

降雨对不同土地利用类型土壤水氮变化特征的影响

杨翠萍¹, 脱云飞¹, 张 岛¹, 马继敏¹, 吴耀中²

(1.西南林业大学生态与环境学院, 昆明 650224; 2.云南省昆明市晋宁区水务局, 昆明 650607)

摘要:以2018年6—10月降雨条件下园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的标准径流小区为研究对象, 裸地为对照, 通过研究降雨对园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮含量与土层深度和时间的变化特征, 经野外试验数据统计分析, 提出降雨对园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮含量与土层深度和时间变化特征的影响。结果表明: 降雨增加园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地土壤含水率, 加速土壤总氮、硝态氮和铵态氮水解转化硝化和反硝化速度, 影响土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮含量, 降雨与土壤含水率、总氮、硝态氮、铵态氮呈显著相关性($P < 0.05$)。降雨条件下园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤含水率随土层深度增大而增大, 土层深度100 cm处土壤含水率最大, 分别为30.34%, 27.67%, 24.98%, 24.03%和21.95%, 总氮随土层深度增大呈先增大后减小, 在土层深度为60 cm土壤总氮含量最大, 分别为1.02, 0.99, 0.90, 0.86, 0.75 g/kg, 硝态氮和铵态氮含量随土层深度增大而减小, 在土层深度为100 cm硝态氮和铵态氮含量均最小, 其中硝态氮含量分别为9.01, 7.89, 7.25, 6.10, 5.22 mg/kg, 铵态氮含量分别为9.41, 9.14, 6.40, 5.38, 4.37 mg/kg。土壤含水率随时间的延长先减小后增大又减小, 呈正弦变化趋势, 8月土壤含水率最大, 分别为22.97%, 22.01%, 19.87%, 19.03%和17.98%, 总氮随时间的延长先增大后减小, 8月总氮最大, 分别为1.09, 1.01, 0.94, 0.84, 0.76 g/kg, 硝态氮和铵态氮含量随时间的延长而逐渐减少, 6月硝态氮和铵态氮含量均最大, 其中硝态氮含量分别为13.40, 12.37, 11.20, 10.39, 8.67 mg/kg, 铵态氮含量分别为18.89, 17.02, 14.54, 12.02, 8.36 mg/kg。不同土地利用类型土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮平均值与土层深度和时间关系由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地, 研究结果为农田土壤水肥流失控制和养分利用提供理论技术支持。

关键词: 土地利用类型; 土壤氮素; 土壤含水量; 降雨

中图分类号: S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)06-0220-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.06.031

Effects of Rainfall on Soil Water and Nitrogen Change Characteristics Under Different Land Uses

YANG Cuiping¹, TUO Yunfei¹, ZHANG Dao¹, MA Jimin¹, WU Yaozhong²

(1. Ecology and Environment Department in Southwest Forestry

University, Kunming 650224; 2. Water Resources Bureau, Jinning District, Kunming 650607)

Abstract: Under the rainfall from June to October, 2018, the standard runoff plots in garden land, forest land, grassland, farmland and bare land were taken as research object, with the bare land as the control. The soil moisture contents, total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contents in different soil depth and time were studied in garden land, forest land, grass land, farmland and bare land. Through statistical analysis of field test data, the effects of rainfall on soil water and nitrogen change characteristics under different land uses were proposed. The results showed that the rainfall increased soil moisture content in garden land, forest land, grassland, farmland and bare land and accelerated soil total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen hydrolysis conversion of nitrification and denitrification rate, affected the soil moisture contents, total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contents. The rainfall had significant correlations ($P < 0.05$) with soil moisture contents, total nitrogen, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen. Under rainfall, soil moisture content increased with the soil depth in garden land, forest land,

收稿日期: 2019-04-29

资助项目: 国家自然科学基金项目(51279157); 云南省教育厅科学研究基金项目(2015Y295); 云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设项目; 云南省高校土壤侵蚀与控制重点实验室项目

第一作者: 杨翠萍(1995—), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与控制研究。E-mail: 17853482159@163.com

通信作者: 脱云飞(1976—), 男, 博士, 硕士生导师, 副教授, 主要从事农业水资源规划和利用研究。E-mail: tyunfei@163.com

grassland, farmland and bare land. At soil depth of 100 cm, soil moisture content was the largest, which were 30.34%, 27.67%, 24.98%, 24.03% and 21.95%, respectively. Total nitrogen contents increased first and decreased then with the increasing soil depth, and at the soil depth of 60 cm, soil total nitrogen was the largest, which were 1.02, 0.99, 0.90, 0.86 and 0.75 g/kg, respectively. Nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contents decreased with the increasing soil depth. The nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contents at soil depth of 100 cm were the smallest, among which the nitrate nitrogen was 9.01, 7.89, 7.25, 6.10, 5.22 mg/kg, and the ammonium nitrogen was 9.41, 9.14, 6.40, 5.38, 4.37 mg/kg, respectively. With the time, soil moisture contents decreased first, then increased, and then decreased at last, showing a positively cosine changing trend. Soil moisture contents was the largest in August, which were 22.97%, 22.01%, 19.87%, 19.03% and 17.98% respectively. Total nitrogen first increased and then decreased with time, with the largest in August, which were 1.09, 1.01, 0.94, 0.84 and 0.76 g/kg, respectively. Nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contents reduced gradually with time. Soil nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contents were larger in June. Soil nitrate contents were 13.40, 12.37, 11.20, 10.39, 8.67 mg/kg, ammonium nitrogen 18.89, 17.02, 14.54, 12.02, 8.36 mg/kg, respectively. The relationships between average soil moisture contents, total nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen contents and soil depth and time in different land uses were following as: garden>woodland>grassland>sloping land>bare land. This study could provide theoretical and technical support for soil water and fertilizer loss control and nutrient utilization in farmland.

Keywords: land use; soil nitrogen; soil moisture content; rainfall

土壤氮素是植物生长发育所必需的营养元素之一,其运移和含量对流域内水环境和生态过程具有非常重要的影响^[1],直接制约土壤生产能力,自然状态下土壤养分含量完全取决于物质基础及环境条件^[2]。土壤养分在不同的地理单元和时段内,受到土地利用方式的影响,呈现出不同的空间变异规律,具有显著的区域性^[3-4],是土壤肥力的重要标志^[5]。不同的土地利用类型直接影响土壤养分特征以及氮磷钾等营养成分的存储和转化^[6]。土地利用类型作为人类利用土地各种活动综合性的反映是影响土壤氮磷钾元素最直接、最深刻的因素^[7]。雨强、降雨动能和降雨量等均是降雨的特征因子^[8],在诸多气象因素中,降雨因素是导致土壤侵蚀最主要的动力因子,植被对降雨的再分配作用,可以有效防止水土流失的发生^[9-10]。近几年,国内外学者也对土壤养分特征做了大量研究,Foroughifar 等^[11]研究了土壤微量元素的变异特征,结果表明地下水位、土壤成土过程是影响土壤微量元素空间变异的重要因素;即使在同样的地类和气候条件下,种植模式不同也会产生水肥输入的差异,导致土壤氮素迁移、转化和吸收利用产生变化,从而导致不同土壤氮素淋失特征^[12]。Varma 等^[13]模拟氮沉降和磷沉积,通过外源添加 N、P 养分研究对于干旱区植被生长初期的发芽率和水分调节影响机制,预测全球变化引起氮磷沉积对植物的影响。Usowicz 等^[14]研究了土壤空间变对水氮淋失风险和产量的影响。不同土层深度对水分和氮肥利用都有较大影响^[15],赵勇等^[16]研究了太行山丘陵区不同年

龄段栎树种 N、P、Ca 养分元素在植被—土壤系统的积累、分布和营养循环特征。赵明松等^[17]采用地统计学方法和 GIS 技术研究了土壤有机质、总氮等养分含量的空间变异特征和影响因素,表明土壤养分空间分布主要受地形和土壤类型影响。不同土地利用类型条件土壤物理性质的变化和土壤养分空间分异特征显著^[18]。不同土地利用类型土壤水分随土层深度的迁移特点也不同,王艳萍等^[19]对黄土塬典型地区长武塬区不同土地利用方式下 0—600 cm 剖面土壤水分分布特征进行了研究,并分析不同土地利用方式下土壤水分的补充深度与消耗深度;柴锦隆等^[20]关于降水对高寒草甸土壤养分和酶活性的影响的研究表明,适度的降水有助于提高草地土壤酶活性,且降水对草地养分的影响更为深刻。目前,虽然对不同土地类型土壤水分和土壤氮素的变化特征已做了大量研究,但对滇中高原不同土地类型土壤水氮随土层深度和时间的研究尚少,本文以云南省晋宁县大春河小流域降雨条件下林地、园地、裸地、坡耕地和荒草地的标准径流小区为研究对象,研究了降雨条件下不同土地类型土壤水分、总氮、硝态氮和铵态氮随土层深度和时间变化特征,该文对进一步研究土壤水分养分流失控制、提高土壤肥力提供理论技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在晋宁县大春河小流域水土保持生态科技示范园生态试验区内进行。大春河小流域位于云南省晋宁县城西南宝峰镇境内(24°33′—24°37′N,102°33′—

102°38'E)。属于低纬度高原亚热带气候区,年均气温 14.9℃,年均降水量 950 mm,干湿季分明^[21],雨季为 5 月下旬至 10 月下旬,暴雨基本出现在雨季,年平均径流深 30 mm,年均蒸发量为 900 mm。流域内土壤主要类型有红壤、紫色土、冲积土、岩土和水稻土五大类。大春河流域是长江中上游地区水土流失严重区域,是云南高原红土区水土流失的重要代表类型,云南省将其列为水土流失治理重点示范区。

1.2 试验设计

试验共布设了 10 个标准径流小区,每个径流小区长 20 m,宽 5 m,面积为 100 m²,其中每 2 个径流小区为 1 个重复,土地利用类型分别为林地(柏树)、园地(梨树)、裸地、坡耕地(玉米和土豆)和荒草地 5 种,其中裸地为对照,土地利用类型均处于自然条件下,无人为干扰,园地和坡耕地不进行施肥处理,径流小区旁边设自动气象站 1 座,用于观测降雨、温度和湿度等气象资料。分别在径流小区的上部、中部和下部采集土样,每个部位采集土样土壤深度分别为 0, 20, 40, 60, 80, 100 cm,采样时间分别为 2018 年 6 月 13 日、7 月 15 日、8 月 16 日、9 月 15 日和 10 月 13 日。采集土样带回实验室后一部分用烘干法测定土壤含水率,另一部分立即将鲜土样在室内铺在牛皮纸上,自然风干后去除石块、根茎及各种新生体和侵入体,研磨,过 0.25, 1.00 mm 筛后测定土壤总氮、硝态氮和铵态氮含量。

1.3 样品分析及数据分析

土壤含水率采用烘干法测定,降雨量采用自动气象站观测,土壤总氮含量采用凯式蒸馏法测定,样品在加速剂的参与下,采用浓 H₂SO₄ 消煮时,各种含氮有机化合物,经过复杂的高温分解反应,转化为铵态氮。碱化后蒸馏出来的氨用硼酸吸收,以酸标准溶液滴定,计算土壤总氮含量。土壤 NO₃⁻-N 和土壤 NH₄⁺-N 含量采用可见分光光度计法测定,具体操作按土水重量比 1:10 加入 0.01 mol/L CaCl₂ 溶液进行浸提,振荡 300.00 min、悬液静置 30.00 min 后,倾出上清液,用中速无氮定量滤纸过滤,过滤后的溶液一部分用紫外分光光度计测定土壤硝态氮的浓度;另一部分加入活性炭,取出 2.50 mL 先加 20.00 mL 的蒸馏水,再加 1.00 mL 酒石酸钾钠试剂溶液,最后加 20.00 mL 的蒸馏水得到浸提液,采用可见分光光度计测定土壤铵态氮的浓度。采用 Excel 2016、SPSS 24.0 统计分析软件进行数据处理分析。

2 结果与分析

2.1 降雨量变化特征

图 1 为 2018 年 6—10 月降雨量过程线。由图 1 可知,2018 年 6—10 月降雨量变化大,随机性强。经

统计分析,7 月 25 日降雨量最大,为 39.50 mm,7 月 20 日、8 月 18 日、8 月 23 日、9 月 16 日、10 月 14 日和 10 月 15 日降雨量较小,均为 0.10 mm,6—10 月累积降雨量为 678.90 mm,其中 6, 7, 8, 9, 10 月的累积降雨量分别为 201.80, 91.20, 238.00, 102.30, 45.60 mm,降雨主要集中在 6, 8 月。6, 7, 8, 9, 10 月的月平均降雨量分别为 6.73, 3.04, 7.93, 3.41, 1.52 mm。6, 7, 8, 9, 10 月的降雨天数分别为 20, 17, 25, 23, 15 天,则其降雨强度分别为 0.42, 0.22, 0.40, 0.19, 0.13 mm/h。

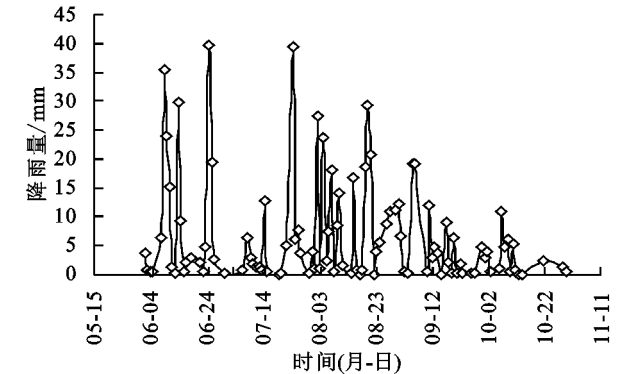


图 1 降雨量过程线

2.2 不同土地利用类型土壤水氮随土层深度的变化

图 2~图 5 分别表示园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮含量随土层深度的变化。

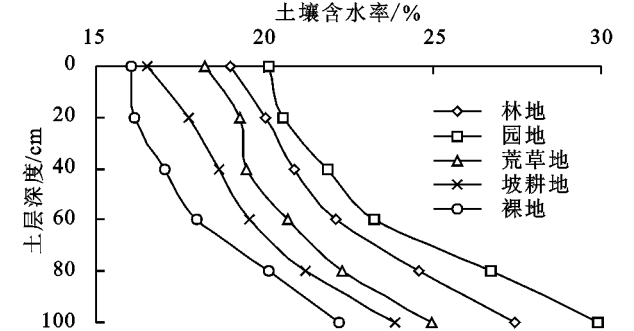


图 2 不同土地利用类型土壤含水率随土层深度的变化

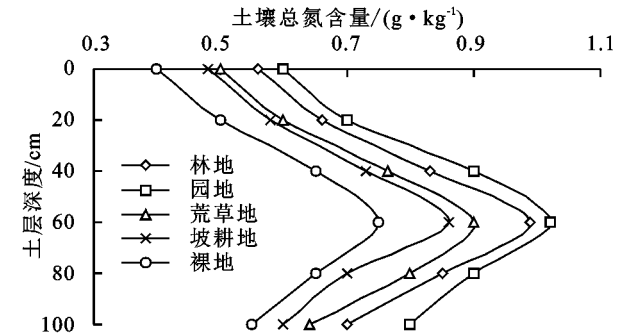


图 3 不同土地利用类型土壤总氮随土层深度的变化

由图 2 可知,园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤含水率随土层深度增大而增大,土层深度 100 cm 处土壤含水率最大,分别为 30.34%, 27.67%, 24.98%, 24.03% 和 21.95%,土壤含水率最低处为地表。不同土地利用类型的土壤含水率平均值由大到

小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地,土层深度为 100 cm 内林地、荒草地、坡耕地和裸地比园地土壤含水率平均值分别减少 8.53%,16.71%,20.45%和 25.92%。其原因为 6—10 月降雨量大,降雨入渗使土壤水分向深层运移,之后产生径流引起水土流失,又受蒸发的影响使其土壤地表含水率低,深层含水率高。降雨量越大,土壤累积入渗量越大,土壤含水率增大,之后产生径流越多,水土流失越严重。园地和林地土壤疏松,降雨入渗量大,保水保肥能力强。园地种植梨树为经果林,水肥管理水平高,林冠幅大,枯枝落叶层比较厚,且树木的根系发达,林冠遮阴使太阳辐射量减少,土壤水分蒸发减少,土壤含水量最高;林地次之,荒草地植被稀疏,覆盖度低,无扰动,土壤密实,而坡耕地受耕作影响,土壤疏松,覆盖度低,保水能力差;裸地无覆盖,蒸发量大,水土流失严重,使土壤含水率最低。

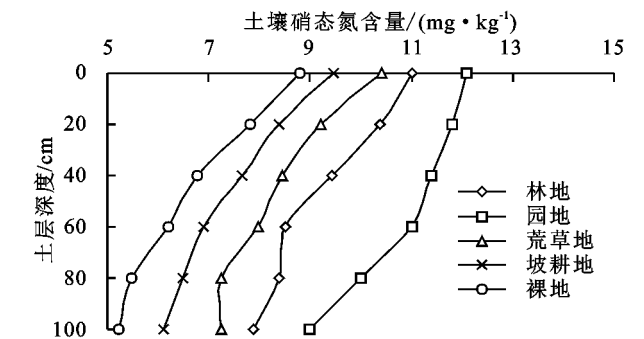


图 4 不同土地利用类型土壤硝态氮随土层深度的变化

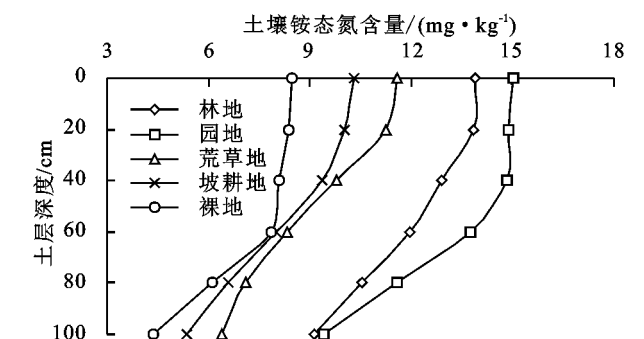


图 5 不同土地利用类型土壤铵态氮随土层深度的变化

由图 3 可知,园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤总氮含量随土层深度的增大先增大后减小,在土层深度为 60 cm 土壤总氮含量最大,分别为 1.02,0.99,0.90,0.86,0.75 g/kg,土壤总氮含量最低处为地表。不同土地利用类型的土壤总氮平均值由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地,土层深度为 100 cm 内林地、荒草地、坡耕地和裸地比园地土壤总氮平均值分别减少 6.71%,14.53%,19.72%和 28.86%。究其原因为:土壤总氮含量受到氮素输入和输出影响,植物枯枝落叶归还、生物固氮以及降雨入渗是氮素的主要来源。降雨后土壤含水率增大,土壤总氮随土壤水分向土壤深层运移,运移到土层深度

60 cm 受到植物主根系吸附使土壤总氮聚集。园地和林地的枯枝落叶多、降雨入渗量大使土壤总氮含量高;而荒草地和坡耕地枯枝落叶和降雨入渗量小,受水土流失和土壤侵蚀的影响保水保肥能力低使土壤总氮低,裸地没有任何水保措施,水土流失严重,水肥流失严重,土壤总氮含量最低。

由图 4 可知,园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤硝态氮含量随土层深度的增大而减小,在土层深度为 100 cm 土壤硝态氮合力最小,分别为 9.01,7.89,7.25,6.10,5.22 mg/kg,土壤硝态氮含量最高处为地表。不同土地利用类型的土壤硝态氮含量平均值由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地,土层深度为 100 cm 内林地、荒草地、坡耕地和裸地比园地土壤硝态氮含量平均值分别减少 14.81%,22.59%,31.04%和 38.32%。其原因为地表分解归还的枯枝落叶输入土壤的氮素,地表枯枝落叶多,输入氮素大,氮素受降雨随土壤水分运移转化土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 受降雨淋洗向土壤深层运移,致使土壤硝态氮含量随土层深度增大而减小。园地和林地地表枯枝落叶分解输入的氮素大,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 大,而荒草地、坡耕地枯枝落叶少,土壤侵蚀量大,水肥流失量大,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 小,裸地无水保措施,降雨入渗量低致使土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量最小。

由图 5 可知,园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤铵态氮含量随土层深度的增大而减小,在土层深度为 100 cm 土壤铵态氮含量最小,分别为 9.41,9.14,6.40,5.38,4.37 mg/kg,土壤硝态氮含量最高处为地表。不同土地利用类型的土壤铵态氮含量平均值由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地,土层深度为 100 cm 内林地、荒草地、坡耕地和裸地比园地土壤铵态氮平均值分别减少 9.06%,31.52%,37.48%和 45.54%。究其原因为:降雨水解氮素后 NH_4^+ 带正电与带负电土壤胶体吸附, NH_4^+ 聚集地表,致使地表土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 高,土壤深层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 低,同时土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 受降雨淋洗向土壤深层运移。园地和林地地表枯枝落叶分解输入的氮素大,分解土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 大,而荒草地、坡耕地枯枝落叶少,保水保肥差,土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量小,裸地无水保措施,水土流失量大使土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 合力最小。

2.3 不同土地利用类型土壤水氮随时间的变化

图 6~图 9 分别表示园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮随时间的变化。

由图 6 可知,园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤含水率随时间的延长先减小后增大又减小,呈正弦弦变化趋势,8 月土壤含水率最大,分别为 22.97%,

22.01%,19.87%,19.03%和 17.98%,10 月土壤含水率最低。不同土地利用类型的土壤含水率平均值由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地,6—10 月林地、荒草地、坡耕地和裸地比园地土壤含水率平均值分别减少 5.39%,11.92%,16.81%和 21.96%。究其原因:6,7,8,9,10 月的累积降雨量分别为 201.80,91.20,238.00,102.30,45.60 mm,降雨量大,土壤累积入渗量大,土壤含水率增大,降雨结束,土壤蒸发,土壤含水率减少,8 月土壤含水率最大,10 月最小。6—10 月为雨季,园地和林地降雨入渗量大,具有涵养水源和保水保肥能力,并且园地水肥管理水平高,园地土壤含水率高,林地次之。荒草地和坡耕地降雨入渗量低,蒸发量大,而裸地土壤入渗量最低,蒸发量最大,土壤含水率最低。

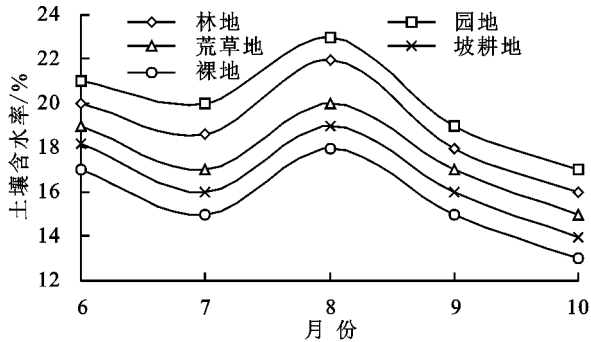


图 6 不同土地利用类型土壤含水率随时间的变化

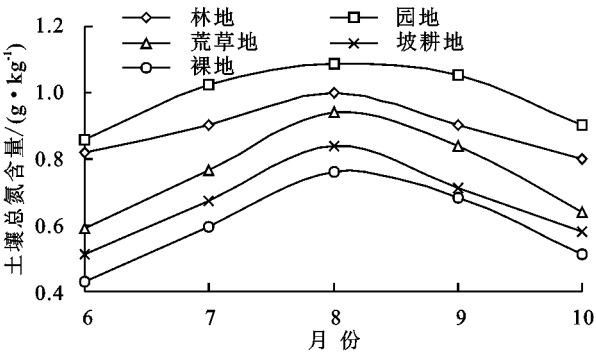


图 7 不同土地利用类型土壤总氮随时间的变化

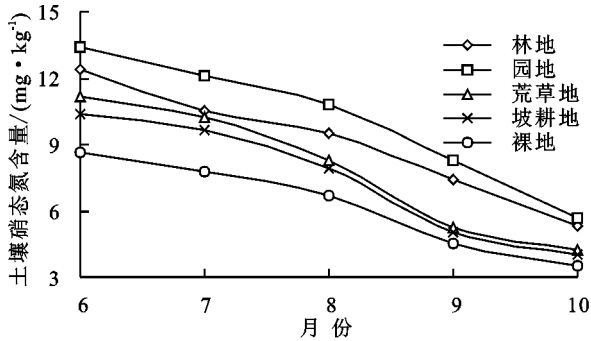


图 8 不同土地利用类型土壤硝态氮随时间的变化

由图 7 可知,园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤总氮随时间的延长先增大后减小,8 月土壤总氮含量最大,分别为 1.09,1.01,0.94,0.84,0.76 g/kg,6 月土壤总氮含量最低。不同土地利用类型的土

壤总氮平均值由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地,6—10 月林地、荒草地、坡耕地和裸地比园地土壤总氮平均值分别减少 10.31%,23.34%,32.63%和 39.40%。究其原因:8 月降雨量最大,降雨分解枯枝落叶速度快,土壤输入氮素增大,土壤总氮含量最大,而 6 月进入雨季,降雨分解枯枝落叶刚开始,土壤输入氮素少,土壤总氮含量最小。园地和林地枯枝落叶层厚,腐殖质含量多,降雨使其土壤总氮输入多,土壤总氮含量增大,园地枯枝落叶极易分解,土壤总氮含量最大,林地次之;而荒草地和坡耕地枯枝落叶层薄,蒸发量大,水分较少,分解速度慢,裸地无地枯枝落叶,土壤总氮含量最少。

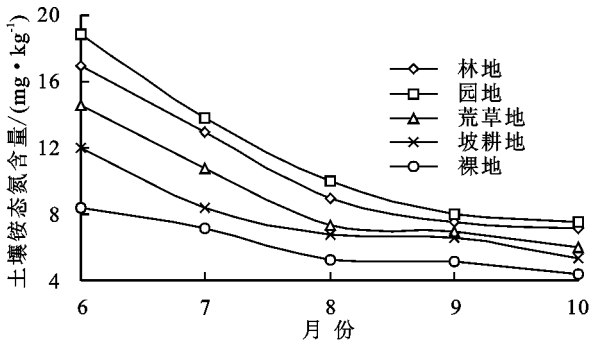


图 9 不同土地利用类型土壤铵态氮随时间的变化

由图 8 可知,园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤硝态氮含量随时间的延长而逐渐减少,6 月土壤硝态氮含量最大,分别为 13.40,12.37,11.20,10.39,8.67 mg/kg,10 月土壤硝态氮含量最低。不同土地利用类型的土壤硝态氮平均值由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地,6—10 月林地、荒草地、坡耕地和裸地比园地土壤硝态氮平均值分别减少 10.23%,21.98%,26.47%和 38.04%。究其原因:6—10 月为雨季,土壤氮素与雨水水解为土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 相互转化和硝化,雨水淋洗土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,植物根系吸收,土壤蒸发,土壤氮素挥发,使其土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 随时间逐渐减少。园地和林地输入的氮素大,覆盖度高,具有保水保肥功能,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 大,而裸地外源输入氮素小,分解转化硝化小,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 最小。

由图 9 可知,园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤铵态氮随时间的延长而逐渐减少,6 月土壤铵态氮含量最大,分别为 18.89,17.02,14.54,12.02,8.36 mg/kg,10 月土壤铵态氮含量最低。不同土地利用类型的土壤铵态氮平均值由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地,6—10 月林地、荒草地、坡耕地和裸地比园地土壤铵态氮平均值分别减少 7.84%,21.51%,32.85%和 48.08%。其原因为 6—10 月园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地均不施肥,土

壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 既供给植物生长,又相互转化硝化和淋洗,使其土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 逐渐减少,园地和林地储存氮素功能强,园地水肥管理水平高,使其土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 最大,林地次之,而裸地水土流失和土壤侵蚀严重,养分流失最大,使其土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 最小。

2.4 不同土地利用类型土壤水氮的相关性分析

通过对降雨条件下园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮随土层深度和时间的试验数据分析,得到不同土地利用类型土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮与降雨量、土层深度、时间的相关性,具体见表 1。

表 1 不同土地利用类型土壤水氮的相关性

指标	相关性	土壤含水率	土壤总氮	土壤硝态氮	土壤铵态氮
土层深度	Pearson 相关性	0.769 **	0.441 *	-0.606 **	-0.590 **
	P 值	0	0.015	0	0.001
时间	Pearson 相关性	-0.488 *	0.107	-0.866 **	-0.756 **
	P 值	0.013	0.612	0.001	0.002
降雨量	Pearson 相关性	0.739 **	0.684	0.551 **	0.748
	P 值	0	0.028	0.004	0.039

注: * 表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著; ** 表示在 0.01 级别(双尾)相关性显著。

结果表明,降雨条件下园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮与土层深度的相关系数分别为 0.769,0.441,-0.606,-0.590,其中土壤含水率、硝态氮、铵态氮含量呈极显著相关($P < 0.01$),而总氮与土层深度呈显著相关性($P < 0.05$)。硝态氮(相关系数为-0.866, $P = 0.001$)、铵态氮(相关系数为-0.756, $P = 0.002$)与时间变化呈极显著相关性。总氮含量与时间的相关性不显著($P > 0.05$);而土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮与降雨量的相关系数分别为 0.739,0.684,0.551 和 0.748,呈极显著相关性,土壤含水率、总氮、硝态氮、铵态氮与降雨呈显著相关性($P < 0.05$)。

3 讨论

不同土地利用类型对于调节生态环境系统的总氮、全磷等养分含量有着非常重要的作用,Chen 等^[22]对世界上的干旱、半干旱土地利用从耕地转为草地再转为灌丛的研究证实这点。土壤含水率的高低反映土壤的水分状况,土壤水分是生态系统平衡的重要指标。本研究表明,不同土地利用类型土壤含水率总体变化趋势为随土层深度的增加逐渐增大;受降水和气温的影响,土壤含水率随季节呈波动性变化,这与黄鹏^[23]对于黄土丘陵区不同地类土壤含水率在空间和时间的研究结果一致。土壤总氮、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 是土壤质量的重要指标^[24],林地、园地、裸

地、坡耕地和荒草地表层土壤(0—20 cm)土壤总氮含量分别为 1.12,0.66,0.53,0.51,0.49 g/kg,反映植被的盖度、郁闭度等因素对土壤养分含量的影响。氮是植物生长和产量形成的关键因素^[25]。本研究表明,园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤总氮含量在土层深度为 60 cm 时达到峰值,之后逐渐递减。土壤总氮含量随时间的变化在 8 月出现最大值,但是坡耕地的变化却与之相反,坡耕地受人为影响大,且种植作物土壤氮素被作物吸收利用。土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 具有明显的“表聚性”,即表层土壤中的含量较高,这与张亚娟等^[26]关于不同土地利用类型土壤养分垂直分布的研究结果相似。不同土地利用类型土壤养分具有高度的空间上的变异性^[27-28],这有利于不同土地利用类型采取不同的施肥技术,从而可以有效提高肥料养分的利用率,保持和提高土壤肥力,促进可持续发展^[29]。

4 结论

(1)降雨增加园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地土壤含水率,加速土壤总氮、硝态氮和铵态氮水解转化硝化和反硝化速度,影响土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮含量,降雨与土壤含水率、总氮、硝态氮、铵态氮呈显著相关性。

(2)降雨条件下园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤含水率随土层深度的增大而增大,100 cm 深度处土壤含水率最大,总氮含量随土层深度的增大先增大后减小,60 cm 深度总氮含量最大,硝态氮和铵态氮含量随土层深度的增大而减小,地表处土壤硝态氮和铵态氮含量最大,不同土地利用类型的土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮平均值由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地。

(3)降雨条件下园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地的土壤含水率随时间的延长先减小后增大又减小,呈正余弦变化趋势,8 月土壤含水率最大,总氮含量随时间的延长先增大后减小,8 月土壤总氮含量最大,硝态氮和铵态氮含量随时间的延长而逐渐减少,6 月硝态氮和铵态氮含量最大,不同土地利用类型的土壤含水率、总氮、硝态氮和铵态氮平均值由大到小依次为园地、林地、荒草地、坡耕地和裸地。

参考文献:

[1] 徐国策,李占斌,李鹏,等.丹江中游典型小流域土壤总氮的空间分布[J].地理学报,2012,67(11):1547-1555.
[2] 杨林章,徐琪.土壤生态系统[M].北京:科学出版社,2005.
[3] 刘沛松,王健胜,楚纯洁,等.豫西低山丘陵区不同土地利用方式对陡坡地土壤理化性状的影响[J].干旱地区

- 农业研究,2014,32(1):208-212.
- [4] 范夫静,宋同清,黄国勤,等.西南峡谷型喀斯特坡地土壤养分的空间变异特征[J].应用生态学报,2014,25(1):92-98.
- [5] 徐志超,宋彦涛,乌云娜,等.放牧影响下克氏针茅草原不同物候期土壤酶活性与微生物生物量的变化[J].生态学杂志,2016,35(8):2022-2028.
- [6] 白军红,丁秋档,高海峰,等.向海湿地不同植被群落下土壤氮素的分布特征[J].地理科学,2009,29(3):381-384.
- [7] 宋成军,张玉华,刘东生,等.土地利用/覆被变化(LUCC)与土壤重金属积累的关系研究进展[J].生态毒理学报,2009,4(5):617-624.
- [8] 朱燕琴,赵志斌,齐广平.黄土丘陵区植被类型和降雨对坡面侵蚀产沙的影响[J].水土保持学报,2019,33(2):9-16.
- [9] 林锦阔,李子君,许海超,等.降雨因子对沂蒙山区不同土地利用方式径流小区产流产沙的影响[J].水土保持通报,2016,36(5):7-12.
- [10] 艾宁,魏天兴,朱清科.陕北黄土高原不同植被类型下降雨对坡面径流侵蚀产沙的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):26-30.
- [11] Foroughifar H, Jafarzadeh A A, Torabi H, et al. Using geostatistics and geographic information system techniques to characterize spatial variability of soil properties, including micronutrients [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2013, 44(8): 1273-1281.
- [12] Joseph G, Henry H. Soil nitrogen leaching losses in response to freeze-thaw cycles and pulsed warming in a temperate old field[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(7):1947-1953.
- [13] Varma V, Iyengar S B, Sankaran M. Effects of nutrient addition and soil drainage on germination of N-fixing and non-N-fixing tropical dry forest tree species[J]. Plant Ecology, 2016, 217(8):1043-1054.
- [14] Usowicz B, Lipiec J. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil [J]. Soil and Tillage Research, 2017, 174:241-250.
- [15] Leip A, Britz W, Weiss F, et al. Farm, land, and soil nitrogen budgets for agriculture in Europe calculated with CAPRI [J]. Environmental Pollution, 2011, 159(11):3243-3253.
- [16] 赵勇,王鹏飞,樊巍,等.太行山丘陵区不同龄级栓皮栎人工林养分循环特征[J].中国水土保持科学,2009,7(4):66-71.
- [17] 赵明松,张甘霖,李德成,等.苏中平原南部土壤有机质空间变异特征研究[J].地理科学,2013,33(1):83-89.
- [18] 高雪松,邓良基,张世熔.不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J].水土保持学报,2005,19(2):53-56.
- [19] 王艳萍,王力,韩雪,等.黄土塬区不同土地利用方式土壤水分消耗与补给变化特征[J].生态学报,2015,35(22):7571-7579.
- [20] 柴锦隆,徐长林,张德罡,等.模拟践踏和降水对高寒草甸土壤养分和酶活性的影响[J].生态学报,2019,39(1):333-344.
- [21] 杨民英,李玉辉,庞丹波,等.基于 GIS 和 RS 的喀斯特水源地景观格局动态变化研究:以大春河小流域为例[J].四川农业大学学报,2016,34(2):227-233.
- [22] Chen F S, Zeng D H, Xing Y H E. Small-scale spatial variability of soil nutrients and vegetation properties in semi-arid northern China [J]. Pedosphere, 2006, 16(6): 778-787.
- [23] 黄鹏.黄土丘陵区不同土地利用类型下土壤水分运移模拟研究[D].西安:西安理工大学,2018.
- [24] 曾伟斌,邓琦,张全发.丹江口库区不同土地利用土壤碳氮含量的变化[J].土壤,2013,45(3):385-391.
- [25] 舒晓,门杰.减氮配施有机物质对土壤氮素淋失的调控作用[J].水土保持学报,2019,33(1):186-191.
- [26] 张亚娟,叶雪均,杨勇.贵州安顺市不同土地利用类型土壤养分特征研究[J].广东农业科学,2015,42(18):56-62.
- [27] Cao C Y, Jiang S Y, Ying Z. Spatial variability of soil nutrients and microbiological properties after the establishment of leguminous shrub *Caragana microphylla* Lam. plantation on sand dune in the Horqin Sandy Land of Northeast China [J]. Ecological Engineering, 2011, 37(10):1467-1475.
- [28] Tesfahunegn G B, Tamene L, Vlek P L G. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia [J]. Soil and Tillage Research, 2011, 117:124-139.
- [29] Dubuis A, Giovanettina S, Loïc P. Improving the prediction of plant species distribution and community composition by adding edaphic to topo-climatic variables [J]. Journal of Vegetation Science, 2013, 24(4): 593-606.