

生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用

周志红^{1,2}, 李心清^{1*}, 邢英^{1,2}, 房彬^{1,2}, 张立科^{1,2}, 彭艳^{1,2}

(1. 中国科学院地球化学研究所, 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 淋洗作用是土壤氮肥损失途径之一, 也是环境水体氮素污染的重要途径。研发降低土壤氮素淋失的技术途径不仅有助于提高氮肥利用率和降低化肥的施用量, 而且有助于防治水体污染和改善生态环境。本文通过淋滤实验研究了生物炭对我国两种重要土壤类型黑钙土和紫色土氮素淋失的影响。由玉米秸秆制成的生物炭按 10 t/ha, 50 t/ha, 100 t/ha 的比例施用于土壤, 同时模拟田间尿素施用量 240 kg^o N/ha 并用相当于每天 10 mm 的降水量用去离子水淋洗土壤。对淋滤液氮素组成和含量分析结果显示, 在不施用生物炭的条件下, 黑钙土和紫色土总氮的淋失量分别占土壤(土壤+尿素)总氮含量的 7.5% 和 9.0%, 氮素的淋失主要发生在前 130 mm 降水过程中, 其淋失量占全部淋失量的 96%。在淋失的成分中, 除硝态氮外, 有机氮也是重要的组成物质, 二者均占淋失总氮量的 48%。生物炭的施用可以大幅度地降低氮素的淋失作用。50 t/ha 和 100 t/ha 的生物炭施用量降低黑钙土氮素淋失分别为 29% 和 74%, 减少紫色土氮素淋失分别达 41% 和 78%。但 10 t/ha 的生物炭施用量却增加黑钙土和紫色土氮素淋失量分别达到 22% 和 2%。这表明较低的生物炭施用量会促进氮素的淋失。生物炭对有机氮淋失的抑制作用大于硝态氮。100 t/ha 的生物炭施用量对有机氮和硝态氮淋失的降低率分别为 88% 和 62% 左右, 因土壤类型不同而有所差异。上述研究结果为寻求防治土壤氮素淋失的技术方法提供了理论依据。

关键词: 生物质焦炭; 黑碳; 氮循环; 氮肥; 淋失作用

中图分类号: S151+.22 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2011)02-0278-07

氮素化肥利用率低下问题是一个世界难题。国际上氮肥的作物利用率约在 33% 左右^[1,2], 每年氮肥的流失所造成的经济损失超过 159 × 10⁸ 美元^[3]。我国是一个农业大国, 为解决占世界 21% 人口的粮食问题, 氮肥的施用量从 1978 年的 5 × 10⁶ t 增长到了 2007 年的 23 × 10⁶ t^[4], 在许多地区尤其是我国东南沿海等农业高产地区其施用已呈过量之势^[5-7]。我国氮肥的作物利用率平均约为 35%, 损失率约为 45%^[6,8]。每年因氮素的损失造成的直接经济损失约为 200 × 10⁸ 元人民币。过量的氮肥施用和低下的作物利用率造成了氮素向环境中的流失, 由此引发环境水体富营养化问题和大气 N₂O、NO 和 NH₃ 的污染^[6,9-11]。但长期以来多肥增产的传统观念和过分依赖化肥提高或维持作物产量的做法使我国一时难以解决氮肥过量施用的问题。因此寻求减少土壤氮素流失的科学方法, 提高氮素在

土壤、尤其是根际层中的积累量具有重要的现实意义。

淋洗作用是土壤氮素损失途径之一^[3]。在此过程中氮素、尤其是硝态氮(NO₃⁻-N)易溶于土壤空隙水并随之下渗到作物根系活动层之下或被携带至环境水体之中, 从而不能被作物所利用。研究表明, 欧洲农业土壤氮素的淋失率约为 16 kg^o N/ha^[12], 北美地区为 29 ~ 48 kg^o N/ha^[13]。我国氮肥的淋失和径流损失大约为 7%, 其中淋洗损失约为 2%、径流损失约 5%^[6,8]。北方旱地土壤氮素的年淋失量为 4% ~ 19%^[6], 而南方稻田氮素的年淋失量为 6.8 ~ 27.0 kg^o N/ha^[14], 太湖地区达到 10 ~ 34 kg^o N/ha^[9]。氮素化肥的生产是温室气体、尤其是 N₂O 排放大户^[15], 在我国也是国家财政补贴的一个主要行业。过量的氮化肥施用不仅污染环境, 而且影响我国经济发展和减排目标的实现。因此提高氮肥利

收稿日期: 2010-12-24; 改回日期: 2011-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 40872212; No. 40721002); 贵州省农业攻关计划项目(黔科合 NY 字[2011] 3079 号)

第一作者简介: 周志红(1980-), 女, 博士研究生, 研究方向为土壤氮素地球化学循环及人工影响。E-mail: zhoushizhong06@hotmail.com

*通讯作者: 李心清, 研究员。E-mail: xinqinglee@hotmail.com

用率,减少土地 N 的流失和氮肥施用量对我国社会和经济也具有重要意义。

生物炭是作物秸秆等有机物质及其衍生物在无氧条件下碳化的产物,它具有改善土壤质量、保持土壤肥力等诸多作用^[16-19]。作为一个农业大国,我国年产秸秆 5×10^8 t 以上。如果生物炭施用于土壤能够减少氮素的流失、提高氮肥利用率,则不仅有助于解决氮肥的过量利用和由此造成的有关环境问题,而且为我国庞大秸秆资源的有效利用提供了一个新途径。最近有报导显示,生物炭应用于肥沙土(loamy sand)对土壤肥力具有显著的影响,它提高了土壤中 K 和 Na 的淋洗流失作用同时降低了 Ca、P、Mn 和 Zn 的淋失^[20]。对氮素淋失作用影响的研究显示,在生物炭施用量为 20 g/kg 的土壤处理中,硝态氮在淋洗持续约 14 周后出现淋失增加的现象。但由于生物炭的施用量总体上较低,其处理水平分别为 0、5、10 和 20 g/kg,因此淋洗结果之间的差别不甚明显^[21]。本研究加大了生物炭的施用量,因而也拉大了不同处理之间生物炭量的差别。通过土壤淋洗实验,研究了生物炭对我国东北地区 and 西南地区两种主要土壤类型氮素流失的影响。本文报导这一研究结果。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

1.1.1 供试土壤

供试土壤为在我国具有较大分布范围和重大经济意义的石灰性紫色土和黑钙土。前者发育于亚热带湿润季风气候区,在四川盆地和我国西南其他一些地区广泛分布。分布区年均气温 15°C 以上,年降水量 800 mm 以上^[22]。紫色土土层浅薄,有机质和氮素含量较低^[23];黑钙土发育于温带大陆性季风气候区,在我国东北地区广泛分布。分布区年均气温 $-3 \sim 3^\circ\text{C}$,年降水量 350~500 mm^[22]。黑钙土有机质含量较高,潜在肥力高^[24]。两种土壤类型分布地区均为我国重要的农业种植区。

紫色土供试土壤采于四川省南充市顺庆区李家镇(N31°03'58.14",E106°08'32.48");黑钙土供试土壤采于黑龙江省大庆市杜尔伯特蒙古族自治县他拉哈永升村(N46°09'31.85",E124°08'55.45")。采样深度为地表耕作层 0~20 cm 内。

1.1.2 生物炭

实验所用生物炭是玉米秸秆碳化的产物。碳化

过程的升温速率为 $18^\circ\text{C}/\text{min}$,最高温度为 550°C 。碳化率为秸秆重量的 30%。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计

实验共设四个处理,其生物炭与土壤干重比分别为 0%,1%,5%和 10%,相当于田间耕作施用量 0,10,50 和 100 t/ha。其中 0% 的处理为对照实验。每个处理下设 3 个重复。每个重复的土壤干重为 900 g。因为生物炭施用量的不同,四川和黑龙江 0%,1%,5%,10% 土柱的平均高度各自分别为:11.3,12.1,15.4,20.5 cm 和 12.5,14.4,17.1,22.1 cm。

生物炭与土壤均匀混合后,装入底面积为 60 cm^2 的塑料瓶中,并适当按压土柱,使其密度在大约 $1\text{ g}/\text{cm}^3$ 左右,与翻耕后土壤相当。在土柱上层 5 cm 均匀混入 0.309 g 的化学纯尿素,其施用量相当于 $240\text{ kg} \cdot \text{N}/\text{ha}$,与江苏和福建等中国东南部发达省份田间过度氮肥施用水平大致相当。

按上述方法准备好土柱后,每天加入相当于 10 mm 降水量的去离子水,并持续一周,以使施入土壤中的尿素完成铵化作用和硝化作用。之后加大降雨量,每天加入相当于 20 mm 降水量,持续 3 天。当首轮降水量达到 130 mm 时,淋洗出的土壤溶液方能满足分析的需求;第二轮加入的水量相当于 60 mm 降水量,每天加 10 mm 降水量,持续 6 天;此后每轮加入的水量相当于 50 mm 降水量,每天加 10 mm 降水量,持续 5 天。对每一轮的淋洗溶液,进行铵态氮、硝态氮和总氮等的含量测定。

1.2.2 测定方法

土壤和生物炭 pH 值采用国家标准“GB 7859-87 森林土壤 pH 值的测定^[25]”测量。方法要点为:用无 CO_2 蒸馏水作浸提液,浸提液与土壤的比例为 5:1;浸提液与生物炭的比例为 10:1。测试仪器是法国 Radiometer Analytical 公司生产的 pION65 多参数测定仪。每个样品测定三分平行,取其算术平均值,取一位小数。

土壤和生物炭 NH_4^+-N 含量采用 $2\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 浸提-靛酚蓝比色法测量^[25]。该方法的原理为:用 $2\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 溶液浸提土壤,把吸附在土壤胶体上的 NH_4^+ 及水溶性 NH_4^+ 浸提出来。土壤浸提液中的铵态氮在强碱性介质中与次氯酸盐和苯酚作用,生成水溶性染料靛酚蓝,用比色法测定。

土壤和生物炭 NO_3^--N 含量采样酚二磺酸比色

法^[26]测量。该方法的原理为:土壤浸提液中的 NO_3^- -N在蒸干无水条件下能与酚二磺酸试剂作用,生成硝基酚二磺酸,反应产物在酸性介质中无色,碱化后则为稳定的黄色溶液,用比色法测定。

土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法^[26]测量。该方法的原理为:在 $170 \sim 180^\circ\text{C}$ 条件下,用过量的标准重铬酸钾的硫酸溶液氧化土壤有机质(碳),剩余的重铬酸钾以硫酸亚铁溶液滴定,从所消耗的重铬酸钾量计算有机碳含量,再乘以1.724,即为土壤有机质含量。

淋滤液铵态氮含量采用国家标准“GB/T 7479-1987 纳氏试剂比色法”测量^[27]。该方法的原理为:以游离态的氨或铵离子等形式存在的氨氮与纳氏试剂反应生成淡红棕色络合物,用比色法测定。

淋滤液硝态氮含量按照国家标准“GB/T 8538-1995 紫外分光光度法^[28]”测定。该方法的原理为:在波长220 nm处,硝酸盐对紫外线光有强烈的吸收。溶解的有机质在波长220 nm及275 nm处均有吸收,而硝酸盐在275 nm处没有吸收,从而可以通过测定275 nm处的吸光度对硝酸盐的吸光度进行校正,校正吸光度 $A = A_{220} - 2A_{275}$ 计算硝态氮的含量。

淋滤液总氮含量按照国家标准“GB/T 11894-1989 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法”测定^[27]。该方法的原理为:在 60°C 以上水溶液中,过硫酸钾可分解产生硫酸氢钾和原子态氧,硫酸氢钾在溶液中离解而产生氢离子,故在氢氧化钠的碱性介质中可促使分解过程趋于完全。分解出的原子态氧在 $120 \sim 124^\circ\text{C}$ 的碱性介质条件下,可使水样中含氮化合物的氮元素转化为硝酸盐。并且在此过程中有机物同时被氧化分解。然后,用紫外分光光度计分别于波长220 nm和275 nm处测定其吸光度。按 $A = A_{220} - 2A_{275}$ 计算总氮的含量。

淋滤液有机氮的含量用总氮减去硝态氮和氨态氮的方法计算得出。

实验所用分光光度计为 Thermo AquaMate UV-Visible 分光光度计。所有分析和测试工作在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室完成。

2 结果与讨论

2.1 供试土壤和生物炭的物理和化学性质

黑钙土和紫色土的物理和化学性质如表1所

示。前者与后者相比,有机质含量高出27%,硝态氮含量高出291%。但二者的pH值和铵态氮的含量相近。

与黑钙土和紫色土相比,生物炭的pH值偏高,呈现出较强的碱性。其所含的矿物质氮中,铵态氮显著高于硝态氮。

表1 紫色土、黑钙土和生物炭的基本理化性质

Table 1 Physical and chemical characteristics of the soils and charcoal used in this study

类型	pH	有机质 (%)	N (%)	NO_3^- -N (mg/kg)	NH_4^+ -N (mg/kg)
黑钙土	8.5	1.9	0.18	20.7	3.6
紫色土	8.6	1.5	0.12	5.3	3.5
生物炭	10.3	—	—	1.0	8.6

2.2 生物炭对土壤氮素淋失的影响

2.2.1 生物炭对土壤总氮淋失的影响

在对照土壤中,黑钙土和紫色土在相同实验条件下总氮的累积淋失量分别为144 mg和125 mg,分别占土壤(土壤+尿素)总氮含量的7.5%和9.0%。黑钙土的氮素淋失量高出紫色土15%,这是因为前者的硝态氮含量较高所致。但由于黑钙土中有机氮含量较高,由此造成其总氮淋失量占土壤总氮量的比例低于后者。

生物炭的施用对黑钙土和紫色土的总氮淋失作用都有显著的影响。总体上看,随着生物炭施用量的增加,土壤中淋失的总氮量降低(图1)。但10 t/ha的生物炭施用量却表现出了对土壤中总氮淋失的促进作用。对黑钙土而言,当累积降水量达到390 mm时,与对照土壤相比,50和100 t/ha生物炭施用量降低总氮淋失量分别为29%和74%,而10 t/ha的生物炭施用量增加总氮淋失量22%。紫色土也表现出了同样的规律性。总氮淋失量在50和100 t/ha生物炭施用量条件下分别降低了41%和78%,在10 t/ha生物炭施用条件下淋失量提高2%。这一结果表明,生物炭的施用可以降低土壤中N素的淋失作用。但要达到这一目的,其施用量应达到一定的水平。从上述结果看,50 t/ha以上的生物炭施用量能够大幅度地降低土壤中氮素的淋失作用。

无论是黑钙土还是紫色土,氮的淋洗作用主要发生在前190 mm降水过程之中,尤其是前130 mm淋洗之中(图2)。两种土壤首次淋失量占全部淋失量的96%和97%。但首次淋失量所占的比重随生物炭施用量的增加而降低,以黑钙土为例,10、50和

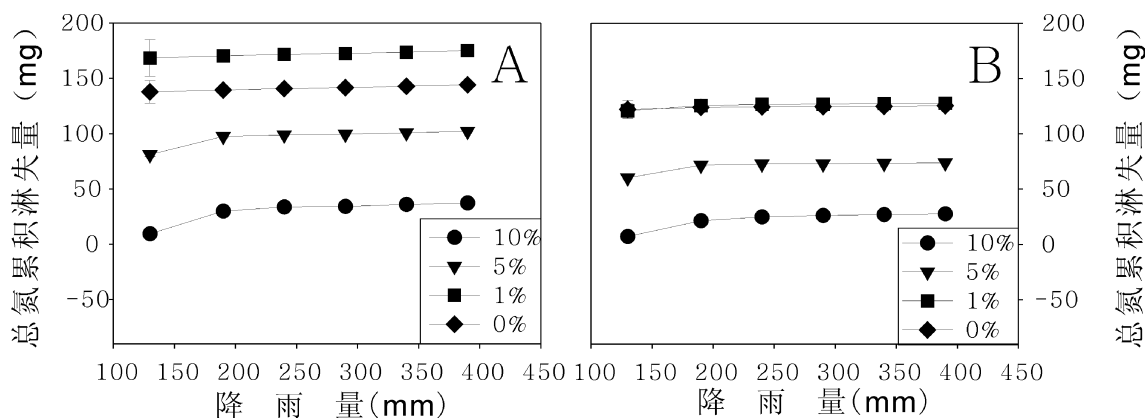


图 1 生物炭对土壤总氮淋失作用的影响。A—黑钙土；B—紫色土。

Fig. 1 The influence of biochar application on leaching loss of total nitrogen in soil. A-Chernozem; B-purplish soil.

100 t/ha 土壤处理中前 130 mm 降水量所造成的氮素淋失量分别是总淋失量的 96%、79%和 25%；紫色土是 95%、82%和 26%。由此可见，生物炭施用量的增加大幅度地降低氮素在前期淋洗过程中的淋失量。但在随后的 60 mm 降水过程中，氮素的淋失随生物炭施用量的增加而增加。黑钙土和紫色土再

次表现出了同样的规律性。这一现象表明，扰动(如翻耕)后的土壤，其氮素的淋失主要发生在第一次较大的降水过程之中。生物炭的施用大幅度地降低首次淋洗的损失量，从而增加了氮素保持在作物根际层的可能性。

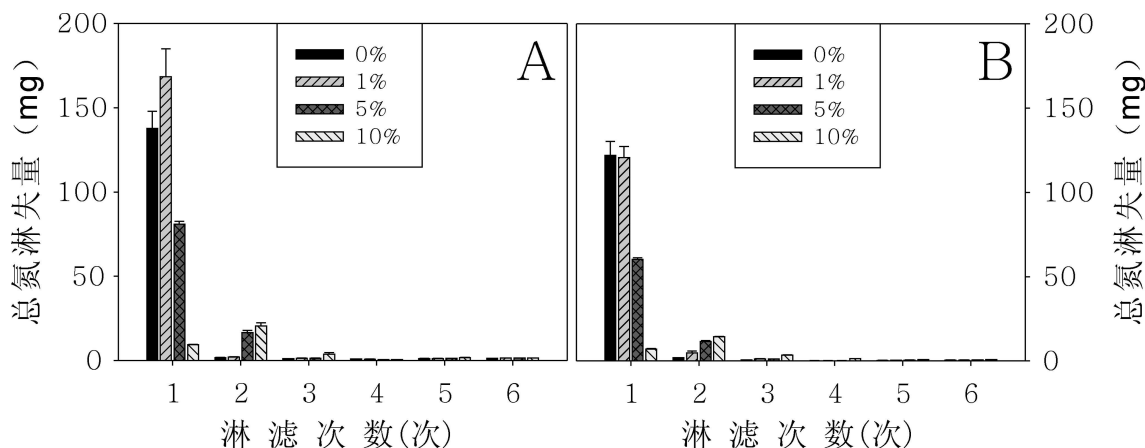


图 2 不同生物炭施用条件下土壤总氮淋失量随降水量的变化。A—黑钙土；B—紫色土

Fig. 2 The precipitation-induced leaching loss of total nitrogen in soils with different biochar amendments. A-Chernozem; B-purplish soil

2.1.2 生物炭对土壤硝态氮、有机氮和铵态氮淋失的影响

在上述对照的黑钙土和紫色土的总氮淋失量中，硝态氮的淋失量分别占总氮淋失量的 49%和 47%，有机氮的淋失量在两种土壤中均占总氮淋失量的 48%，铵态氮的淋失分别为 3%和 2%。长期以来，硝态氮被认为是土壤氮素淋失的主要组分，但本实验结果表明，有机氮与硝态氮一样是土壤氮素淋失的主要组分。硝态氮和有机氮的淋失量占总氮

淋失量的比例不仅在同一种土壤中相近，在黑钙土和紫色土之间，尽管其理化性质存在较大差异，硝态氮和有机氮淋失量占总氮淋失量的比例差别也甚微。

生物炭的施用对硝态氮和有机氮的淋失作用具有显著的影响(图 3)，随生物炭施用量的增加，硝态氮的淋失量显著降低。与对照土壤淋失量相比，10 t/ha 生物炭的施用量使黑钙土和紫色土硝态氮淋失量分别增加了 15%和 60%，50 t/ha 施用量使两

种土壤的硝态氮淋失量分别降低了 15% 和 27%，100 t/ha 生物炭施用量使两种土壤硝态氮的淋失量分别降低了 54% 和 70%。尽管不同生物炭施用量对两种土壤硝态氮淋失作用的影响规律相同，但对紫色土的影响大于黑钙土。黑钙土较高的有机质含量可能一定程度地缓冲了生物炭对其硝态氮的影响。与硝态氮相似，10 t/ha 生物炭的施用量使黑钙土的有机氮淋失量增加了 30%，而 50 和 100 t/ha 的施用量分别使有机氮的淋失量降低了 44% 和 89%。对紫色土而言，三种生物炭的施用量均降低

了有机氮的淋失量，降低率分别为 44%、52% 和 88%。10 t/ha 生物炭施用量对黑钙土和紫色土有机氮淋失作用的不同影响再次表明，生物炭对土壤氮素淋失的影响虽然总体规律相同，但对不同的土壤其施用量应该有不同的标准。由于有机氮不能被作物生长所利用，进入土壤孔隙水中的有机氮除少部分可能会被矿化外，其余全部淋失。因此生物炭对有机氮淋失作用的抑制作用对防治土壤氮素的淋失尤其具有重要的意义。

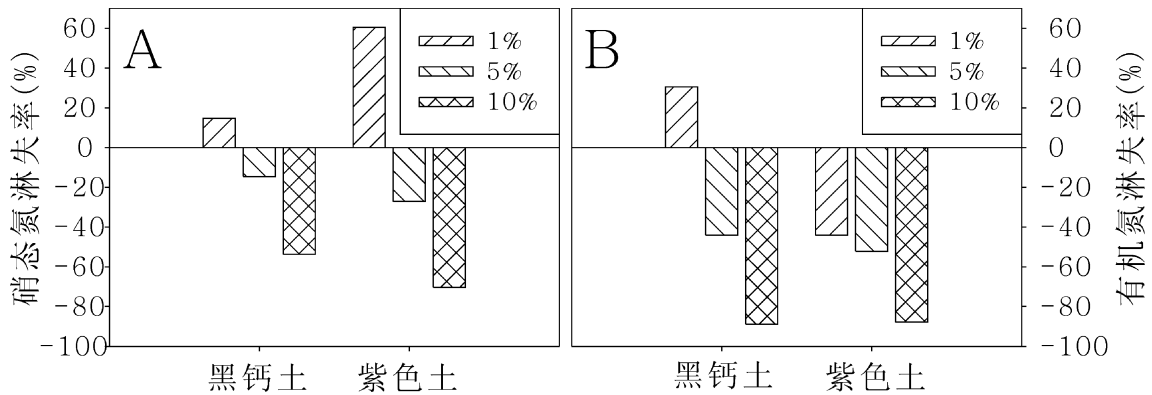


图3 生物炭对土壤中硝态氮和有机氮淋失作用的影响。A—硝态氮；B—有机氮。

Fig. 3 Influence of biochar on leaching loss of nitrate and organic nitrogen in soils A—Nitrate; B—organic nitrogen

铵态氮的淋失仅占土壤氮素淋失的很小一部分。生物炭对土壤铵态氮淋失的影响不同的施用量和不同的土壤之间均存在较大变化。如 10 t/ha 的施用量提高了黑钙土中铵态氮的淋失率 4%，但对紫色土而言，相同的生物炭施用量却降低了铵态氮淋失率 34%；100 t/ha 的生物炭施用量降低黑钙土中铵态氮的淋失率 7%，但却增加紫色土铵态氮淋失率 2%。由于铵态氮的淋失量很小，因此生物炭对土壤中铵态氮淋失作用的影响并不重要。

3 结论

黑钙土和紫色土的物理和化学性质存在较大差别，二者的总氮淋失量分别占土壤(土壤+尿素)氮含量的 7.5% 和 9.0%。氮素的淋失作用主要发生在土壤扰动后的前 130 mm 降水过程之中，其淋

失量占全部淋失量的 96% 以上。在土壤总氮淋失量中，以有机氮的形式流失的氮与硝态氮的流失量相近，各占总氮淋失量的 48% 左右。生物炭的施用大幅度地降低土壤中氮素的淋失作用，50 t/ha 的生物炭施用量降低黑钙土和紫色土总氮淋失量分别为 29% 和 41%，100 t/ha 的生物炭施用量降低黑钙土和紫色土总氮淋失量分别为 74% 和 78%。但 10 t/ha 的生物炭施用量却提高两种土壤氮素流失分别为 22% 和 2%。因此利用生物炭防治土壤氮素的淋失需要使施用量达到一定的水平。生物炭对有机氮淋失的抑制作用大于硝态氮。当生物炭施用量达到 100 t/ha 时，有机氮和硝态氮淋失的降低率分别为 88% 和 62% 左右，因土壤类型不同而有所差异。本研究表明在适当的施用量条件下，生物炭可以大幅度地降低土壤氮素的淋失作用。

参 考 文 献

- [1] Cassman K G, Dobermann A, Walters D T. Agroecosystems Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management[J]. *Ambio*, 2002, 31(2): 132-140.
- [2] Raun W R, Johnson G V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production[J]. *Agronomy Journal*, 1999, 91(3): 291-298.

357—363.

- [3] Delgado J A. Quantifying the loss mechanisms of nitrogen[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 57(6): 389—398.
- [4] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2007 年. 中国统计出版社, 2008.
- [5] Zhu Z L. Nitrogen balance and cycling in agroecosystems of China[M]. Dordrecht/Boston/ London: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [6] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China—Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 63(2—3): 117—127.
- [7] Mosier A R, Syers J K, Freney J R. Global assessment of nitrogen fertilizer: The SCOPE/IGBP nitrogen fertilizer rapid assessment project[J]. *Science in China Series C-Life Sciences*, 2005, 48: 759—766.
- [8] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. *土壤学报*, 2008, 45(5): 778—783.
- [9] Galloway J N, Aber J D, Erisman J W, *et al.* The Nitrogen Cascade[J]. *Bioscience*, 2003, 53(4): 341—356.
- [10] Meng L, Ding W X, Cai Z C. Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N₂O emissions, soil quality and crop production in a sandy loam soil[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37(11): 2037—2045.
- [11] Zou J W, Lu Y Y, Huang Y. Estimates of synthetic fertilizer N-induced direct nitrous oxide emission from Chinese croplands during 1980—2000[J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158(2): 631—635.
- [12] Velthof G L, Oudendag D, Witzke H R, *et al.* Integrated Assessment of Nitrogen Losses from Agriculture in EU-27 using MITERRA-EUROPE[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2009, 38(2): 402—417.
- [13] Jaynes DB, Colvin T S, Karlen D L, *et al.* Nitrate loss in subsurface drainage as affected by nitrogen fertilizer rate[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(4): 1305—1314.
- [14] Xing G X, Zhu Z L. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2000, 57(1): 67—73.
- [15] Wood S, Cowie A. A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production. In: Research and Development Division, State Forests of New South Wales. Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, 2004: 20.
- [16] Hayes M H B. Biochar and biofuels for a brighter future[J]. *Nature*, 2006, 443(7108): 144—144.
- [17] Woods W I, Falcao N P S, Teixeira W G. Biochar trials aim to enrich soil for smallholders[J]. *Nature*, 2006, 443(7108): 144—144.
- [18] Lehmann J, da Silva J P, Steiner C, *et al.* Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments[J]. *Plant and Soil*, 2003, 249(2): 343—357.
- [19] Lehmann J. A handful of carbon[J]. *Nature*, 2007, 447(7141): 143—144.
- [20] Novak J M, Busscher W J, Laird D L, *et al.* Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil[J]. *Soil Science*, 2009, 174(2): 105—112.
- [21] Laird D, Fleming P, Wang B Q, *et al.* Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2010, 158(3—4): 436—442.
- [22] Liao K. The National Physical Atlas of China. Beijing: China Cartographic Publishing House, 1999.
- [23] 全国土壤普查办公室. 中国土种志[M], vol. 6. 中国农业出版社, 1996.
- [24] 全国土壤普查办公室. 中国土种志[M], vol. 2. 中国农业出版社, 1994.
- [25] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 中国标准出版社, 1996.
- [26] 鲍士旦. 土壤化学分析(第二版)[M]. 中国农业出版社, 1988.
- [27] 中国标准出版社第二编辑室. 中国环境保护标准汇编—水质分析方法[M]. 中国标准出版社, 2001.
- [28] 谢贤群, 王立军. 水环境要素观测与分析[M]. 中国标准出版社, 1998.

Effect of Biochar Amendment on Nitrogen Leaching in Soil

ZHOU Zhi-hong^{1,2}, LEE Xin-qing¹, XING Ying^{1,2}, FANG Bin^{1,2},
ZHANG Li-ke^{1,2}, PENG Yan^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Leaching loss is a factor leading to nutrient depletion in soil, and also a major approach to the eutrophication of aquatic environments. How to slow down the nutrient loss in soils is to improve the utilization efficiency of chemical fertilizers, but also to prevent water environments from being polluted. The effect of Biochar on nitrogen leaching was examined in this study by amending the Chernozem and Purplish soils with charcoal from corn stover. The charcoal was mixed in soils at the equivalent rate of 10 t/ha, 50 t/ha and 100 t/ha, urea was applied in the top soil at the rate of 240kg N/ha. The soil treatments were watered at the increment of 10mm precipitation everyday. The analyses of the leachate showed that the leaching loss of total N in the control treatment accounts for 7.5% and 9.0% of the N inventories in the Chernozem and Purplish soils, respectively. The loss occurred predominantly in the first 130mm precipitation, and the leachate was composed mainly of organic N and nitrate N, each of which constitutes 48%. Biochar application can reduce the leaching loss significantly. The loss of total nitrogen in the Chernozem was reduced by 29% and 74% at 50 t/ha and 100 t/ha application rate, respectively, while 41% and 78%, respectively, in the Purplish soil. The loss was enhanced, however, at 10 t/ha application rate by 22% and 2% in the Chernozem and Purplish soils, respectively, suggesting that the low application rate of charcoal will exacerbate N leaching. The amelioration effect of charcoal on the leaching of organic N is stronger than that on the leaching of nitrate-N, by 88% vs 62% on average at 100 t/ha application rate. These results provided the basis for developing technologies to prevent the leaching loss of soil nitrogen.

Key words: biochar; black carbon; nitrogen cycle; synthetic fertilizer; leaching loss