

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.03.035.

陈佳钰, 李永梅, 廖学圆, 等. 基施缓释肥等氮替代化肥对径流氮素流失和青贮玉米生长的影响[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 188-194.

CHEN Jiayu, LI Yongmei, LIAO Xueyuan, et al. Effects of Base Application Slow-Release Fertilizer Substituting Nitrogen Fertilizers on Nitrogen Loss Along with Runoff and Silage Maize Growth[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 188-194.

基施缓释肥等氮替代化肥对径流氮素流失和青贮玉米生长的影响

陈佳钰, 李永梅, 廖学圆, 范茂攀, 王自林, 赵吉霞

(云南农业大学 资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要: [目的]探究配施两种释放方式不同的缓释氮肥对滇中地区坡耕地径流氮素流失及青贮玉米生长的影响,为滇中坡耕地水土保持提供理论依据和支持。[方法]通过研究自然降雨条件下的径流槽模拟试验,在等氮条件下设置普通尿素(CK),40%添加了硝化抑制剂的速溶诺泰克®21+60%普通尿素(处理I)和40%包膜缓释氮肥聚谷氨酸增效3代+60%普通尿素(处理II)3个处理。[结果]生育期内各处理氮素流失呈先上升后下降的趋势,其中CK流失量最高,处理I和处理II较CK有显著减少,总氮流失量分别下降了29.95%和16.77%,硝态氮分别减少了14.55%和6.53%,铵态氮分别减少了16.08%,8.24%。尿素配施缓释氮肥能够有效提高土壤全氮和铵态氮含量,减少硝态氮含量。处理I,II较CK相比土壤全氮含量增加了3.25%和0.87%,铵态氮含量分别显著增加了30.57%,25.70%;较CK相比,处理I、处理II硝态氮含量分别减少了22.49%和16.61%。[结论]3个处理间青贮玉米的产量无显著性差异,但配施缓释肥可以在保证土壤肥力和满足青贮玉米正常生长需求的同时减少坡耕地径流养分流失,其中配施缓释肥速溶诺泰克®21的效果更好。

关键词: 缓释氮肥; 径流流失; 土壤养分; 产量

中图分类号: S143.1⁺5; S157; S816.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)03-0188-07

Effects of Base Application Slow-Release Fertilizer Substituting Nitrogen Fertilizers on Nitrogen Loss Along with Runoff and Silage Maize Growth

CHEN Jiayu, LI Yongmei, LIAO Xueyuan, FAN Maopan, WANG Zilin, ZHAO Jixia

(College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: [Objective] The effects of applying two types of slow-release nitrogen fertilizers with different release modes on runoff nitrogen loss and silage maize growth in sloping land in central Yunnan was investigated to provide theoretical basis and support for soil and water conservation in sloping land in central Yunnan. [Methods] The runoff trough simulation experiment under natural rainfall conditions was studied, and ordinary urea was set under equal nitrogen conditions (CK), 40% instant Nortec®21 with added nitrification inhibitor+60% ordinary urea (treatment I) and 40% coated slow-release nitrogen fertilizer polyglutamic acid synergistic 3 generations+60% ordinary urea (treatment II). [Results] The nitrogen loss of each treatment during the growth period showed a trend of increasing first and then decreasing, among which the nitrogen loss of CK was the highest, and the losses of total nitrogen decreased by 29.95% and 16.77% in treatments I and II, respectively. Nitrogen decreased by 14.55% and 6.53%, respectively, and ammonium nitrogen decreased by 16.08% and 8.24%, respectively. Urea combined with slow-release nitrogen fertilizer

收稿日期: 2022-03-23

修回日期: 2022-03-26

资助项目: 国家自然科学基金(41661063); 国家自然科学基金(42007002); 云南省科技重大专项子课题饲用玉米优质高效关键施肥技术研究(2019ZG00902-08); 云南农业大学学生科技创新创业行动资助项目(2021ZKX116)

第一作者: 陈佳钰(1997—), 女, 新疆乌鲁木齐人, 硕士研究生, 从事坡耕地水土保持研究。E-mail: 969032210@qq.com

通信作者: 赵吉霞(1989—), 女, 云南大理人, 讲师, 博士, 主要从事土壤侵蚀和水土保持研究。E-mail: zhaojixia@163.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

could effectively increase soil total nitrogen and ammonium nitrogen contents and reduce nitrate nitrogen content. Compared with CK, treatments I and II increased the soil total nitrogen contents by 3.25% and 0.87%, and the ammonium nitrogen content increased significantly by 30.57% and 25.70%, respectively; compared with CK, the nitrate nitrogen content of treatments I and II decreased up 22.49% and 16.61%, respectively. [Conclusion] There is no significant difference in the yield of silage maize among the three treatments, but the application of slow-release fertilizer can reduce the runoff nutrient loss of slope farmland while ensuring soil fertility and meeting the normal growth requirements of silage maize Nortec[®]21 works better.

Keywords: slow-release nitrogen fertilizer; runoff loss; soil nutrients; yield

云南属山地高原地形,山地面积 37.04 万 km²,约占全省国土总面积的 94%^[1]。云南省耕地以坡耕地为主,面积为 472.55 万 hm²,占耕地面积的比例为 69.79%^[2]。根据 2015 年的云南省土壤侵蚀调查成果显示,全省水土流失面积为 10.47 km²,占全省土地总面积的 27.33%;坡耕地水土流失面积为 45.34 km²,占全省水土流失面积的 43.29%^[3]。防治坡耕地水土流失一直是农业土地资源可持续发展的重点,合理施肥作为农业实践中的关键管理措施,在坡耕地农业生产中起到关键作用^[4]。与常规氮肥相比,缓释氮肥分配更均匀,减少了不必要的氮素流失^[5]。丁志磊等^[6]研究表明,配施缓释肥可以显著降低氮、磷流失量。还可以在农作物的整个生长过程中释放适量的养分供农作物吸收,促进作物的生长^[7],因此,根据需求对坡耕地肥料施用进行合理的管理对减少养分流失和环境保护具有重要意义。

玉米是云南省种植面积最大的粮饲作物,也是坡耕地最不保水的作物之一。随着云南省“粮改饲”的发展,青贮玉米的栽培面积必将越来越大。如何合理高效提高青贮玉米的产量和品质备受关注,通过增加施肥量提高产量的同时易造成不被吸收的养分挥发及流失,污染农田环境。因此优化施肥,提高肥料的利用,配施缓释肥显得尤为重要。缓释肥的肥料颗粒能够缓慢释放养分,对作物不间断释放一种连续性的养分刺激,能够协调作物整个生长期养分供给^[8],解决了传统化学肥料高水溶性和速效性导致的养分释放难以和作物各生育时期养分吸收相互协调的问题^[9]。研究表明,氮肥的施用对青贮玉米的产量和品质起着关键作用^[10],缓释氮肥在改善青贮玉米饲用品质某些方面优于普通尿素^[11],因此可以合理施用适量缓释氮肥,在保证青贮玉米正常生长的同时提高和改善其产量及品质。

目前配施缓释肥对减少坡耕地养分流失方面的研究已取得一定的进展^[12],通过配施缓释氮肥提高玉米产量和氮素利用^[13]、氮肥及其施用量改善影响青贮玉米产

量和品质^[10]也颇有成果。而对配施不同类型缓释氮肥在满足青贮玉米生长的同时减少生育期内坡耕地养分流失仍缺乏深入研究。本试验以青贮玉米为研究对象,进行径流槽模拟试验,尿素分别配施两种缓释氮肥:(1)在传统肥料中添加硝化抑制剂的稳定性氮肥速溶诺泰克[®]21(生化抑制型缓/控释肥料)和(2)在传统肥料颗粒外表面包裹上一层或多层阻滞肥料养分扩散的膜的物理包被肥料聚谷氨酸增效 3 代,为通过调控氮肥在保证青贮玉米产量和品质的同时实现滇中坡耕地水土保持提供理论依据和支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年 7 月—10 月在放置于云南农业大学后山试验基地的模拟径流槽内进行。试验地点中心地理坐标为 25°08′19″N,102°45′58″E;径流槽放置于同一坡面,设置坡度为 15°;海拔为 1 950 m,坡向为北偏西 55°,年平均气温 4.5~23.4℃,无霜期为 249~365 d,年平均降雨量为 782 mm,属低纬度亚热带高原季风气候,干冷同期,雨热同季。供试土壤为旱地山原红壤,于 2020 年 7 月按照“S”形在每个径流槽内选取 4~5 个点,采集 0—20 cm 耕层土壤,经过风干后过筛,去除土样中的杂草、石块等杂物混匀后测定土壤基本性质,其基本理化性质为:有机质含量 22.49 g/kg,pH 值 6.12,全氮含量 0.45 g/kg,碱解氮含量 101.28 mg/kg,速效磷含量 39.97 mg/kg,速效钾含量 92.48 mg/kg。

1.2 试验材料

供试青贮玉米品种为曲辰 9 号;供试肥料为:速溶诺泰克[®]21 含 N≥20.5%、聚谷氨酸增效 3 代含 N≥46.0%以及尿素含 N≥46.0%,过磷酸钙含 P₂O₅≥12.0%,农业用硫酸钾 K₂O≥50.0%,其中两种缓释肥中均不含 P、K 元素。

1.3 试验设计

1.3.1 径流槽设计 试验装置由厚度为 2 mm 的铁

板制成长 100 cm, 宽 50 cm, 土层深度为 30 cm 的径流模拟槽, 上口采集地表径流, 用薄膜将径流收集池遮盖, 防止降雨期间雨水进入, 正对上端径流槽出口位置摆放一个容量为 18 L 的水桶用于收集径流及泥沙, 共 9 个(图 1)。

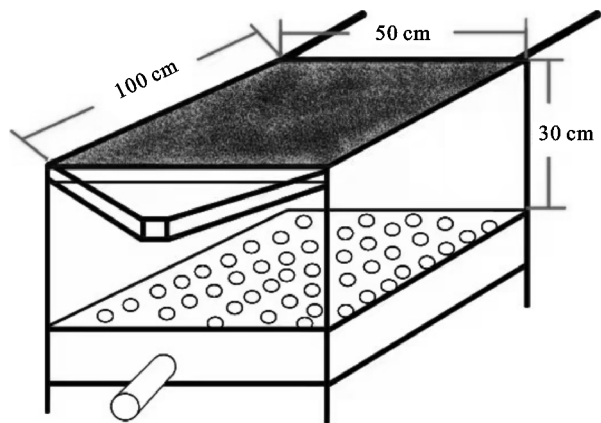


图1 试验装置模型

1.3.2 缓释肥试验设计 在施氮水平相同的情况下, 设置 3 个处理, CK: 单施普通尿素, 处理 I: 40% 添加了硝化抑制剂的速溶诺泰克® 21+60% 普通尿素, 处理 II: 40% 包膜缓释氮肥聚谷氨酸增效 3 代+60% 普通尿素, 每个处理重复三次, 共 9 个槽, 基地内径流槽随机排列。玉米采用种子穴播方式播种, 施入模拟径流槽的表层土壤(0—10 cm), 种植密度为 180 000 株/hm², 每塘播种 3 粒, 间苗后每塘留 1 株, 行距为 20.0 cm, 株距为 15.0 cm, 即每槽 9 株。

1.3.3 施肥及田间管理 玉米于 2020 年 7 月 21 日播种, 2020 年 10 月 8 日收获。按照当地常规施肥量分别为纯氮 270 kg/hm², P₂O₅ 90 kg/hm², K₂O 90 kg/hm², 其中缓释氮肥、磷肥、钾肥均作为基肥一次性施入, 氮肥的基追比为 6:4, 在大喇叭口期进行追肥, 肥料在播种时穴施于 0—20 cm 的耕层土中。在玉米的整个生育期内, 根据试验基地内径流模拟槽的具体情况, 进行浇水、补苗、除草及防治病虫害等管理工作。(注: 在玉米生育期内出现连续两天无降雨的干旱情况下, 通常在第二天的下午进行浇水工作, 浇水采用喷灌方式于径流槽上方进行, 对玉米生长进行需水补充, 当槽内土壤微湿润停止浇灌, 不会对土壤含水量有显著影响或产生径流。)

1.4 样品采集与测定

1.4.1 样品采集 土壤样品: 在青贮玉米的苗期、拔节期、大喇叭口期、吐丝期和成熟期 5 个生育期内分别进行土样采集, 测定土壤理化性质; 每个槽内按“S”形选取 4~5 个点采样, 分别采集 0—20 cm 土层

的土壤, 均匀混合保留部分鲜样, 部分经自然风干保存, 测定不同施肥处理的土壤养分含量。

地表径流: 在玉米生长期, 每次降雨产流后, 测量计算产流量和泥沙量。将收集桶内的径流和泥沙充分搅拌, 分上、中、下层取水样, 带回实验室过滤, 测定径流养分含量。(注: 试验中径流槽内土壤相对稳定, 在自然降雨条件下, 最大降雨量产流后对径流桶进行收集, 取 3 个 300 ml 水样在实验室进行过滤, 烘干滤纸后泥沙含量均值仅有 0.472 g, 土壤随径流迁移量较少, 因此未测定土壤养分流失含量。)

植株样品: 在玉米成熟期采集植株样品, 从地上部 20 cm 处全株收割, 每个径流槽选 3 株长势中等的玉米进行测产, 然后在 105℃ 杀青 15 min, 80℃ 烘干至恒重, 用粉碎机将烘干样品粉碎, 过 40 目筛, 放入自封袋中保存测定品质。

1.4.2 测定项目与方法 测定土壤样品的理化性质含量以及径流水样品养分含量, 具体参照鲍士旦《土壤农化分析》^[14] 及《水和废水监测分析方法(第 4 版)》。土壤全氮采用 H₂SO₄ 消煮—凯氏定氮法测定, 土壤铵态氮、硝态氮采用 KCl 浸提—流动分析仪测定; 径流总氮采用碱性过硫酸钾氧化—紫外分光光度法, 径流硝态氮和氨态氮使用流动分析仪测定。粗蛋白采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化—凯氏定氮法, 中性洗涤纤维含量测定: 采用范式洗涤纤维测定法, 酸性洗涤纤维含量的测定: 采用范式洗涤纤维测定法, 粗灰分含量测定: 采用直接灰化法。对玉米实收测产, 单位面积鲜重, 每个径流槽随机收获三株, 从地上部 20 cm 处全株刈割, 收获后立即称重, 得到小区鲜重产量, 折合成单位面积产量(t/hm²)。

1.5 数据处理

试验中数据处理分析均用 Microsoft Excel 2019 版软件进行, 用 IBM SPSS 进行单因素方差分析, 邓肯多重比较检验显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对径流及径流中养分流失的影响

2.1.1 不同施肥处理对径流的影响 2020 年 7 月 20 日至 2020 年 10 月 8 日各处理降雨—径流情况见表 1。发生产流的降雨事件共 18 场, 累计降雨量为 405.2 mm, 占全年降雨量的 51.82%, 集中在 7 月—9 月上旬。根据我国气象部门采用的降雨强度标准, 24 h 雨量 ≥ 50 mm 为暴雨, 产流事件中有 4 次暴雨, 最大降雨量为 60.0 mm, 其产流量也达到最大值, 径流量与降雨量显著

相关;从表 1 可以看出整个生育期内总产流量依次由大到小为 CK>处理 II>处理 I,处理 I, II 径流量较 CK 分别减少了 7.50%和 2.79%,处理 I 的削减率更高。产流量随生育期的推进呈先增加后降低的趋势,苗期和成熟期各处理间径流量无显著性差异,其余生育期各处理间均达到显著水平,降雨集中会使土壤含水量较高,导致坡耕地在降雨过程中产生较大的地表径流,造成水土流失^[15]。

表 1 2020 年玉米生育期内降雨—径流特征

生育期	降雨日期 (月-日)	降雨量/ mm	产流量/(m ³ ·hm ⁻²)			生育期内径流量/(m ³ ·hm ⁻²)		
			CK	处理 I	处理 II	CK	处理 I	处理 II
苗期	7-20	5.6	20.43±1.22a	20.88±0.34a	20.21±1.07a	92.86±3.53A	89.37±2.06A	89.96±2.83A
	7-21	2.4	5.82±0.77a	5.03±0.86a	6.03±1.01a			
	7-26	18.8	53.77±1.77a	52.63±1.11a	53.69±1.04a			
	8-3	5.4	12.84±1.02a	10.83±0.93b	10.03±0.74b			
拔节期	8-9	11.0	24.16±2.07a	20.17±0.99b	23.76±1.86a	355.66±3.88A	330.76±4.85B	348.94±5.57A
	8-14	56.0	99.41±2.16a	93.37±1.30b	97.93±3.29ab			
	8-16	50.6	92.33±1.28a	87.67±2.11b	90.42±1.47ab			
	8-17	60.0	108.55±2.33a	102.52±1.52b	104.64±1.01b			
	8-18	20.6	31.21±1.89a	27.03±1.99b	32.19±1.92a			
大喇叭口期	8-30	22.4	39.82±1.13a	35.75±0.97c	37.91±0.43b	119.21±4.21A	107.81±4.06B	113.91±2.93AB
	8-31	27.0	47.86±1.53a	42.99±0.48b	45.02±0.82b			
	9-6	12.2	31.53±0.90a	29.07±0.80b	30.98±0.46a			
吐丝期	9-10	12.2	14.44±0.61a	11.94±0.90b	13.51±0.93ab	98.47±4.59A	89.03±3.53B	95.39±2.71AB
	9-11	11.0	16.51±0.48a	12.47±0.88c	14.98±0.75b			
	9-12	56.6	63.22±1.77a	62.26±1.63a	62.78±1.22a			
	9-16	7.4	4.30±0.53a	2.36±0.53b	4.12±0.66a			
成熟期	9-23	14.6	8.24±0.69a	7.54±0.55a	7.98±0.87a	12.34±1.85A	10.65±1.22A	11.36±1.06A
	9-28	11.4	4.10±0.48a	3.11±0.25b	3.38±0.36ab			
合计		405.2				678.50	627.62	659.56

注:表中小写字母表示同一时间不同施肥处理之间产流量的差异显著性,大写字母表示不同施肥处理之间在同一生育内产流量的显著差异($p<0.05$ 邓肯氏法)。

2.1.2 不同施肥处理对径流中养分流失的影响

2020 年 7—10 月期间每次降雨产流后采样,将径流水样划分为 5 个生育期,对径流中总氮及硝铵态氮养分流失进行了分析。从图 2 可以看出,随时间推移,试验生育期内氮素流失量均呈现上升—下降趋势,且均表现为拔节期流失量达到峰值后逐渐下降,其中处理 I 流失量最少,对径流氮素削减的能力最佳。

由图 2A 所示,各处理径流总氮流失量在生育期内总体上由大到小表现为 CK>处理 II>处理 I。配施缓释氮肥处理 I 可显著降低总氮流失量;处理 II 流失量低于 CK 处理,但仅在拔节期与大喇叭口期达到显著水平;两个配施缓释肥处理间在大喇叭口期和吐丝期有显著性差异,其他时期不显著。CK、处理 I 和处理 II 累积流失量分别为 4.83 kg/hm², 3.77 kg/hm², 4.02 kg/hm², 处理 I, II 较 CK 分别削减了 21.95%, 16.77%。

由图 2B 所示,硝态氮总流失量 CK 处理最大,为 2.67 kg/hm², 处理 I 和处理 II 分别流失了 2.06, 2.39 kg/hm², 较 CK 相比分别削减了 22.85%, 10.47%,

其中处理 I 的含量全生育期内显著低于对照组,处理 II 在拔节期和大喇叭口期较 CK 差异显著,其他时期无显著差异;处理 I, II 在拔节期和吐丝期处理间达到显著水平,其他时期不显著。

由图 2C 所示,处理 I, II 的铵态氮流失量均低于 CK,累积流失量分别降低了 16.08%, 8.24%。处理 I 显著降低了铵态氮流失量,处理 II 除拔节期和吐丝期外流失量均显著低于 CK 处理。两个配施缓释肥的处理 I, II 在大喇叭口期达到显著水平,其余时期差异不显著;

2.2 不同施肥处理对土壤氮素的影响

由图 3A 可以看出,土壤全氮呈平稳缓慢的趋势逐渐减少,整个生育期内处理 I, II 的全氮含量较 CK 有所增加,分别提高了 3.25%, 0.87%, 苗期 CK 处理显著高于其他两个处理,中间 3 个生育期内处理 I, II 均显著高于 CK,成熟期处理间无显著性差异,可能是因为普通尿素施肥初期氮素释放较快,并且流失较多,而缓释氮肥可以延缓氮素释放,随着玉米生长吸收养分,缓释氮肥加快释放,最终到达平衡状态。说

明缓释肥可以控制氮养分释放,相对减少氮素损失,增加土壤全氮含量。

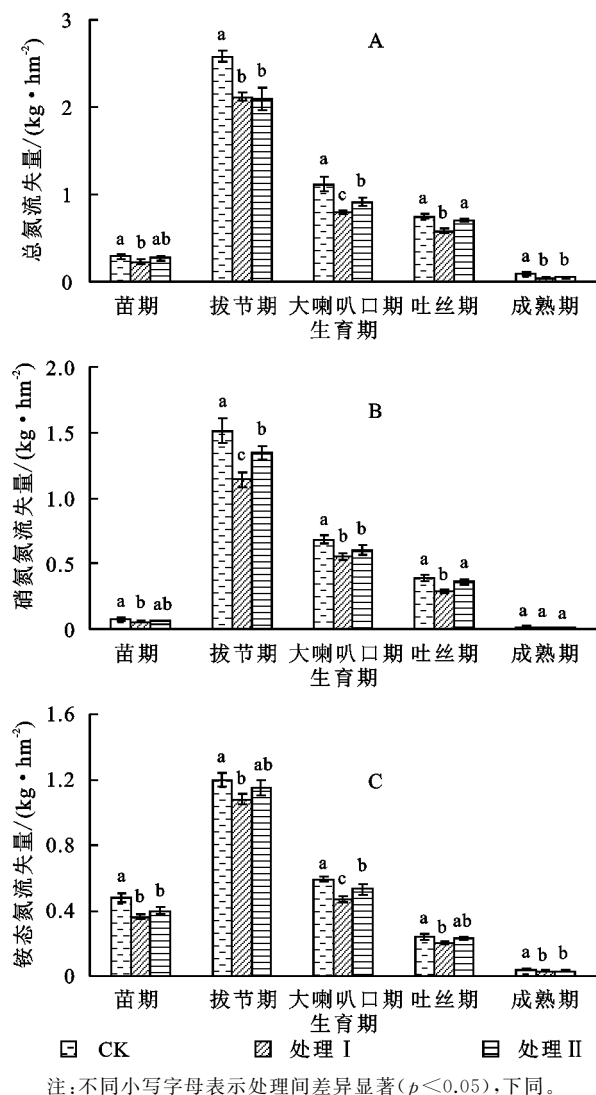


图2 不同施肥处理下径流中氮分流失量

缓释氮肥里添加硝化抑制剂或包膜氮肥均会抑制土壤里的铵态氮向硝态氮转化,从图3B可以看出,玉米全生育期内CK硝态氮含量均显著高于处理I、处理II,处理I、II间只在吐丝期硝态氮含量达到显著水平,其余时期差异不显著。整个生育期内硝态氮含量呈逐渐递减的趋势,总体呈现的硝态氮含量大小关系为:CK>处理II>处理I,说明缓释氮肥施用可以显著降低土壤中硝态氮含量,处理I、处理II分别降低了22.49%,16.61%,添加硝化抑制剂的抑制作用比包膜肥料显著。

由图3C可以看出,3个处理铵态氮与硝态氮含量变化表现出一致性,随时间发展逐渐减少。和CK相比,在整个生育期内配施缓释氮肥的处理I、II均显著提高铵态氮含量,分别增加了30.57%和25.70%,铵态氮含量由大到小依次为处理II>处理

I>CK,可见配施缓释肥可抑制铵态氮的氧化,在生育中后期内显著增加土壤中的铵态氮含量,延长氮素供应时间。

2.3 不同施肥处理对青贮玉米产量及品质的影响

由表2可知,3种施肥处理下青贮玉米产量无显著性差异,与CK处理相比,处理I产量增长幅度较大为8.67%,处理II增长2.55%,说明配施缓释氮肥在保证玉米产量的同时可以一定程度上有助于青贮饲用玉米产量增加;粗灰分处理II含量最高,较CK增加了11.30%,与处理I、CK有显著性差异;粗蛋白处理II的含量最高,处理I与处理II较CK分别增加了6.55%,11.68%,处理II与CK处理有显著性差异;3种施肥处理间,中性洗涤纤维含量无显著差异,处理I含量较CK有下降,减少了1.27%,处理II则高于CK;处理I的酸性纤维含量较对照组降低了1.09%,处理II的酸性洗涤纤维较对照组增加了10.54%,且含量显著高于其他两种处理。

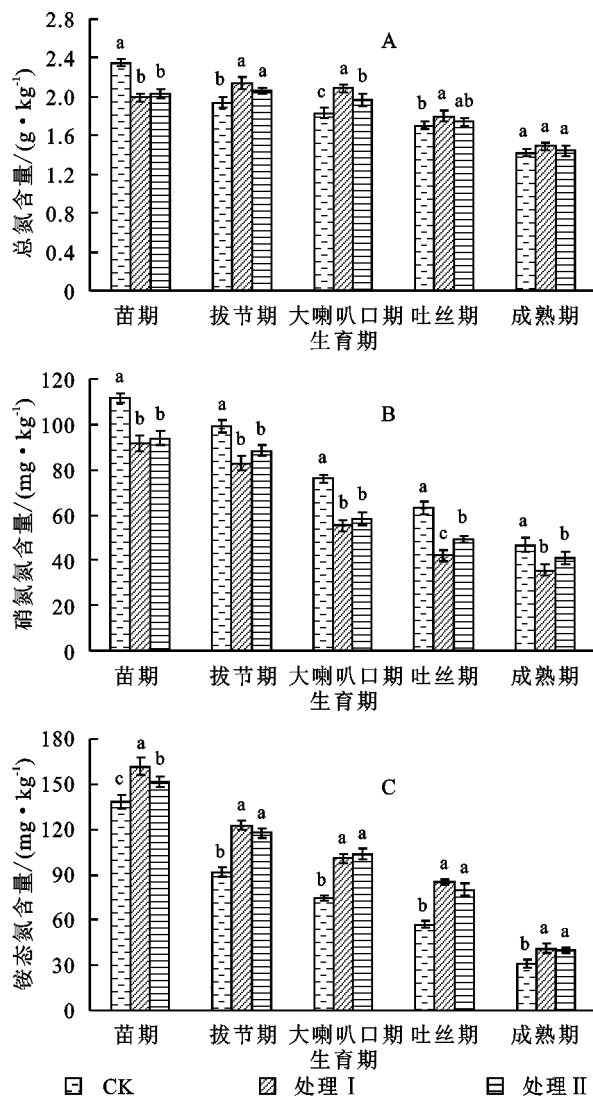


图3 不同施肥处理对土壤氮素含量的影响

表 2 不同施肥处理对玉米产量及品质的影响

处理	粗灰分/%	粗蛋白/%	中性洗涤纤维/%	酸性洗涤纤维/%	产量/(t·hm ⁻²)
CK	5.75±0.20b	7.79±0.35b	58.23±1.78a	28.46±1.63b	117.60±5.36a
处理 I	5.61±0.24b	8.30±0.28ab	57.49±2.38a	28.15±0.72b	127.80±3.90a
处理 II	6.40±0.12a	8.70±0.17a	58.38±2.01a	30.46±0.80a	120.60±5.44a

3 讨论

有研究表明,不同氮肥施用对于流失有显著影响^[16],试验结果表明,在自然降雨下,整个玉米生育期内处理 I、处理 II 氮素流失量较 CK 均有显著削减,这与张秀玮等的研究结果基本一致^[17]。其中降雨量越大,更易发生径流,氮素流失量越大,影响作物生育期养分流失^[18],说明产流量与降雨显著相关。试验前期降雨量大,作物覆盖度低,易发生径流,且尿素氮释放迅速与青贮玉米养分吸收规律不符,使得土壤氮素含量过剩,径流液中养分含量高,导致流失量高于其他两个处理,而配施缓释氮肥较普通尿素而言,可以控制氮素前期缓慢释放,减少硝化作用的氮损失的同时减少了不必要的养分流失。随着玉米生长,养分吸收量大,土壤氮素含量降低,作物覆盖度变大,降雨量较前期有所减少,土壤的紧实度也增加,因此氮素流失量有所减弱。且铵态氮流失量均小于全氮和硝态氮,主要是由于硝态氮与土壤胶体均带有负电荷,硝态氮相较铵态氮而言不易被土壤吸附,而容易流失。因此可以在坡耕地种植中配施缓释氮肥来有效防治水土流失,促进作物生长。

研究表明^[19-20],在同一个施氮水平下,尿素与缓释肥配施能有效提高作物对土壤氮的利用。本试验中,土壤氮素含量变化均呈逐渐递减变化,CK 处理的全氮含量仅在苗期显著高于处理 I,II,配施缓释肥处理较 CK 铵态氮含量显著增加,硝态氮含量显著降低。主要因为尿素在施肥初期大量释放氮素,大量铵态氮经硝化细菌转化成硝态氮,且随时间推移,流失量高于处理 I,II,供应玉米生长养分后,土壤氮素含量减少且均低于其他处理。而配施缓释肥料在生长前期由普通尿素供给养分,后期通过调节氮素的转化水解,减缓土壤铵态氮的氧化,使铵态氮较高浓度长时间的存留在土壤中,从而降低了硝态氮的含量,降低土壤硝化作用,延长氮肥效期,与青贮玉米的养分吸收规律相吻合,减少养分随径流的流失,增强土壤养分供应能力及土壤养分供应的可持续性,这与油伦成等^[21]的研究结果一致。

与青贮玉米收益有密切联系的两个因素分别是

产量和品质,氮对玉米茎叶和果实发育有重要作用,因此,合理运筹氮素是实现青贮玉米高产、优质的重要措施^[22-23]。试验结果表明施氮水平一致的情况下,虽然 3 个施肥处理间产量无显著性差异,但处理 I,II 产量较 CK 均有少量增加,配施缓释肥对于玉米来说是一种能够提供充足养分供应的重要途径,特别是确保玉米生长后期的氮供应,在保证或提高作物产量的同时,减少施肥次数^[24],降低农业劳动强度。施用硝化抑制剂能改善玉米的生长状况^[25],从品质方面来看,优质饲用作物应具有高蛋白含量和高摄取量(低纤维),试验中处理 II 可以增加粗灰分含量;粗蛋白是衡量青贮营养价值的重要指标,缓释肥处理的粗蛋白含量均高于对照组;酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维 3 个处理间无显著差异,但处理 I 的两种洗涤纤维有少量降低,因此可供吸收的营养有增加。与 CK 相比产量有所增加,品质有所改善,主要是因为青贮玉米整个生育期吸收速率变化规律为“慢—快—慢”,与施用普通尿素相比,缓释肥使氮素能以铵态氮形式长期保存在土壤中,能较好的满足青贮玉米在生长中后期对氮肥的需求。试验中两种配施缓释肥品质指标影响效果不一致,分别在不同方面提高玉米营养品质,综合产量和品质处理 I 的效果更好。综合产量和品质配施缓释氮肥对坡耕地青贮玉米种植有很好的调控作用。

4 结论

- (1) 研究结果得出,与单施普通尿素相比,配施缓释氮肥可以明显减少径流氮素流失量,两种缓释氮肥处理 I 的削减作用更显著,对全氮、硝态氮和铵态氮的削减率分别为 21.95%,22.85%和 16.08%,可见缓释氮肥的施用对坡耕地径流氮流失具有较好的控制效果。
- (2) 单施普通尿素前期养分迅速,易造成氮素供应不足,配施缓释氮肥处理与单施尿素相比,可以缓慢释放养分,提高氮肥供应效期,土壤全氮、铵态氮含量均有显著增加,同时可以显著减少土壤硝态氮含量,延缓土壤硝化作用。
- (3) 与 CK 相比,处理 I 和处理 II 可以保证并少量增加青贮玉米产量,处理 I 增加更多;配施缓释肥

分别对青贮玉米不同营养品质有所改善,处理Ⅰ在粗蛋白和中性、酸性洗涤纤维品质方面有提高,但与CK无显著差异;处理Ⅱ在粗灰分和粗蛋白方面有所改善且与CK差异显著。

参考文献:

- [1] 陈小强,范茂攀,王自林,等.不同种植模式对云南省中部坡耕地水土保持的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):48-52,65.
- [2] 陈正发,史东梅,何伟,等.1980—2015年云南坡耕地资源时空分布及演变特征分析[J].农业工程学报,2019,35(15):256-265.
- [3] 王伟,贺莉莎.云南省坡耕地现状调查及分析[J].中国水土保持,2019(4):20-23.
- [4] 赵桂茹,安瞳昕,欧阳铨人,等.青贮玉米氮投入对坡耕地土壤侵蚀及水稳性团聚体的影响[J].水土保持学报,2021,35(5):72-79.
- [5] Li Y M, Sun Y X, Liao S Q, et al. Effects of two slow-release nitrogen fertilizers and irrigation on yield, quality, and water-fertilizer productivity of greenhouse tomato[J]. Agricultural Water Management, 2017,186:139-146.
- [6] 丁志磊,李元,蒋翔,等.不同缓释肥施用比例对桃树—大豆间作农田地表径流氮、磷流失及土壤养分的影响[J].水土保持学报,2015,29(3):301-305.
- [7] 陈蕾,高山雪, ZHOU George.施加炭基缓释肥对土壤氮素流失的影响[J].水土保持研究,2019,26(6):53-57.
- [8] 王崇力,韩桂琪,徐卫红,等.专用缓释肥的土壤氮挥发特性及其对辣椒氮磷钾吸收利用的影响[J].中国生态农业学报,2014,22(2):143-150.
- [9] 杨锦越,赵晓燕,沈建华,等.缓控释肥在青贮玉米生产上的应用研究进展[J].农技服务,2020,37(7):3-7.
- [10] 马磊,袁飞,朱玲玲,等.氮复合肥种类及施氮量对坝上地区青贮玉米产量和品质的影响[J].草业学报,2013,22(6):53-59.
- [11] 杨小辉,王春宏,姜佰文.氮素调控对复种条件下饲用小黑麦—青贮玉米产量和品质的影响[J].作物杂志,2011,27(4):70-73.
- [12] 张秀玮,李光宗,董元杰,等.不同氮肥对侵蚀坡面土壤氮素流失的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):45-48.
- [13] Guo J, Fan J, Zhang F, et al. Blending urea and slow-release nitrogen fertilizer increases dryland maize yield and nitrogen use efficiency while mitigating ammonia volatilization[J]. Science of the Total Environment, 2021,790:148058.
- [14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 杜静,范茂攀,王自林,等.玉米—马铃薯间作根系特征及其与坡耕地红壤径流养分流失的关系[J].水土保持学报,2017,31(1):55-60.
- [16] 罗付香,林超文,涂仕华,等.氮肥形态对坡耕地雨季土壤养分流失的影响[J].农业资源与环境学报,2013,30(6):91-95.
- [17] 丁志磊,祖艳群,陈建军,等.施用不同比例缓释肥对农林复合系统地表径流氮磷流失过程的影响[J].云南农业大学学报:自然科学,2016,31(2):335-340.
- [18] Jung J W, Lim S S, Kwak J H, et al. Further understanding of the impacts of rainfall and agricultural management practices on nutrient loss from rice paddies in a monsoon area[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2015,226(9):1-11.
- [19] 谷佳林,边秀举,徐凯,等.不同缓控释氮肥对高羊茅草坪生长及氮素挥发的影响[J].草业学报,2013,22(2):235-242.
- [20] 张宁宁,赵德强,韩云良,等.尿素与缓释肥同一氮素水平下配施对黄土台塬区春玉米生长的影响[J].西北农业学报,2020,29(11):1642-1650.
- [21] 油伦成,李东坡,崔磊,等.不同硝化抑制剂组合对铵态氮在黑土和褐土中转化的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(12):2113-2121.
- [22] 徐敏云,谢帆,李运起,等.施肥对青贮玉米营养品质和饲用价值的影响[J].动物营养学报,2011,23(6):1043-1051.
- [23] 朱永群,汪霞,彭建华,等.密度和施氮量对雅玉8号青贮玉米产量和品质的影响[J].玉米科学,2015,23(6):92-97.
- [24] 张博,王海标,陶静静,等.专用缓释肥对夏玉米产量及肥料利用率的影响[J].河南农业大学学报,2017,51(4):453-458.
- [25] 刘欢,陈苗苗,孙志梅,等.氮肥调控对小麦/玉米产量、氮素利用及农田氮素平衡的影响[J].华北农学报,2016,31(1):232-238.