

不同农艺措施组合对云南红壤坡耕地 氮素平衡和流失的影响

郭云周¹, 刘建香¹, 贾秋鸿¹, 涂仕华²

(1.云南省农业科学院农业环境资源研究所, 云南 昆明 650205; 2.国际植物营养研究所成都代表处, 四川 成都 610066)

摘要:通过对野外坡度为 26.05% 的径流小区实地观测, 研究种植方式、施肥方式和等高植物篱条带 3 种农艺措施不同组合对云南红壤坡耕地氮素投入、带走平衡的影响。结果表明, 在等高种植+平衡施肥+等高植物篱条带组合农艺措施条件下, 收获玉米带走的氮为 $177.24 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占水土流失和收获玉米带走氮总量的 99.42%, 水土流失带走 $1.03 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的氮, 占水土流失和收获玉米带走氮总量的 0.58%; 顺坡种植+农民习惯施肥收获玉米带走的氮仅为 $120.31 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占水土流失和收获玉米带走氮总量的 79.36%, 而水土流失带走 $31.29 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的氮, 占带走氮总量的 20.64%。等高种植比顺坡种植增加收获玉米带走氮素 $13.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 减少水土流失带走氮素 $18.53 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 等高种植和平衡施肥条件下, 等高植物篱条带因占用少量土地而减少收获玉米带走氮素 $6.09 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 减少水土流失带走氮素 $5.73 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 顺坡种植和习惯施肥条件下, 等高植物篱条带减少收获玉米带走氮素 $5.39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 减少水土流失带走氮素 $29.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 平衡施肥比习惯施肥增加收获玉米带走氮素 $49.66 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 减少水土流失带走氮素 $6.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。云南红壤坡耕地氮素的平衡主要与氮肥、钾肥施用量和玉米籽粒、秸秆产量有密切关系, 施氮量高, 氮素投入高于带走; 平衡施肥玉米籽粒、秸秆产量高, 氮带走总量较多, 氮素带走略高于投入; 习惯施肥玉米籽粒、秸秆产量低, 氮素投入高, 带走较少。

关键词: 顺坡种植; 等高种植; 习惯施肥; 平衡施肥; 等高植物篱条带; 氮素带走

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)04-0723-06

Effect of Different Integrate Agronomic Measures on Nitrogen Balance and Loss of Red Soil on Sloping Farmland in Yunnan

GUO Yun-zhou¹, LIU Jian-xiang¹, JIA Qiu-hong¹, TU Shi-hua²

(1. Agricultural Environment & Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; 2. Chengdu Office of International Plant Nutrition Institute, Chengdu 610066, China)

Abstract: Soil and water erosion, which highly related to improper farming, is a serious problem in Yunnan Province. A runoff experiment was conducted on a sloping farmland with a gradient of 26.05% in red soil area from 2004 to 2006 at Gaocang Village of Fumin County in Yunnan Province. Nitrogen (N) balance status between input and removal by corn and straw harvest, water and soil erosion were investigated in this experiment consisted of different cropping patterns, fertilization and contour hedgerow strip. The results showed that $177.24 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ N had been removed by corn harvesting and $1.03 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ by water and soil erosion, which accounted for 99.42% and 0.58% of the total N removal respectively in treatment with integrated contour hedgerows strip+contour cropping+balanced fertilization. Only $120.31 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ had been removed by corn harvesting, accounting for 79.36% of the total N removal, but $31.29 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ removed by soil and water erosion, accounting for 20.64% of the total N removal in treatment with down slope cropping+local farmer's fertilization. N removal by corn harvesting was $13.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ larger in treatment with down slope cropping+balanced fertilization than in treatment with contour cropping+balanced fertilization, but N removal by water and soil erosion was $18.53 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ less. Under contour cropping +balanced fertilization, adding treatment with contour hedgerow strip reduced $6.09 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ N removal by corn harvesting and reduced $5.73 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ N loss by water and soil erosion. Under down slope cropping+farmer's fertilization, adding treatment with contour hedgerow strip reduced $5.39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ N removal by corn harvesting and reduced $29.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ N loss by water and soil erosion. In treatment with down slope cropping system, treatment with bal-

收稿日期: 2008-06-26

基金项目: 国际合作项目, 云南持续农业的坡地管理(NMS-Yunnan199801), 加拿大国际植物营养研究所(IPNI)资助

作者简介: 郭云周(1963—), 男, 云南腾冲人, 硕士, 副研究员, 从事土壤肥料及作物栽培研究、推广。E-mail: gyzhou3959@sina.com

anced fertilization system increased $49.66 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ of N removal by harvesting, but reduced $6.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ of N removal by water and soil erosion compared with treatment with local farmer's fertilization system. N balances in red soil area correlated strongly with the rates of N, K fertilizers application, corn yield and straw yield. With higher level of N fertilizer application, N input was higher than N removal. Under balanced fertilization system, yield of corn and straw was at higher level and the removal rate was slightly higher than input rate. Under local farmer's fertilization system, yield of corn and straw was at lower level and the input rate was higher than the removal rate.

Keywords: down slope cropping; contour cropping; local farmer's fertilization; balanced fertilization; contour hedgerow strip; nitrogen removal

多山的地貌,充沛的降雨,干湿季节分明的气候条件,造成云南严重的坡耕地土壤侵蚀。全省水土流失面积超过 14 万 km^2 , 占全省面积的 36.88%, 年土壤侵蚀总量 51 350 万 t, 年平均侵蚀模数 $1\,340 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, 年均侵蚀深 1 mm, 尤其以长江、红河、珠江流域最为严重^[1]。

土壤侵蚀使下垫面的性质发生改变,引起土地退化,是导致生态环境恶化从而导致自然灾害的重要原因^[2]。坡面土壤养分流失对土壤肥力及面源污染影响最直接^[3]。土壤颗粒粗化、土壤养分降低、土层减薄加速了土壤质量退化,降低土壤生产能力和调控环境的能力。尤其土壤粗化和土层减薄难于用人工补救措施加以克服^[4]。无论是坡地还是平地,人类活动的扰动都增加了土壤侵蚀与养分流失,耕地的养分流失远高于非耕地^[5]。红壤坡地的水土流失与土壤坡度和植被覆盖度密切相关,土壤坡度每增加 1° , 土壤侵蚀量递增约 $120 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 植被覆盖度每增加 10%, 可成倍地递减土壤侵蚀量,当植被覆盖度达 60%以上时,土壤侵蚀可控制在 $200 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以下。土壤坡度是地形特征,只能局部进行改造,而植被覆盖度完全可以人为控制,因此在红壤坡地的开发中,应当尽量采取等高开垦;在利用中,应注重建设农林复合生态模式,并采用间作套作增加地面覆盖;在耕作制度的安排上,应确保雨季的植被覆盖度达 60%以上^[6]。LEOPOLD 提出,人类应该把土地当作一个“完整的生物体”一样加以关爱,并且应该尝试使“所有齿轮”保持良好的运转状态^[7],只有生态平衡得以维持的土地利用才被认为是可持续的^[8]。耕作措施能改变坡耕地的微地形,引起径流量、径流能量的变化,导致侵蚀的变化^[9]。植物篱是坡地农业利用的新型技术体系,植物篱笆防治水土流失,篱带间为农业耕作利用,是一种融生态、经济为一体的坡耕地可持续利用技术^[10]。坡耕地改造成为梯地后,减少了水土流失,保护了水土资源,增厚了土层,提高了土壤肥力和土地产出率^[11]。

坡耕地土壤养分侵蚀特征与规律,国内外已经有许多的研究。然而,种植施肥方式对坡耕地氮素带走

及其平衡的影响研究报道较少,不利于坡耕地的持续利用管理。因此,2004—2006 年,在云南富民县红壤坡耕地上的一组多年定位径流小区试验,比较研究了施肥、种植方式和等高植物篱条带对红壤坡耕地氮素带走和平衡的影响。

1 材料与方法

本研究采用野外定位径流小区对比试验调查法。

1.1 试验区概况

试验设在昆明市富民县者北乡高仓村向西倾斜、坡度为 26.05% (14.6°) 的红壤坡耕地上,海拔 1 760 m, 多年平均年降雨量 862 mm, 5—10 月降雨量占全年的 90%以上,冬春季节干旱少雨。

1.2 试验设计

1.2.1 径流小区设计

5 个径流小区设置在同一坡面上,小区长 30 m, 宽 7 m, 面积 210 m^2 , 不同小区之间以及顶部用空心砖支砌,下部各设置一个 $7 \text{ m} \times 0.7 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 的径流和泥沙收集池,布置好以后多年保持不变。

1.2.2 试验处理

试验设 5 个处理: T_1/FP , 顺坡种植+农户习惯施肥; $T_2/\text{FP}+\text{BF}$, 顺坡种植+平衡施肥; $T_3/\text{FP}+\text{A}$, 顺坡种植+农户习惯施肥+等高植物篱条带; T_4/BF , 等高种植+平衡施肥; $T_5/\text{BF}+\text{A}$, 等高种植+平衡施肥+等高植物篱条带。试验不设重复。

1.3 供试材料

径流小区土壤为老冲积红壤,表土为重壤土, pH4.50, 有机质 $14.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全钾 $23.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效氮 $11.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $19.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $158.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

等高植物篱条带: $T_3/\text{FP}+\text{A}$ 和 $T_5/\text{BF}+\text{A}$ 从小区下部起,沿等高线种植 3 条 1 m 宽、7 m 长的花椒和黄花菜构成的植物篱条带,间距 9 m。花椒树种于下方,对空种植 2 行,行距 50 cm,同行中株距 50 cm,相邻 3 株之间呈等腰三角形,在花椒树上部 45 cm 处种植一条黄花菜,株距 10 cm。植物篱条带占用 10%的小区

面积。

玉米:“会单 4 号”杂交品种。

1.4 播种

立夏节令播种玉米,穴播, T_1/FP 、 $T_2/FP+BF$ 、 $T_3/FP+A$ 3 个处理播种规格为 70 cm×40 cm,每穴留苗 2 株; T_4/BF 、 $T_5/BF+A$ 2 个处理播种规格为 70 cm×20 cm,每穴留苗 1 株。

1.5 施肥量及施肥方法

根据中-加实验室(CAAS/PPIC)土壤样品化学分析结果,平衡施肥的 $T_2/FP+BF$ 、 T_4/BF 和 $T_5/BF+A$ 玉米肥料推荐配方为 $N:P_2O_5:K_2O:B=180:180:72:1.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,3 个处理第一年还按 $3\ 500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 施用生石灰粉;农民习惯施肥的 T_1/FP 和 $T_3/FP+A$ 肥料用量 $N:P_2O_5=277.5:153\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。50%的氮肥、50%钾肥和全部磷肥作基肥;50%的氮肥、50%钾肥和全部硼肥作追肥,播后 20~30 d 第一次追施 25%的氮肥、25%钾肥和全部硼肥,剩余 25%的氮肥、25%钾肥于抽穗前追施。

1.6 测定方法

1.6.1 降雨量测定

采用简易雨量计测定试验区降雨量。

1.6.2 径流量和泥沙侵蚀量测定

雨季每次降雨径流结束后,测量沉沙池径流悬浊液体积,并用洁净塑料瓶取样测定总氮含量,计算径流悬浊液中的氮量,累加即得整个雨季径流悬浊液带走氮素;每 10 d 清理沉沙池 1 次,取出泥沙,风干,称重,测其含水量和全氮,计算泥沙流失量和带走氮量,累加即得整个雨季泥沙流失量和带走氮量;2004—2006 年 3 年数值平均,即得本文数据。

1.6.3 玉米籽粒和秸秆产量测定

玉米成熟后,收获籽粒和秸秆,晒干,称重,测其含水量、全氮含量,计算籽粒和秸秆产量以及带走的氮量;2004—2006 年 3 年数值平均,即得本文数据。

1.6.4 水分和全氮测定

径流悬浊液总氮测定采用 $H_2SO_4-KMnO_4$ -蒸馏法,侵蚀泥沙含水量采用烘干法,全氮含量采用开氏法,玉米秸秆和籽粒含水量采用常压恒温干燥法,全氮采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ -蒸馏法测定^[12]。

2 结果与讨论

2.1 收获玉米带走氮

试验各处理 2004—2006 年 3 年平均的玉米籽粒和秸秆产量,及其收获带走氮的数量见表 1。

不管是等高种植还是顺坡种植以及有没有植物篱条带,平衡施肥的 3 个处理由于玉米籽粒、秸秆产量较高,收获玉米带走氮的数量都较多。其中,顺坡种植和平衡施肥处理为 $169.97\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,等高种植和平衡施肥处理为 $183.33\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,等高种植+平衡施肥+植物篱条带处理为 $177.24\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;不管有没有植物篱条带,顺坡种植和农民习惯施肥的两个处理玉米籽粒、秸秆产量较低,收获玉米带走氮的数量较少。其中,顺坡种植和习惯施肥处理为 $120.31\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,顺坡种植+习惯施肥+等高植物篱条带处理为 $114.92\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

在平衡施肥的情况下,等高种植处理(T_4/BF)的玉米籽粒、秸秆产量高于顺坡种植处理($T_2/FP+BF$),收获玉米带走的氮高出 $13.36\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;在等高种植和平衡施肥的情况下,有等高植物篱条带的处理($T_5/$

表 1 2004—2006 年收获玉米平均带走氮素($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 1 Average nitrogen removal by corn harvesting from 2004 to 2006($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

处理 Treatment	籽粒产量 Seed	秸秆产量 Straw	氮带走量 N removal by harvesting	占带走氮总量的% Percentage of total N removal from soil
T_1/FP	5 286.8	6 365.7	120.31	79.36
$T_2/FP+BF$	6 216.2	7 264.9	169.97	87.05
$T_3/FP+A$	5 280.8	6 123.2	114.92	98.86
T_4/BF	7 218.7	8 494.5	183.33	96.44
$T_5/BF+A$	7 169.9	8 425.7	177.24	99.42

注:表中“占带走氮总量的%”表示氮带走量占收获玉米和水土流失带走氮的总量的百分比。 T_1/FP :顺坡种植+农民习惯施肥处理; $T_2/FP+BF$:顺坡种植+平衡施肥处理; $T_3/FP+A$:顺坡种植+农民习惯施肥+等高植物篱条带处理; T_4/BF :等高种植+平衡施肥处理; $T_5/BF+A$:等高种植+平衡施肥+等高植物篱条带处理。下同。

Note:The last column refers to percentage of nitrogen removal by corn harvesting of the total nitrogen removal,including removal by corn harvesting,soil and water loss. T_1/FP :treatment 1,down slope cropping with local farmer's fertilization; $T_2/FP+BF$:treatment 2,down slope cropping with balanced fertilization; $T_3/FP+A$:treatment 3,down slope cropping with local farmer's fertilization and contour hedgerow strip(alley cropping); T_4/BF :treatment 4,contour cropping with balanced fertilization; $T_5/BF+A$:treatment 5,contour cropping with balanced fertilization and contour hedgerow strip(alley cropping).The same as below.

BF+A)收获玉米带走的氮比没有等高植物篱条带的处理(T_4 /BF)低 $6.09 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;在顺坡种植和习惯施肥条件下,有等高植物篱条带的处理(T_3 /FP+A)收获玉米带走的氮比没有植物篱条带的处理(T_1 /FP)减少 $5.39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;在顺坡种植情况下,平衡施肥处理(T_2 /FP+BF)玉米籽粒、秸秆产量高于习惯施肥处理(T_1 /FP),收获玉米带走的氮高出习惯施肥 $49.66 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

收获玉米带走的氮占玉米和水土流失带走总氮量的比例,不同农艺措施组合差异明显。其中以等高种植+平衡施肥+等高植物篱条带处理最高,达到 99.42%,顺坡种植+农民习惯施肥处理最低,仅为 79.36%。顺坡种植+平衡施肥处理、顺坡种植+农民习惯施肥+等高植物篱条带处理和等高种植+平衡施肥处理介于上述两者之间,分别为 87.05%、98.86%和 96.44%。

收获玉米带走的氮与玉米籽粒产量、玉米秸秆产量呈显著的正相关,即玉米高产措施使收获玉米从土壤中移走的氮素较多。平衡施肥的 3 个处理氮代价(氮肥投入量与籽粒带走氮量的比值)^[13]在 1.49~1.71 之间,农民习惯施肥的两个处理氮代价分别为 3.55、3.78。

2.2 水土流失带走氮

试验各处理 2004—2006 年 3 年平均水土流失量及其带走的氮见表 2。水土流失带走氮,包括泥沙中的氮和径流悬浊液中的氮两个部分。

试验不同处理水土流失带走氮的数量,清楚地反映出不同农艺措施组合对云南红壤坡耕地土壤氮素流失的巨大影响。平衡施肥条件下,玉米等高种植处理(T_4 /BF)水土流失带走的氮比顺坡种植处理(T_2 /FP+BF)低 $18.53 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,前者仅为后者的 26.73%,即玉米等高种植明显地减少了红壤坡耕地土壤氮素的流失;在玉米等高种植和平衡施肥条件下,有等高植物篱条带的处理(T_3 /BF+A)水土流失带走的氮比没有植物篱条带的处理(T_4 /BF)低 $5.73 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,前者只有后

者的 15.24%,即玉米等高种植和平衡施肥情况下植物篱条带减少红壤坡耕地水土流失带走氮达 84.76%;玉米顺坡种植和农民习惯施肥条件下,有等高植物篱条带的处理(T_3 /FP+A)水土流失带走的氮比没有植物篱条带的处理(T_1 /FP)少 $29.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,前者只是后者的 4.22%,即玉米顺坡种植和农民习惯施肥情况下等高植物篱条带减少红壤坡耕地水土流失带走氮高达 95.78%。

水土流失带走氮的数量与玉米籽粒、秸秆产量呈不显著的负相关,表明不管是玉米顺坡种植还是等高种植,产量较高的平衡施肥对抑制红壤坡耕地水土流失及其带走氮素有一定的作用,但其作用有限。顺坡种植的情况下,平衡施肥的处理(T_2 /FP+BF)水土流失带走氮比农民习惯施肥的处理(T_1 /FP)低 $6.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,前者是后者的 80.82%,即平衡施肥比农民习惯施肥减少水土流失带走氮素 19.18%。

水土流失带走的氮中,泥沙流失带走的氮素占绝大多数,径流悬浊液带走的氮的数量非常有限,对农民和农业生产并没有多少经济意义,可以忽略不计,这与国内外的研究报道是一致的。应当注意的是,径流悬浊液直接带走氮的数量很少,但土壤流失是径流引发的,因此,其对红壤坡耕地氮流失造成的间接影响不容忽视。径流悬浊液携带的少量氮素虽然对农业生产没有什么影响,但长年累月地汇集到水系水体中积累,将加速水体富营养化。

综上所述,不管是习惯施肥还是平衡施肥,在没有其他的水土保持措施时,玉米顺坡种植由于水土流失较突出,土壤氮素流失较多,不仅浪费严重,而且环境污染风险较高;玉米等高种植水土流失较少,因此减少了土壤氮素流失;不管是玉米等高种植还是顺坡种植、习惯施肥还是平衡施肥,等高植物篱条带都能大幅度地减少云南红壤坡耕地土壤氮素的流失,尤其是在顺坡种植的情况下,等高植物篱条带防止水土流

表 2 2004—2006 年 3 年平均水土流失带走氮素($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 2 Average nitrogen removal by water and soil erosion from 2004 to 2006($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

处理 Treatment	泥沙 流失量 Soil loss	泥沙带走氮 N removal by soil loss	径流悬浊液/ $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ Runoff suspension	径流悬浊液带走氮 N removal by runoff suspension	水土流失带走氮 Total N removal by water and soil erosions	占带走氮总量的比率/% Percentage of total N removal from soil
T_1 /FP	8 364.9	30.65	338.630	0.64	31.29	20.64
T_2 /FP+BF	6 852.3	24.71	298.336	0.58	25.29	12.95
T_3 /FP+A	1 191.6	1.07	122.683	0.25	1.32	1.14
T_4 /BF	2 983.3	6.35	215.873	0.41	6.76	3.56
T_3 /BF+A	470.1	0.85	101.143	0.18	1.03	0.58

失的作用更为突出。

2.3 氮素投入带走平衡状况

在不考虑氮素的挥发损失、硝化反硝化损失和下渗损失的条件下,将收获玉米和水土流失带走的氮素作为氮带走总量,用氮肥投入量减去氮带走总量所得差额来简单衡量红壤坡耕地土壤氮素的投入带走平衡状况(见表 3),不管是等高种植还是顺坡种植以及有没有植物篱条带,平衡施肥的 3 个处理氮素投入带走差额都是负数,表明土壤氮素投入量低于带走量;在顺坡种植和习惯施肥条件下,有植物篱和没有植物篱的处理氮素带走量都低于投入量。

回归分析表明,氮素投入带走差额,与施氮量呈极显著的正相关,与施磷量呈不显著的负相关,与施钾量呈极显著的负相关,与玉米籽粒产量、秸秆产量呈显著的负相关,与土壤流失量、径流量呈不显著的正相关。由此可见,在云南红壤坡耕地上,氮素的投入带走平衡状况主要与氮肥、钾肥施用量、玉米籽粒和秸秆产量有密切关系。施氮量高,氮素投入高于带走;平衡施肥的处理,玉米籽粒和秸秆产量较高,收获玉米带走氮素较多,氮素带走略高于投入;习惯施肥的处理,玉米籽粒和秸秆产量较低而氮素投入较高,收获玉米带走氮素较少。

3 小结

(1)不同农艺措施对云南红壤坡耕地玉米带走氮素的影响差异明显。顺坡种植和农民习惯施肥条件下,玉米仅带走 $120.31 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 氮素,占水土流失和收获玉米带走氮总量的 79.36%;等高种植、平衡施肥和等高植物篱条带条件下,玉米带走 $177.24 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的氮,占水土流失和收获玉米带走氮总量的 99.42%;平衡施肥条件下,等高种植比顺坡种植增加玉米带走

氮素 $13.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;顺坡种植条件下,等高植物篱条带减少玉米带走氮素 $5.39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平衡施肥比习惯施肥增加玉米带走氮素 $49.66 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;等高种植条件下,等高植物篱条带减少玉米带走氮素 $6.09 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(2)不同农艺措施对云南红壤坡耕地水土流失带走氮的影响差异明显。玉米顺坡种植和农民习惯施肥条件下,水土流失带走 $31.29 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的氮,占水土流失和收获玉米带走氮总量的 20.64%;玉米等高种植、平衡施肥和等高植物篱条带条件下,水土流失带走 $1.03 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的氮,仅占水土流失和收获玉米带走氮总量的 0.58%。平衡施肥条件下,玉米等高种植比顺坡种植减少水土流失带走氮素 $18.53 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;玉米等高种植和平衡施肥条件下,等高植物篱条带减少水土流失带走氮素 $5.73 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;玉米顺坡种植和习惯施肥条件下,等高植物篱条带减少水土流失带走氮素 $29.97 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;玉米顺坡种植条件下,平衡施肥比习惯施肥减少水土流失带走氮素 $6.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(3)不同农艺措施对云南红壤坡耕地氮素投入带走平衡状况的影响。云南红壤坡耕地氮素的投入带走平衡状况主要与氮、钾施用量、玉米籽粒和秸秆产量有密切关系,施氮量高,氮素投入高于带走;平衡施肥玉米籽粒、秸秆产量高,氮带走总量较多,氮素带走略高于投入;习惯施肥玉米籽粒、秸秆产量低,氮素投入高,带走较少。

参考文献:

- [1] 陈继海. 云南林业生态环境建设与西部开发[J]. 云南林业, 2000, 21 (5):4-6.
- [2] CHEN Ji-hai. Eco-environmental construction in Yunnan forestry and its relation to western China development [J]. *Yunnan Forestry*, 2000, 21 (5):4-6.
- [2] 李素清, 李 斌, 张金纯. 不同降雨量下的黄土高原土壤侵蚀特征分

表 3 试验各处理氮素投入、带走差额($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 3 Nitrogen input from fertilizer and their balances in different treatments($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

处理 Treatment	施入肥料氮 N input	施入肥料磷 P_2O_5 input	施入肥料钾 K_2O input	氮带走总量 Total N removal from soil	氮素投入带走差额 Difference of nitrogen input and removal
T/FP	277.50	153.00	0	151.60	125.90
T ₂ /FP+BF	180.00	180.00	72.00	195.26	-15.26
T ₃ /FP+A	249.75	137.70	0	116.24	133.52
T/BF	180.00	180.00	72.00	190.09	-10.09
T ₃ /BF+A	162.00	162.00	64.80	178.27	-16.27

注:氮素投入带走差额=氮肥投入量-带走氮总量(包括收获玉米、水土流失带走的氮量),N 肥施用量大于玉米收获和水土流失带走氮量,差额为正数,N 肥施用量小于玉米收获和水土流失带走氮量,差额为负数。

Note: Nitrogen balance = input from fertilizer - removal (by harvesting + by soil and water erosion). If the input from fertilizer is greater than the amount of removal, the value is positive. If the input is less than the amount of removal, the value is negative.

- 析[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1):94-97.
- LI Su-qing, LI Bin, ZHANG Jin-chun. Soil characteristics under different precipitation conditions in Loess plateau[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(1):94-97.
- [3] 傅 涛, 倪九派, 魏朝富, 等. 坡耕地土壤侵蚀研究进展[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3):123-128.
- FU Tao, NI Jiu-pai, WEI Chao-fu, et al. Recent development of sloping field erosion [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(3): 123-128.
- [4] 张 燕, 彭补拙, 高 翔, 等. 侵蚀引起的苏南坡地土壤退化[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1):113-117.
- ZHANG Yan, PENG Bu-zhuo, GAO Xiang, et al. Soil degradation by erosion in sloping land in southern Jiangsu Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(1): 113-117.
- [5] 张 燕, 张 洪, 彭补拙, 等. 不同土地利用方式下农地土壤侵蚀与养分流失[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1):23-26, 31.
- ZHANG Yan, ZHANG Hong, PENG Bu-zhuo, et al. Soil erosion and nutrient loss of various land use patterns[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2003, 23(1):23-26, 31.
- [6] 水建国, 柴锡周, 张如良. 红壤坡地不同生态模式水土流失规律的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2):33-36.
- SHUI Jian-guo, CHAI Xi-zhou, ZHANG Ru-liang. Water and soil loss in different ecological models on sloping land of red soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(2):33-36.
- [7] Maltby E, Holdgate M, Aceman M, 等著. 康 乐, 韩兴国, 蒋志刚, 等译. 生态系统管理——科学与社会问题[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 4.
- Maltby E, Holdgate M, Aceman M, et al. KANG Le, HAN Xing-guo, JIANG Zhi-gang, translate. Ecosystem management questions for science and society[M]. Beijing: Science Press, 2003. 4.
- [8] Eger H, Fleischhauere E, Hebel A, 等. 行动起来实现土地的可持续利用[J]. AMBIO—人类环境杂志, 1996, 25(8):480-483.
- Eger H, Fleischhauere E, Hebel A, et al. Acting for sustainable land use [J]. *AMBIO—Journal of Human Environment*, 1996, 25(8):480-483.
- [9] 郑子成, 吴发启, 何淑勤. 耕作措施对产流作用的研究[J]. 土壤, 2004, 36(3):327-330.
- ZHENG Zi-cheng, WU Fa-qi, HE Shu-qin. Effects of cultivation management on runoff[J]. *Soil*, 2004, 36(3):327-330.
- [10] 陈治谏, 廖晓勇, 刘邵权. 坡地植物篱农业技术生态经济效益评价[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4):125-127, 160.
- CHEN Zhi-jian, LIAO Xiao-yong, LIU Shao-quan. Improvement of slope cropland productivity by applying agricultural technique of plant hedge-rows[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(4): 125-127, 160.
- [11] 廖晓勇, 陈治谏, 罗 辑. 农耕地坡改梯增值评价[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2):173-174.
- LIAO Xiao-yong, CHEN Zhi-jian, LUO Ji. Evaluation of agricultural land value appreciated by terracing of cultivated sloping land[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(2):173-174.
- [12] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000:127-129, 146-149, 302-311.
- LU Ru-kun. Soil analytical method for agro-chemistry[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000:127-129, 146-149, 302-311.
- [13] Bleken M A, Bakken L R. 食物生产的氮代价—挪威实况分析[J]. AMBIO—人类环境杂志, 1997, 26(3):130-138.
- Bleken M A, Bakken L R. Payoff for food production—case study of Norway[J]. *AMBIO—Journal of Human Environment*, 1997, 26(3):130-138.