

不同种类氮肥对紫色土表面电化性质的影响*

黄容¹ 高明^{1†} 王子芳¹ 余砾²

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

(2 重庆市璧山县农业技术推广中心, 重庆璧山 402760)

摘要 以紫色土为研究对象, 采用土柱淋溶方法, 研究了不同种类氮肥对紫色土表面电化性质的影响。结果表明: 氮肥处理的紫色土表面电荷量较原土大, 增加量在 0.05 ~ 0.7 cmol kg⁻¹; 在低氮水平(100、200 mg kg⁻¹)下, 紫色土表面电荷量为尿素 > 硫酸 > 硝酸; 而在高氮水平(300、400 mg kg⁻¹)下, 表面电荷量为硫酸 > 尿素 > 硝酸。与原土相比, 施肥处理的紫色土比表面积有所增加, 其中施用 100 mg kg⁻¹ 尿素的增加量最大, 较原土增加了 78.04%, 且尿素处理对土壤比表面积的影响显著高于其余两种氮肥处理; 而 400 mg kg⁻¹ 硫酸处理的增加量最少, 只增加了 0.06%。在同一个施氮水平下, 硫酸处理的土壤表面电荷密度和电场强度最大, 而尿素处理的最小; 低氮施肥处理对电荷密度和电场强度的影响明显高于高氮施肥处理。可见, 不同氮肥种类和施氮水平由于电解质体系类型和浓度的差异, 引起土壤 pH 变化, 最终对土壤电化性质产生影响, 从而改变土壤养分的保蓄性和有效性。在本试验条件下, 非电解质体系在低浓度下能显著影响紫色土表面电化性质, 而强电解质在高浓度下影响效果较为明显。

关键词 氮肥; 紫色土; 表面电化性质; 氮素平衡

中图分类号 S147; S152.7 **文献标识码** A

土壤中的离子交换现象是普遍存在的一种胶体特性, 是土壤重要的电化性质之一。土壤不仅是一个较强的缓冲体系, 而且也是类生物体, 具有自我调节功能^[1]。作为链接作物与养分之间的重要枢纽, 土壤之所以能源源不断地供给植物生长所需的大量养分, 原因在于土壤具有保持养分能力, 其本质是土壤胶体表面带有电荷^[2], 它对土壤的结构、保水保肥性、酸碱性、缓冲性以及土壤中重金属的富积均有影响^[3-5]。表面电荷性质以及带电表面与土壤溶液中离子、电子、质子间的相互作用是土壤电化研究的核心, 是作物吸收养分机理的研究重点^[2, 6-8]。国内外学者对土壤表面电化的研究, 主要集中在温度、电解质类型和浓度对土壤表面电荷性质的影响^[9-20]。

作物生长需要大量的氮元素, 评价氮肥管理合理性的关键之一在于土壤—作物体系的氮素平衡^[21]。自 20 世纪 80 年代以来, 我国氮肥的用量相当惊人, 虽然我国的耕地只占世界的 7%, 却消耗了

35% 的氮肥^[22]。过量施氮导致大量氮素流失, 表观损失量和损失率显著增加, 利用率降低^[23-24]。长期大量施用氮肥, 尤其是铵态氮肥, 所引发的一系列土壤环境问题中, 土壤酸化最为突出^[25], 土壤的 pH 变化显著地影响到土壤表面电化性质, 进而改变土壤养分保蓄和有效性^[11-12, 26]。紫色土是中国南方重要的耕作土壤, 在中国农业生产中具有重要地位。本文以紫色土为研究对象, 采用土柱淋溶方法, 研究了不同氮肥种类和施氮水平处理对紫色土表面电化性质的影响, 为氮肥合理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中性紫色土, 于 2012 年 5 月采自重庆市北碚区西南大学实验农场(106°18'14" - 106°56'53"E, 29°39'10" - 10°3'53"N)。该区地貌为

* 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD141318)资助

† 通讯作者, E-mail: gaoming@swu.edu.cn

作者简介: 黄容(1989—), 女, 福建福州人, 硕士研究生, 主要从事土壤质量与环境研究。E-mail: 277840241@qq.com

收稿日期: 2013-11-03; 收到修改稿日期: 2014-01-26

丘陵,土壤类型以紫色土为主。气候属于亚热带湿润季风气候,热量丰富,最高气温 39 ℃,最低气温 1 ℃,年平均气温 18 ℃,雨水充沛,年降水量 1 150 mm。采

集的土样在室温下自然风干,然后研磨过筛(2 mm, 1 mm, 0.25 mm),基本理化性质采用常规方法^[27]测定,供试土壤基本理化性质见表 1、表 2。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

土壤类型 Soil type	pH	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	全钾 Total K (g kg ⁻¹)	有效氮 Available N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)
紫色土 Purple soil	6.8	17.10	1.10	0.95	16.70	89.10	30.20	140.0

表 2 供试土壤表面电化学性质

Table 2 Surface electrochemical properties of tested soil

土壤类型 Soil type	表面电位 Surface potential (V)	比表面积 Specific surface area (10 ⁴ m ² kg ⁻¹)	表面电荷密度 Surface charge density (C m ⁻²)	表面电场强度 Surface electric field strength (10 ⁷ V dm ⁻¹)	阳离子交换量 CEC (cmol kg ⁻¹)
紫色土 Purple soil	-0.14	5.10	0.69	9.74	22.25

1.2 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 20~30 ℃。模拟淋溶土柱采用内径 7.2 cm、高约 50 cm 的 PVC 管,PVC 管内底部采用两层 200 目的尼龙滤布,并用密封胶带封住。称取过 2 mm 孔筛的风干土样 1.465 kg,按照土壤容重 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(N 46.2%)、硝酸铵(简称硝铵,N 34%~35%)和硫酸铵(简称硫铵,N 20%~21%)三种氮肥。每种氮肥设置 4 个施氮水平,分别为每千克土施入纯氮量 100、200、300、400 mg,试验处理分别标记为 N1、N2、N3、N4、X1、X2、X3、X4、L1、L2、L3、L4;设置一组不施任何肥料的空白对照 CK,每个处理 3 次重复,共计 39 个淋溶柱。

1.3 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 3 年自然淋溶过程),每次施肥处理时间分别为试验的第 1、62、124 天。为使每次施肥作用相同,均采用将肥料溶于少量去离子水,并多次少量完全洗净到土柱中。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 天。采用间歇淋溶法,每次淋溶 410 ml,淋溶速度大约 8.54 ml h⁻¹,淋溶时间维持 2 d 左右,然后间隔 2 d 再继续淋溶,淋溶 10 次。整个试验期间共施肥 3 次,淋溶 30 次,累积淋溶量 3 000 mm(略低于重庆三年的年均降雨量)。每次施肥后第一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。在对紫色土土柱进行多次施肥淋溶后,取出土柱中的土壤,风干研磨过 1 mm 和 0.25 mm 筛。

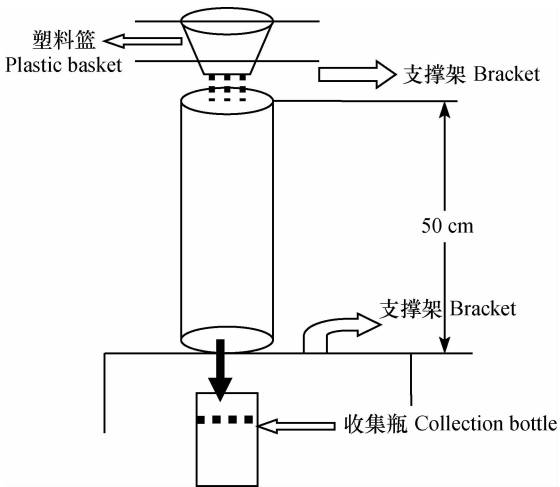


图 1 淋溶装置示意图

Fig. 1 Schematic design of the leaching device in the experiment

1.4 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⁻¹ 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⁻¹ 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⁻¹ NaOH 溶液,再震荡 24 h。震荡后用 1 mol L⁻¹ 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。

1.5 数据计算与处理

根据李航提出的联合测定法^[28],计算土壤的表面电位、比表面积、表面电荷密度、表面电场强度和表面电荷数量。

数据处理分析采用 SPSS18.0 软件,图表制作采用 Excel 软件。

2 结果与讨论

2.1 不同氮肥种类对紫色土表面电荷数量的影响

紫色土施肥淋溶后,土壤表面电荷数量的变化情况如表 3 所示。与原土 (22.25 cmol kg⁻¹) 相比,各处理均显著增加了紫色土表面电荷数量,其中 N1、X4 和 L3 施肥处理的表面电荷量增加量最大,分别增加了 2.97%、1.82% 和 2.97%;不施肥只用水淋洗的 CK 处理较原土高了 0.28 cmol kg⁻¹。与 CK 相比,N1、N2、X4、L2、L3、L4 显著增加了紫色土表面电荷数。随着施氮量的增加,施用尿素和硝铵的紫色土表面电荷量呈先减少后增加的趋势,最低值均出现在 300 mg kg⁻¹ 施氮水平上,其中 N3 处理的表面电荷数小于原土,N1、N2 处理间差异不显著,却与 N3、N4 处理存在显著差异;而施用硫铵的表面电荷量随施氮量的增加,呈先增加后减少的趋势,L3、L4 处理差异不显著。说明 1:1 型电解质体系与非电解质体系和 2:1 型电解质体系对土壤电荷数的影响存在差异。紫色土是恒电荷土壤,一般认为土壤的表面电荷数量不变,而本试验中,紫色土经过施肥淋溶后,土壤的表面电荷数量有了变化。在低氮肥水平 (100、200 mg kg⁻¹) 下,紫色土表面电

表 3 不同氮肥种类对紫色土表面电荷数量的影响

Table 3 Effect of nitrogen fertilizer on number of surface charge in purple soil relative to type of the fertilizer

氮肥种类 Types of nitrogen fertilizer	施氮水平 Fertilization levels (mg kg ⁻¹)	pH	表面电荷数 Surface charge number (cmol kg ⁻¹)
	CK	6.34	22.53 ± 0.02a
尿素 Urea	N1	6.13	22.91 ± 0.04b
	N2	5.93	22.67 ± 0.02b
	N3	5.54	22.22 ± 0.03c
	N4	5.45	22.30 ± 0.02c
硝铵 Ammonium nitrate	X1	6.00	22.46 ± 0.03a
	X2	5.56	22.39 ± 0.05b
	X3	5.41	22.36 ± 0.04b
	X4	5.23	22.66 ± 0.01c
硫铵 Ammonium sulfate	L1	5.20	22.51 ± 0.06a
	L2	5.17	22.69 ± 0.02b
	L3	5.08	22.96 ± 0.03c
	L4	5.05	22.70 ± 0.05c

注:同一列中不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平上差异显著。下同 Note: The different lowercase letters within the same column mean significant differences at $p < 0.05$ level. The same below

荷量表现为尿素 > 硫酸 > 硝酸;而在高氮肥水平(300、400 mg kg⁻¹)下,紫色土表面电荷量表现为硫酸 > 硝酸 > 尿素。根据电势叠加原理,当其他条件相同时,2:1 型电解质体系中的二价离子对土壤表面电位产生的屏蔽作用强于 1:1 型电解质体系中的一价离子;同时在低浓度条件下,强电解质指示离子的化学势能较非电解质的低,无法与可变电荷点位上的离子进行交换,所以尿素在低氮水平下能显著增加土壤表面电荷数,而硫酸在高氮水平下能显著增加土壤表面电荷数。

表面电荷数是影响阳离子交换量的因素之一,也是影响作物吸收营养元素的关键。紫色土胶体主要含蛭石等 2:1 型硅酸盐矿物^[29],以恒电荷为主,其电荷总量不随电解质浓度的改变而发生显著的变化^[11,26]。但也有研究表明,自然界任何土壤均包含恒电荷和可变电荷,无论何种电荷的表面电荷数均随电解质浓度变化而变化^[30]。本试验的紫色土经氮肥淋溶后,硫酸处理的土壤表面电荷数量随电解质浓度增加而呈先增加后减少的趋势,而尿素和硝酸则呈先减少后增加的趋势,但增减幅度并不大,这与杨兴伦和李航^[9]的研究结果一致,说明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^[31-32]。

2.2 不同氮肥种类对紫色土比表面积的影响

随施氮量的增加,紫色土的比表面积发生了变化。与原土(5.10 × 10⁴ m² kg⁻¹)相比,N1 处理的增加量最大,较原土增加了 78.04%;而 L4 处理的增加量最少,只增加了 0.06%。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同,排斥力大的将团聚体破坏程度更深,颗粒越细,比表面积越大。不施肥只用水淋洗的 CK 处理中的颗粒间排斥力最小,土壤比表面积最大,高于尿素(9.08 × 10⁴ ~ 6.88 × 10⁴ m² kg⁻¹)、硝酸(7.06 × 10⁴ ~ 5.45 × 10⁴ m² kg⁻¹)和硫酸(5.39 × 10⁴ ~ 5.15 × 10⁴ m² kg⁻¹)处理,是原土的 2 倍。如图 2 所示,在同一施氮水平下,紫色土比表面积的大小表现为尿素 > 硝酸 > 硫酸。在低氮肥水平(100、200 mg kg⁻¹)下,3 种氮肥处理间存在显著差异,而在高氮肥水平(300、400 mg kg⁻¹)下,尿素与硝酸、硫酸处理间存在显著差异。无论紫色土施用何种氮肥,土壤比表面积均随着施氮量的增加而降低,其中尿素在不同施氮水平下的土壤比表面积最大差值为 2.20 × 10⁴ m² kg⁻¹,硝酸的最大差值为 1.61

× 10⁴ m² kg⁻¹,而硫酸的最大差值最小,只有 0.24 × 10⁴ m² kg⁻¹,可见低氮施肥水平处理对土壤比表面积的影响大于高氮施肥水平处理,尿素施肥处理对土壤比表面积的影响高于其余两种氮肥处理。

土壤胶体巨大的比表面积,不仅可以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。氮肥经淋溶作用通过改变土壤颗粒之间的排斥力来影响土壤的比表面积。对于同种离子,浓度越低,表面场强越大,比表面积就越大,因此无论紫色土施用何种氮肥,土壤的比表面积均随着施氮量的增加而有所下降。在本试验处理中,尿素属弱电解质,颗粒间的排斥力较大,对团聚体的破坏要严重些;而不施肥只用水淋洗的 CK 处理的颗粒间排斥力最小,比表面积最大。

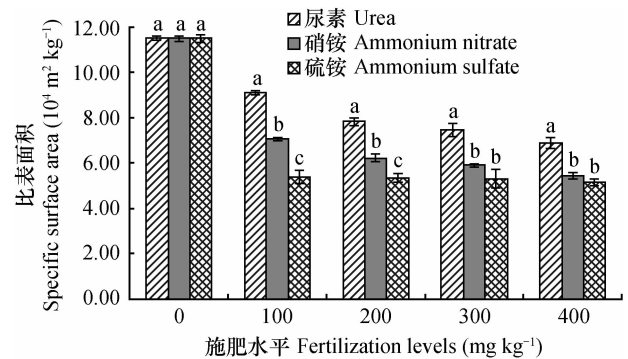


图 2 不同氮肥种类对紫色土比表面积的影响

Fig. 2 Effect of nitrogen fertilizer on specific surface area of purple soil relative to type of the fertilizer

2.3 不同氮肥种类对紫色土表面电荷密度和电场强度的影响

图 3 和图 4 表示的是紫色土在施肥淋溶后,土壤表面电荷密度和电场强度随施氮量的变化情况,从图中可以看出,表面电荷密度和电场强度随施氮量的变化趋势相同。不施肥只用水淋洗的 CK 处理的电荷密度和电场强度均高于原土处理,可见在水淋溶过程中,其他离子影响离子交换的过程;而施肥淋溶后,各施肥处理下的紫色土表面电荷密度和电场强度均较原土的小,施肥处理的表面电荷密度与原土(0.69 C m⁻²)的差值为 0.01 ~ 0.42 C m⁻²,表面电场强度与原土(9.74 × 10⁷ V dm⁻¹)的差值为 0.09 × 10⁷ ~ 4.19 × 10⁷ V dm⁻¹。与 CK 相比,施用尿素、硝酸和硫酸的紫色土表面电荷密度和电场强度显著增加;在同一施氮水平下,硫酸处理的表面电荷密度和电场强度最大,而尿素处理的表面电荷密度和电场强度最小。施氮量在 400 mg kg⁻¹时,硝

铵和硫酸铵处理对土壤表面电荷密度影响的差异性不显著;施氮量在 100、200、300、400 mg kg^{-1} 时,不同氮肥处理对土壤电场强度影响存在显著差异。尿素在不同施氮水平下的表面电荷密度和电场强度变化范围存在明显差别,分别在 $0.27 \sim 0.42 \text{ C m}^{-2}$ 和 $3.85 \times 10^7 \sim 5.98 \times 10^7 \text{ V dm}^{-1}$ 范围内,而硫酸铵处理的变化不明显,分别在 $0.64 \sim 0.68 \text{ C m}^{-2}$ 和 $8.96 \times 10^7 \sim 9.65 \times 10^7 \text{ V dm}^{-1}$ 范围内。

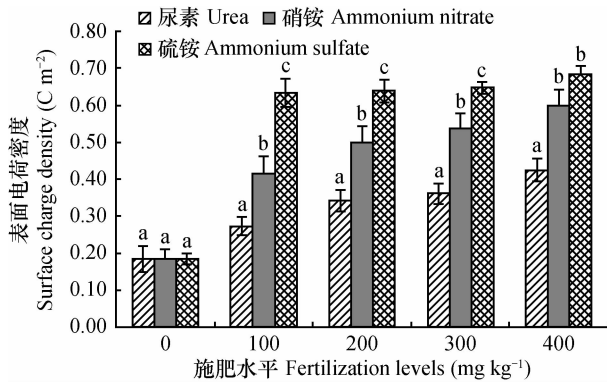


图3 不同氮肥种类对紫色土表面电荷密度的影响

Fig. 3 Effect of nitrogen fertilizer on surface charge density of purple soil relative to type of the fertilizer

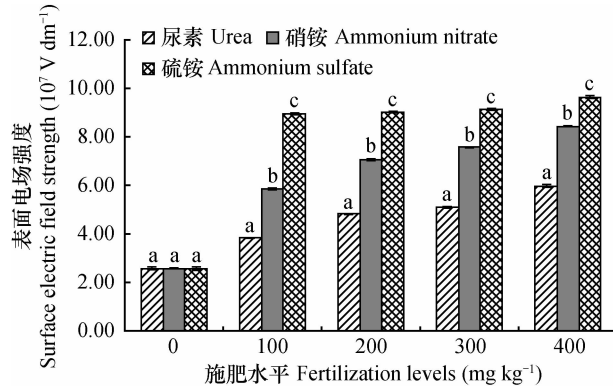


图4 不同氮肥种类对紫色土表面电场强度的影响

Fig. 4 Effect of nitrogen fertilizer on surface electric field strength of purple soil relative to type of the fertilizer

土壤胶体电荷密度和电场强度决定了土壤胶体吸附阳离子强度^[33],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。氮肥施入土壤后,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等必定受到土壤中电场的影响。本试验结果表明,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,当电解质浓度非常低时,指示离子的化学势能就低,故无法与可变电荷点位上的离子进行交换,因此低浓度所测定表面电荷密度就较高浓度条件下的小。杨兴伦

和李航^[9]在研究三种紫色土表面电荷性质时也获得了同样的变化规律。高氮施肥水平对电荷密度和电场强度影响较显著的原因在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,导致高浓度时负电荷增加,最终导致表面电荷密度增大。在同一浓度下,硫酸铵的电荷密度和电场强度均高于硝铵处理,可见 2:1 型电解质体系的表面电荷密度均较 1:1 型电解质体系中的表面电荷密度高。

3 结论

大量研究表明 pH、电解质类型和浓度可以影响土壤表面电学性质。杨兴伦等^[3]研究认为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。丁武泉等^[12]对中性紫色土和砖红壤的表面电学性质对比研究表明,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”。余正洪等^[34]认为石灰性紫色土、红壤和黄壤的表面电场强度、表面电荷数量和表面电荷密度随着 pH 的降低显著减小。在 20 世纪 80 年代,氮肥使用将引起土壤酸化已得到肯定^[35],这主要是由于土壤的硝化作用产生的 NO_3^- 而引起的。试验中三种氮肥在同一施氮水平上,对土壤 pH 的影响不同,其中施用硫酸铵的土壤 pH 下降的最多,其次是硝铵,最后是尿素。且紫色土经不同氮肥淋溶后,表面电场强度和表面电荷密度表现为硫酸铵 > 硝铵 > 尿素。硫酸铵是生理酸性肥,施入土壤后,被植物选择吸收 NH_4^+ , 剩余部分的酸根就会使土壤酸化,随着 NH_4^+ 硝化生成的 NO_3^- 与盐基离子的淋失,土壤进一步酸化。尿素尽管不属于生理酸性化肥,但施入土壤后,产生 NH_4^+ 、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- , 随着 NH_4^+ 被吸收,产生的 CO_2 溶于水而产生碳酸,也能使土壤 pH 有所下降,但酸化强度大大低于生理酸性肥料。土壤酸度的提高会致使土壤溶液中的 Mn、Al 离子移动性增强,并且影响其盐基饱和度、阳离子交换量 (CEC) 的特性,最终影响到作物吸收养分能力^[36]。因此,在选择施用氮肥时应该适当适量,从而保障土壤保蓄和提供植物有效养料。

参考文献

- [1] 骆东奇,魏朝富,谢德体. 紫色土表面物理化学特征研究// 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文集, 2004. Luo D Q, Wei C F, Xie D T. Study on the surface physical and chemical characteristics of purple soil (In Chinese)//Soil Science Society of China Tenth National Congress and the Fifth Cross-strait Academic Exchanges Fertilizer Symposium, 2004
- [2] 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建议. 土壤, 2001, 33(3):119—122. Yu T R. Recommended major soil chemical mechanism of the sustainable development of China's agriculture and ecological environment (In Chinese). Soils, 2001, 33(3):119—122
- [3] 魏俊峰, 吴大清, 刁桂仪, 等. 铅在高岭石表面的吸附模式. 地球化学, 2000, 29(4):397—401. Wei J F, Wu D Q, Diao G Y, et al. Modeling of lead adsorption on kaolinite (In Chinese). Geochimica, 2000, 29(4):397—401
- [4] 丁振华, 冯俊明. 氧化铁矿物对重金属离子的吸附及其表面特征. 矿物学报, 2000, 20(4):349—351. Ding Z H, Feng J M. Surface characters of iron-(hydro) oxides and their adsorption of heavy metal ions (In Chinese). Acta Mineralogical Sinica, 2000, 20(4):349—351
- [5] 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. 土壤学报, 2002, 39(3):308—317. Zou X Z, Zhao A Z, Ji G L. Release of hydrogen ions during adsorption of copper ions by variable charge soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(3):308—317
- [6] 于天仁, 季国亮, 丁昌璞. 可变电荷土壤的电化学. 北京: 科学出版社, 1996:25—50. Yu T R, Ji G L, Ding C P. Electrochemistry of variable charge soils (In Chinese). Beijing: Science Press, 1996:25—50
- [7] 于天仁. 土壤电化学的建立与发展. 土壤, 1999, 31(5):231—235, 254. Yu T R. Establishment and development of soil electrochemistry (In Chinese). Soils, 1999, 31(5):231—235, 254
- [8] 于天仁, 季国亮. 加强土壤电化学研究占领土壤科学前沿. 土壤, 1994, 26(1):1—3, 30. Yu T R, Ji G L. Strengthening research on soil electrochemistry to occupy the forefront of soil science (In Chinese). Soils, 1994, 26(1):1—3, 30
- [9] 杨兴伦, 李航. 三种紫色土表面电荷性质的研究. 土壤学报, 2004, 41(4):577—583. Yang X L, Li H. Surface charge properties of acidic, neutral and calcareous purplish soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(4):577—583
- [10] 何毓蓉, 等. 中国紫色土: 下篇. 北京: 科学出版社, 2003:177—188. He Y R, et al. Purple soil in China; Part II (In Chinese). Beijing: Science Press, 2003:177—188
- [11] 丁武泉, 李航, 杨兴伦. 表面电荷性质对紫色土黏粒悬浮液稳定性影响研究. 水土保持学报, 2005, 19(5):174—177, 190. Ding W Q, Li H, Yang X L. Effect of stability of purplish soil colloids suspension by surface charge properties (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(5):174—177, 190
- [12] 丁武泉, 李航, 宋仲容, 等. 中性紫色土和砖红壤表面电荷性质的比较研究. 土壤通报, 2007, 38(6):1086—1091. Ding W Q, Li H, Song Z R, et al. Surface charge properties of neutral purplish soil and Latosol (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(6):1086—1091
- [13] 张效年, 蒋能慧. 土壤电化学性质的研究 III. 红壤胶体的电荷特征. 土壤学报, 1964, 12(2):120—131. Zhang X N, Jiang N H. Studies on electrochemical properties of soils III. Charge characteristics of the clay fraction of red soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1964, 12(2):120—131
- [14] 杨亚提, 张一平. 恒电荷土壤胶体表面的电荷特征. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(1):47—51. Yang Y T, Zhang Y P. Charge characteristics of constant charge soil colloids (In Chinese). Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2002, 30(1):47—51
- [15] 朱茂旭, 蒋新, 季国亮. 可变电荷土壤和恒电荷土壤与氢离子的反应动力学. 环境科学, 2001, 22(3):49—53. Zhu M X, Jiang X, Ji G L. Kinetics of interaction of H^+ with constant and variable charge soils (In Chinese). Chinese Journal of Environmental Science, 2001, 22(3):49—53
- [16] 李航. 土壤界面电化学性质测定的动力学方法研究. 重庆: 西南农业大学, 2000. Li H. Kinetic methods of soil interface electrochemical properties measured (In Chinese). Chongqing: Southwest Agricultural University, 2000
- [17] 徐明岗, 季国亮. 恒电荷土壤及可变电荷土壤与离子间相互作用的研究 II. 共存体系中 Cl^- 的吸附特性. 土壤学报, 2002, 39(2):161—169. Xu M G, Ji G L. Studies on the interaction of ions with constant charge soils and variable charge soils II. Characteristics of Cl^- adsorption in system co-existing cations and anions (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(2):161—169
- [18] 李成保, 季国亮. 恒电荷土壤和可变电荷土壤动电性质的研究 I. 阳离子吸附和 pH 的影响. 土壤学报, 1999, 36(3):354—360. Li C B, Ji G L. Studies on electrokinetic properties of constant charge soils and variable charge soils I. Effect of cation adsorption and pH (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(3):354—360
- [19] 李成保, 季国亮. 恒电荷土壤和可变电荷土壤动电性质的研究 II. 阴离子吸附和 pH 的影响. 土壤学报, 2000, 37(1):62—68. Li C B, Ji G L. Studies on electrokinetic properties of constant charge soils and variable charge soils II. Effect of anion adsorption and pH (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(1):62—68
- [20] 张效年, 赵安珍. 土壤电化学性质的研究 X. 红壤胶体的表面性状和离子专性吸附对表面电荷性质的影响. 土壤学报, 1988, 25(2):164—174. Zhang X N, Zhao A Z. Studies on electrochemical properties of soils X. Charge characteristics of red soils as affected by surface properties of the soil and specific adsorption of ions (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1988, 25(2):164—174
- [21] 杨宛龙, 路永莉, 同延安, 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. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1):68—77. Yang X L, Lu Y L, Tong Y A, et al. Effect of long-term N application and straw returning on N budget under wheat-maize rotation system (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(1):68—77
- [22] 李庆远, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题.

- 南昌:江西科学技术出版社,1998. Li Q K, Zhu Z L, Yu T R. The fertilizer problems in the sustainable development of China's agriculture (In Chinese). Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 1998
- [23] 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. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 296—303. Liu X Y, Ju X T, Zhang L J, et al. Effect of different N rates on fate of N fertilizer and balance of soil N of winter wheat (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 296—303
- [24] 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. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2535—2545. Zhang X J, Zhao Y, Chen X Q, et al. Effects of application of nitrogen on vegetable yield, nitrogen balance and soil nitrogen accumulation under two years' drip fertigation (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11): 2535—2545
- [25] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands. Science, 2010, 327 (5968): 1008—1010
- [26] 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. 土壤学报, 2010, 47(5): 896—904. Ding W Q, Li Q, Li H. Effect of surface charge properties on ion diffusion in soil colloid interface (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(5): 896—904
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 14—24. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 14—24
- [28] Li H, Hou J, Liu X M, et al. Combined determination of specific surface area and surface charge properties of charged particles from a single experiment. Soil Science Society of America Journal, 2011, 75(6): 2128—2135
- [29] 中国科学院成都分院土壤研究室. 中国紫色土: 上篇. 北京: 科学出版社, 1991: 175—179. Pedology Section of Chengdu Branch, Chinese Academy of Sciences. Purple soil in China: Part I (In Chinese). Beijing: Science Press, 1991: 175—179
- [30] 李航, 陈明树. 关于“恒电位表面”概念的讨论. 土壤学报, 1999, 36(2): 198—202. Li H, Chen M S. Discussion on the conception of “constant potential surface” (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(2): 198—202
- [31] 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. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 64—69. Tong Y A, Zhao Y, Zhao H B, et al. Effect of N rates on N uptake, transformation and the yield of winter wheat (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(1): 64—69
- [32] 同延安, Ove Emteryd, 张树兰, 等. 陕西省氮肥过量施用现状评价. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1239—1244. Tong Y A, Ove Emteryd, Zhang S L, et al. Evolution of over-application of nitrogen fertilizer in China's Shaanxi Province (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(8): 1239—1244
- [33] 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. 西南农业大学学报, 1991, 13(3): 296—301. Wang J, Chen S Z. Specific surface area of purple paddy soil in Sichuan and its main influencing factors (In Chinese). Journal of Southwest Agricultural University, 1991, 13(3): 296—301
- [34] 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. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2013, 38(3): 62—66. Yu Z H, Liu X M, Li H. Studies on surface charge properties of red soil, yellow soil and purple soil (In Chinese). Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition, 2013, 38(3): 62—66
- [35] 牟树森, 青长乐. 环境土壤学. 北京: 农业出版社, 1993: 114—117. Mou S S, Qing C L. Environmental soil science (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1993: 114—117
- [36] 廖柏寒, 戴昭华. 土壤对酸沉降的缓冲能力与土壤矿物的风化特征. 环境科学学报, 1991, 11(4): 425—431. Liao B H, Dai Z H. Soil buffering capacity to acid precipitation and weathering characteristic of soil minerals (In Chinese). Acta Scientiae Circumstantiae, 1991, 11(4): 425—431

EFFECT OF NITROGEN FERTILIZER ON SURFACE ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF PURPLE SOIL RELATIVE TO TYPE OF THE FERTILIZER

Huang Rong¹ Gao Ming^{1†} Wang Zifang¹ Yu Luo²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

(2 Bishan County Agricultural Technology and Popularization Center, Bishan, Chongqing 402760, China)

Abstract Purple soil is an important type of soil resource, occupying an important position in agricultural production in China. The soil column leaching method was used in this experiment to explore effects of nitrogen fertilizer on purple soil surface electrochemical properties relative to type of the fertilizer and on nitrogen balance in the soil-crop system. Results show that compared with the original soil, purple soils in all fertilization treatments increased in surface charge by 0.05 ~ 0.7 cmol kg⁻¹; the treatments low in nitrogen level (100 and 200 mg kg⁻¹) displayed an order of Treatments U

(Urea) > Treatments AS (ammonium sulfate) > Treatments AN (ammonium nitrate) in , surface charge; while the treatments high in nitrogen level (300 and 400 mg kg⁻¹) did a different order of Treatments AS > Treatments U > Treatments AN; purple soils in all the treatments increased in specific surface area, particularly in Treatment N1 (100 mg kg⁻¹ urea) being 78.04% higher than in CK; the effect of urea was much higher than the other two; Treatment L4 (400 mg kg⁻¹ ammonium sulfate) was the lowest in the effect, being only 0.06% higher; among the treatments the same in N level, Treatment AS was the highest in both surface charge density and electric field strength, while Treatment U the lowest; the effect was apparently higher in treatments low in N level than in treatments high in N level. Obviously, N fertilizers, different in type and application rate, varied in type and concentration of electrolyte, thus leading to change in soil pH and eventually in soil electrochemical properties and hence in soil nutrient holding capacity and nutrient availability. In this experiment, the non-electrolyte system, when low in concentration, can significantly affect the surface electrochemical properties of purple soil, but the effect is obvious only when strong electrolyte is high in concentration.

Key words Nitrogen fertilizer; Purple soil; Surface electrochemical properties; Balance of nitrogen

(责任编辑:陈德明)