氮和秸秆还田对小麦—玉米轮作体系土壤氮素平衡的影响 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(1): 1—9.
- [20] VLEK P L G, BYRNES B H. The Efficacy and Loss of Fertilizer N in Lowland Rice [J]. Fertilizer Research, 1986, 9(1—2): 131—147.
- [21] 刘新宇, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 不同施氮水平对冬小麦季化肥氮去向及土壤氮素平衡的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 296—303.
- [22] 张学军, 赵营, 陈晓群, 等. 滴灌施肥中施氮量对两年蔬菜产量、氮素平衡及土壤硝态氮累积的影响 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2535—2545.
- [23] 鲍士旦, 等. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 14—24.
- [24] LI H, HOU J, LIU X M, LI R, ZHU H L. Combined Determination of Specific Surface Area and Surface Charge Properties of Charged Particles from a Single Experiment [J]. SSSAJ, 2011, 75(6): 2128—2135.
- [25] 丁武泉, 李强, 李航. 表面电荷性质对离子在土壤胶体界面扩散的影响 [J]. 土壤学报, 2010, 47(5): 896—903.
- [26] 同延安, 赵营, 赵护兵, 等. 施氮量对冬小麦氮素吸收、转运及产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 64—69.
- [27] 王军, 陈世正. 四川紫色水稻土比表面及其主要影响因素研究 [J]. 西南农业大学学报, 1991, 13(3): 296—301.

Effect of Different Nitrogen Fertilizers on Surface Electrochemical Properties of Laterite

HUANG Rong¹, XU Qian², GAO Ming¹,
YU Luo³, DAI Wen-cai¹, YE Xia-yi¹

1. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3. Bishan County Agricultural Technology Extension Center, Bishan, Chongqing 402760, China

Abstract: In a research reported in this paper, the soil column leaching method was used to study the effects of different nitrogen fertilizers (urea, ammonium nitrate and ammonium sulfate) on soil surface electrochemical properties of laterite, and to explore the nitrogen balance of the soil-crop system. Compared with the original soil, the number of soil surface charge significantly decreased by 6.24% in CK (blank control, or no fertilization), significantly increased in X1 and X2 (ammonium nitrate at N 100 and 200 mg/kg), and dropped by 6.51% in L1 and L2 (ammonium sulfate at N 100 and 200 mg/kg) or by 1.42% in N1 and N2 (urea at N 100 and 200 mg/kg). At higher nitrogen levels (N 300 mg/kg and 400 mg/kg), the soil surface charge number of the three nitrogen treatments had no significant difference with the original soil, and with increasing nitrogen rate, the final number of laterite surface charge was lower than that of the original soil. The surface charge density and electric field strength of laterite increased with nitrogen application rate, but were higher than those of the original soil in N3 and N4 (urea at N 300 and 400 mg/kg) only, by 1.74% and 38.73%, respectively. The electric field in the soil affected the leaching of NO_3^- , hydrogen ion adsorption and leaching of exchangeable base cations. With the same nitrogen level, treatments of urea application had significantly higher laterite surface charge density and electric field strength than treatments of ammonium nitrate and ammonium sulfate, being 98.6% higher in N4 than in X4. The capacity and intensity of nitrogen adsorption were found to be of important significance for the preservation and supply of available nutrients. Under the conditions of this experiment, urea nitrogen was more suitable for crops, and the rational application rate was in the range of 350–400 kg/hm².

Key words: nitrogen fertilizer; laterite; surface electrochemical property; the balance of nitrogen

责任编辑 陈绍兰

