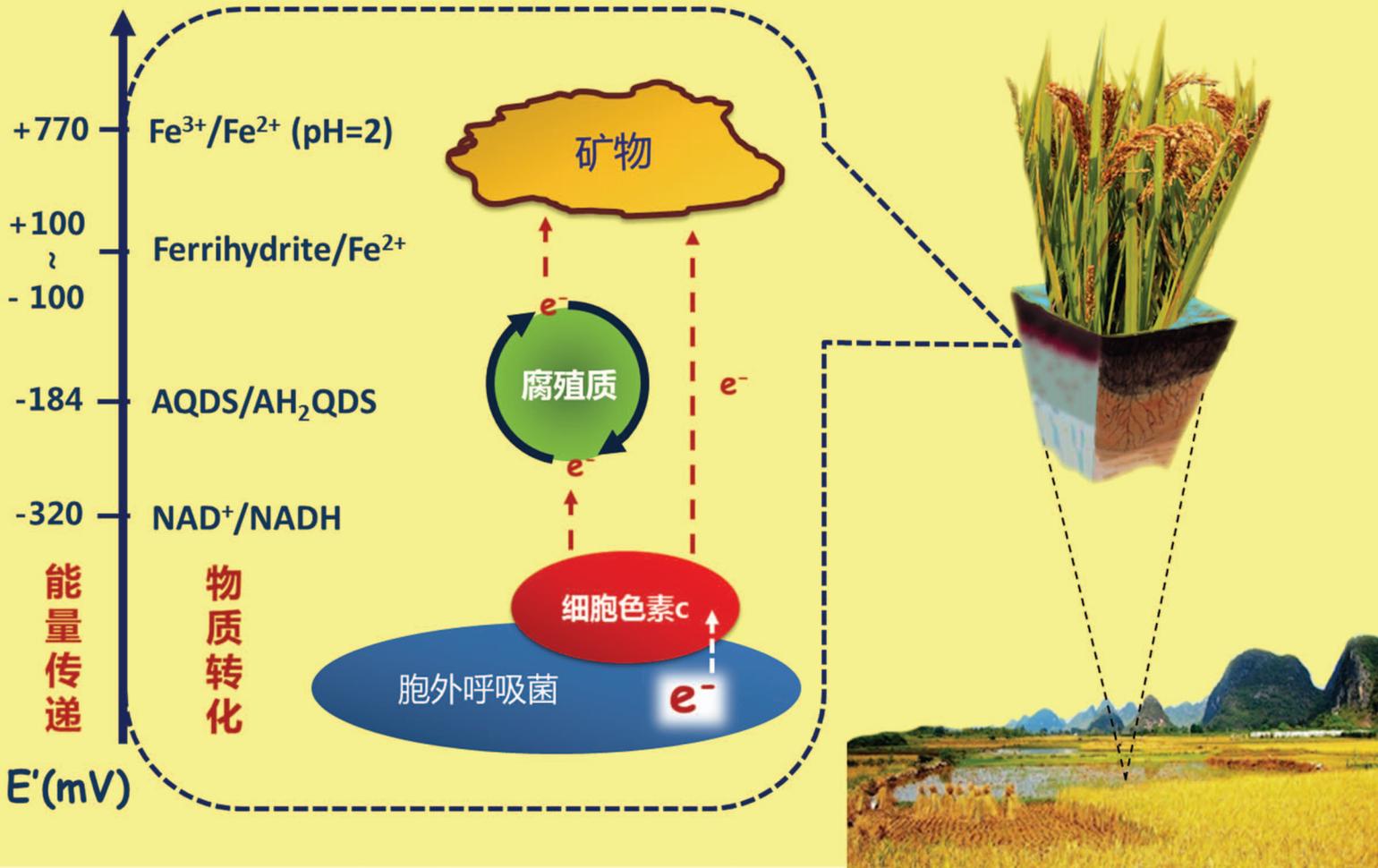


Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

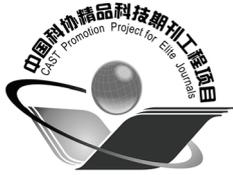


中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2016

第53卷 第2期

Vol.53 No.2



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

目 次

综述与评论

- 土壤微生物—腐殖质—矿物间的胞外电子传递机制研究进展····· 吴云当 李芳柏 刘同旭 (277)
长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响····· 王 敬 程 谊 蔡祖聪等 (292)

新视角与前沿

- 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究····· 蔡祖聪 黄新琦 (305)

研究论文

- 西安少陵塬黄土—古土壤序列 S_3 剖面元素迁移及古气候意义····· 楚纯洁 赵景波 (311)
基于盲源分离的稀疏植被区土壤含盐量反演····· 刘 娅 潘贤章 石荣杰等 (322)
基于地类分层的土壤有机质光谱反演校正样本集的构建····· 刘艳芳 卢延年 郭 龙等 (332)
基于多分辨率遥感数据与随机森林算法的土壤有机质预测研究····· 王茵茵 齐雁冰 陈 洋等 (342)
鄂东南崩岗剖面土壤水分特征曲线及模拟····· 邓羽松 丁树文 蔡崇法等 (355)
放水冲刷对红壤坡面侵蚀过程及溶质迁移特征的影响····· 马美景 王军光 郭忠录等 (365)
汶川震区滑坡堆积体坡面土壤侵蚀率及水动力学参数研究····· 王仁新 何丙辉 李天阳等 (375)
咸水冻融灌溉对重度盐渍土壤水盐分布的影响····· 张 越 杨劲松 姚荣江 (388)
基于不同估算方法的贵州省土壤温度状况····· 陆晓辉 董宇博 涂成龙 (401)
拉萨灌丛草甸区土壤温度变化特征····· 巩玉玲 王兆锋 张懿锂等 (411)
砂土和黏土的颗粒差异对土壤斥水性的影响····· 杨 松 吴珺华 董红艳等 (421)
AQDS加速红壤性水稻土中DDT厌氧脱氯效应研究····· 刘翠英 王 壮 徐向华等 (427)
激发式秸秆深还对土壤养分和冬小麦产量的影响····· 赵金花 张丛志 张佳宝 (438)
臭氧污染对麦田土壤不同活性有机碳库的影响····· 寇太记 程相涵 张东亮等 (450)
黑土区水稻土有机氮组分及其对可矿化氮的贡献····· 丛耀辉 张玉玲 张玉龙等 (457)
水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响····· 黄尚书 成艳红 钟义军等 (468)
祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征····· 赵维俊 刘贤德 金 铭等 (477)
基于核酸DNA/RNA同位素示踪技术的水稻土甲烷氧化微生物研究····· 郑 燕 贾仲君 (490)
适应玉米的溶磷细菌筛选及其对玉米生长的影响····· 梅新兰 闪安琪 蒋 益等 (502)
旱地红壤线虫群落对不同耕作年限的响应及指示意义····· 王明伟 刘雨迪 陈小云等 (510)
西藏“玉米田养鹅”模式下养分吸收与养分平衡特征····· 沙志鹏 张宇阳 王 超等 (523)
加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响····· 康亚龙 景 峰 孙文庆等 (533)

研究简报

- CTMAB对BS-12修饰膨润土的复配修饰模式····· 余 璐 孟昭福 李文斌等 (543)
不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响····· 孟庆英 张春峰 贾会彬等 (552)

信息

- 《土壤学报》2015年度审稿专家名录····· (560)

封面图片: 微生物胞外电子传递: 能量传递与物质转化 (由吴云当、李芳柏、刘同旭提供)

DOI: 10.11766/trxb201508130279

西藏“玉米田养鹅”模式下养分吸收与养分平衡特征*

沙志鹏¹ 张宇阳¹ 王超¹ 权红^{1†} 关法春^{1, 2†}

(1 西藏大学农牧学院, 西藏林芝 860000)

(2 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101)

摘要 农田生态系统养分吸收与养分平衡是影响系统生产力和环境质量的关键因素之一。本研究通过分析玉米田养鹅和常规玉米种植生产方式下玉米植株与籽粒的养分分配状况, 以及系统中养分的输入和输出状况, 对比评价各处理下养分的吸收和利用效率以及养分盈余和亏缺状态。结果表明, 玉米田养鹅处理下玉米籽粒和秸秆的氮(N)、磷(P)和钾(K)含量与对照相比无显著差异; 玉米田养鹅处理各养分的吸收量与产量的相关性大小依次为 $P > K > N$, 其中P和K养分与产量的相关性显著($p < 0.05$); 对照为 $P > N > K$, 其中P和N养分与产量的相关性显著($p < 0.05$); 玉米田养鹅处理和对照的N、 P_2O_5 和 K_2O 养分收获指数、吸收效率和利用效率之间均无明显差异; 不同处理均存在较低的养分投入和较高的养分产出的情况, 系统养分失衡, 尤其是N和K元素在产出后严重亏缺, 与玉米田养鹅处理相比, 对照的N和K养分亏缺量分别高出39.0%和34.90%, 处理间差异显著($p < 0.05$), 对照P素的亏缺较小, 但玉米田养鹅处理P素出现少量盈余, 处理间差异极显著($p < 0.01$); 从经济效益来看, 玉米田养鹅处理虽存在玉米减产的问题, 但其经济产量损失的部分可由肉鹅的经济产出得以补偿并获得了更高的经济效益。总体而言, 玉米田养鹅处理对养分吸收和利用无明显影响, 养分平衡状况较好, 经济效益较高。

关键词 养分吸收; 养分平衡; 玉米田养鹅; 经济效益

中图分类号 S 158 **文献标识码** A

农业生产是西藏经济和社会发展的主要支柱。随着现代化农业的发展, 农业生产对土壤环境以及水体环境的影响备受国内外学者的关注^[1-3]。在西藏, 为增加生产效益, 全区化肥的使用量不断增加, 2012年化肥使用量已达到14.3万吨, 为1993年的1.8倍^[4]。西藏主要的农业产区集中在“一江两河”地区, 大量化肥施用一方面可能会造成大量营养元素(如N和P)通过淋溶进入河流, 另一方面通过氨挥发和反硝化作用进入大气, 进而造成水体富营养化和增加温室气体的排放等面源污染^[5-8], 而这一系列的环境破坏将可能是对高原脆弱生境的

“致命一击”。因此对农业生态系统中养分投入和支出的监测是必要的, 其投入和支出之间的平衡是评价农业可持续生产的重要指标^[9]。

农田生态系统养分吸收与平衡是影响系统生产力和环境质量的重要过程^[10]。肥料投入虽能提升土壤肥力并保障粮食高产, 但过量施肥、忽视环境本身养分供应以及作物对养分的需求, 也会使资源利用效率降低并增加环境风险^[5]。养分平衡(nutrient balance)和养分收支(nutrient budget)等方法通过监测某一时期内系统中养分的输入和输出来评价该时期内养分(N、P和K等)

* 中国科学院科技服务网络计划项目(KFJ-EW-ST5-073)、西藏科技厅项目和西藏野生特色生物资源开发平台资助 Supported by the Science and Technology Service Network Initiative of the Chinese Academy of Science (No. KFJ-EW-ST5-073), Tibet Provincial Department of Science and Technology, and the Development Platform of Wild Characteristic Biological Resources in Tibet

† 通信作者 Corresponding author, E-mail: 782653742@qq.com; guanfachun@163.com

作者简介: 沙志鹏(1989—), 男, 云南西双版纳人, 硕士研究生, 主要从事农牧一体化的研究。E-mail: dragonlord726@163.com

收稿日期: 2015-08-13; 收到修改稿日期: 2015-11-20

的盈余和亏缺状态,从而推断养分利用效率高和存在的环境风险。这些方法因其直接和有效等特点在不同领域和不同尺度的研究中得到广泛应用^[11-13]。Paltridge等^[14]通过对西藏的土壤物理性质、化学性质和主要经济作物农区的土壤养分现状进行分析,指出,西藏农区土壤多为砂壤土,pH呈碱性,有机质含量低,K和锌(Zn)元素含量同样较低,同时在作物叶片中K、Zn和镁(Mg)元素缺乏,农田在产出谷物的同时只投入了N和P肥料,缺乏K和Zn的投入,养分严重失衡。

“玉米田养鹅”是“农牧一体化”理论的技术模式之一,当前研究主要集中在田间杂草防控^[15]、多样性的维持^[16-17]以及生产—生态效益的评价^[18-20]等方面,但针对“农牧一体化”生产模式下的养分循环与平衡方面的研究仍较少。为此,本文通过对“农牧一体化”生产方式下的“玉米田养鹅”模式的N、P和K养分吸收利用以及养分收支特点进行探索研究,阐明“玉米田养鹅”农田系统中主要养分N、P和K的投入和产出情况,以期明确“玉米田养鹅”生产模式对养分吸收、利用和平衡特征的影响,为今后寻求“玉米田养鹅”模式合理养分管理途径和推动技术模式的生产应用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验地点位于西藏林芝地区八一镇章麦村(29°33' N, 94°21' E),当地具体气象状况和土壤状况参见文献[20]。供试土壤类型为棕壤土,土壤有机质14.50 g kg⁻¹,全氮0.77 g kg⁻¹,全磷1.09 g kg⁻¹,全钾2.57 g kg⁻¹,阳离子交换量21.9 cmol kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验地过去耕作制度为油菜—冬小麦—春青稞轮作。本试验于2013年5月9日进行玉米播种和覆膜,玉米品种为“酒单4号”,玉米株、行间间隔分别为30cm和70 cm,施复合肥作为底肥(用量:240 kg hm⁻²;组成:N33%,P₂O₅17%,K₂O17%,

有机质20%),同时覆膜。玉米农田内设置两种生产方式:玉米田养鹅(Rising geese in corn field, RGICF)和常规玉米种植(Conventional corn planting, CK),重复3次,小区面积为80 m²。玉米田养鹅处理的农田一直不除草,小区四周用约50 cm高尼龙网围封,8月7日放入雏鹅,为确保杂草的持续供应以及减少鹅对作物的干扰,玉米田养鹅处理的养鹅数量为10只,并在3个小区内轮流放牧,一个小区连续放牧3日后转移到下一个小区。于清晨放入肉鹅,白天供应充足水源,夜间收回肉鹅以防天敌为害,并投加复合饲料(100 g 只⁻¹),9月28日养鹅结束。对照使用除草剂“玉雕”(成分:锈去津,含量:90%;硝磺草酮,含量:10%)来进行杂草管理,施用量为1.65 kg hm⁻²(溶于120 L水),利用背式喷雾器进行喷施,喷头处罩上自制罩头避免除草剂飘散,播种后第一次施用,50天后再次施用。各处理在整个生育期均未进行灌溉,且其他生产措施均相同。

1.3 各处理中物质投入和产出分析

在玉米田养鹅处理和对照的养分投入主要包括化肥、大气干湿沉降和种子带入的养分量。其中化肥养分投入量按实际养分含量计算,并换算成N、P₂O₅和K₂O投入;湿沉降带入养分量,通过耕地面积乘以湿沉降带入养分速率计算,N素干沉降带入养分量通过耕地面积乘以N素干沉降带入养分速率计算,其中N素干沉降带入养分速率为2.90 kg hm⁻² a⁻¹,N素湿沉降带入养分速率为2.64 kg hm⁻² a⁻¹^[21]。在玉米田养鹅处理中,雏鹅、鹅饲料以及所产生的粪便参与玉米田养鹅系统的物质流动和养分平衡,各部分养分投入根据所含N、P₂O₅和K₂O的量进行计算。

玉米田养鹅处理的养分产出主要包括玉米籽粒、秸秆、鹅和肥料损失;对照的养分产出主要包括玉米籽粒、玉米秸秆和肥料损失。肥料的N和K素损失是主要的养分损失,但当阳离子交换量超过40 mmol kg⁻¹时K的淋失可以忽略不计^[22],此外P的损失较少(0.2%~0.3%)^[23]忽略不计。因此本研究中仅计算了N素的养分损失,其损失途径主要包括淋失、径流、氨挥发以及反硝化作用,淋失与径流的N损失($N_{\text{leaching, runoff}}$)计算公式为^[24]:

$$N_{\text{leaching, runoff}}=21.37+(P/C \times L) \times (0.0037 \times N_f+0.000061 \times O_c-0.00362 \times N_u) \quad (1)$$

式中,P为每年的沉降量,C为黏土含量,L为作物根长, N_f 为有机肥和化肥的使用量, O_c 为土壤有机

碳含量, N_u 为作物吸收的N量。由上述公式计算可知,玉米田养鹅处理N素通过淋失与径流的损失量

为 $11.32 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ，对照为 $7.88 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ；在氮素气体损失（Gaseous loss）中氨蒸发量为所施肥料的11%^[25]，反硝化作用所损失氮的测定：从4月1日开始至10月15日，每个月1日和15日进行，通过气体静态箱—气相色谱法测定 N_2O 的排量。静态箱大小 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 。采用时间为上午9:00~11:00，分别于罩箱后0、10、20和30 min用注射器抽取100 ml气体于预先抽真空的气袋中待测气体浓度。 N_2O 气体浓度通过Agilent7890A气相色谱测定，ECD检测器，温度 350°C ，柱温 55°C 。计算不同处理 N_2O 通量，并换算不同处理生育期内反硝化作用的N排量。其中玉米田养鹅为 $1.32 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ，对照为 $1.23 \text{ kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。

1.4 样品采集与分析

玉米籽粒于播种前收集，磨碎，过 0.4 mm 筛，测定前于 80°C 烘箱恒温干燥24 h，待测N、P和K含量；玉米植株于2013年10月采集，每个小区采集三株标准株，采回立即放入 105°C 烘箱，杀青20 min，随后于 80°C 烘箱烘干至恒重，植株粉碎，过 0.4 mm 筛，待测N、P和K含量；收获玉米籽粒烘干恒重后与播种籽粒处理方式相同。

8月7日养鹅开始即收集鹅粪，每小区设置5个 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 的固定小样方，每日放牧后收集样方内鹅粪，带回称重，风干后再次称重，磨碎，过 0.15 mm 筛，待测N、P和K含量。鹅粪主要是由鹅田间放牧时采食杂草、作物底部叶片以及其他田间食源所转化的，夜间投入饲料所转化的粪便未施入田间。

玉米籽粒、植株以及鹅粪的N、P和K含量测定，采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{—H}_2\text{O}_2$ 消煮（LWY84B型控温式远红外消煮炉，四平电子科技研究所，吉林四平），全氮采用奈式比色法（755B紫外可见分光光度计，上海菁华科技有限公司，上海）、全磷采用钒钼酸铵比色法、全钾采用火焰光度法（FP6410火焰光度计，上海悦丰仪器仪表有限公司，上海）测定。

1.5 养分运移、利用和平衡的计算

养分收获指数（nutrient harvest index^[5]，NHI）：

$$\text{NHI}_i = N_{G_i} / N_{AG_i} \quad (2)$$

式中， NHI_i 为*i*养分收获指数； N_{G_i} 为籽粒中*i*养分含量； N_{AG_i} 为地上部分*i*养分含量。

养分吸收效率（nutrient absorption efficiency，NAE）^[26]：

$$\text{NAE}_i = \text{AN}_i / A \quad (3)$$

式中， NAE_i 为*i*养分的吸收效率； AN_i 为*i*养分的吸收量； A 为土地面积。

养分利用效率（nutrient utilization efficiency）^[26]：

$$\text{NUE}_i = \text{CY} / \text{AN}_i \quad (4)$$

式中， NUE_i 为*i*养分的利用效率； CY 为作物产量。

整个生育期某养分的流通总量（投入或支出）：

$$F = \sum_{i=1}^n Q_i C_i \quad (5)$$

式中， F 为某养分在生育期内的流通总量（投入或支出）； n 为养分投入或支出途径； Q_i 为支出物质的数量（如种子和化肥的质量）； C_i 为某物质中某养分的含量。

本研究中，某养分表观平衡^[5]为：

$$\Delta AB_i = I_{(S_i+F_i+AS_i)} - O_{(Y_i+L_i)} \quad (6)$$

式中， ΔAB_i 为*i*元素的表观平衡（Apparent balance）； I 为输入的养分， O 为输出的养分； S_i 为种子所投入的*i*养分； F_i 为肥料中所投入的*i*养分； AS_i 为大气沉降（Atmospheric deposition）所投入的*i*养分； Y_i 为产品中所产出*i*养分； L_i 为*i*养分的损失如肥料损失。

1.6 数据处理

利用Excel 2003和SPSS 21.0统计软件对不同处理的养分吸收利用以及养分收支进行计算，采用T-检验进行差异显著性分析，采用皮尔森相关系数（Pearson correlation coefficient）进行相关性分析，运用Origin 9.0进行绘图。

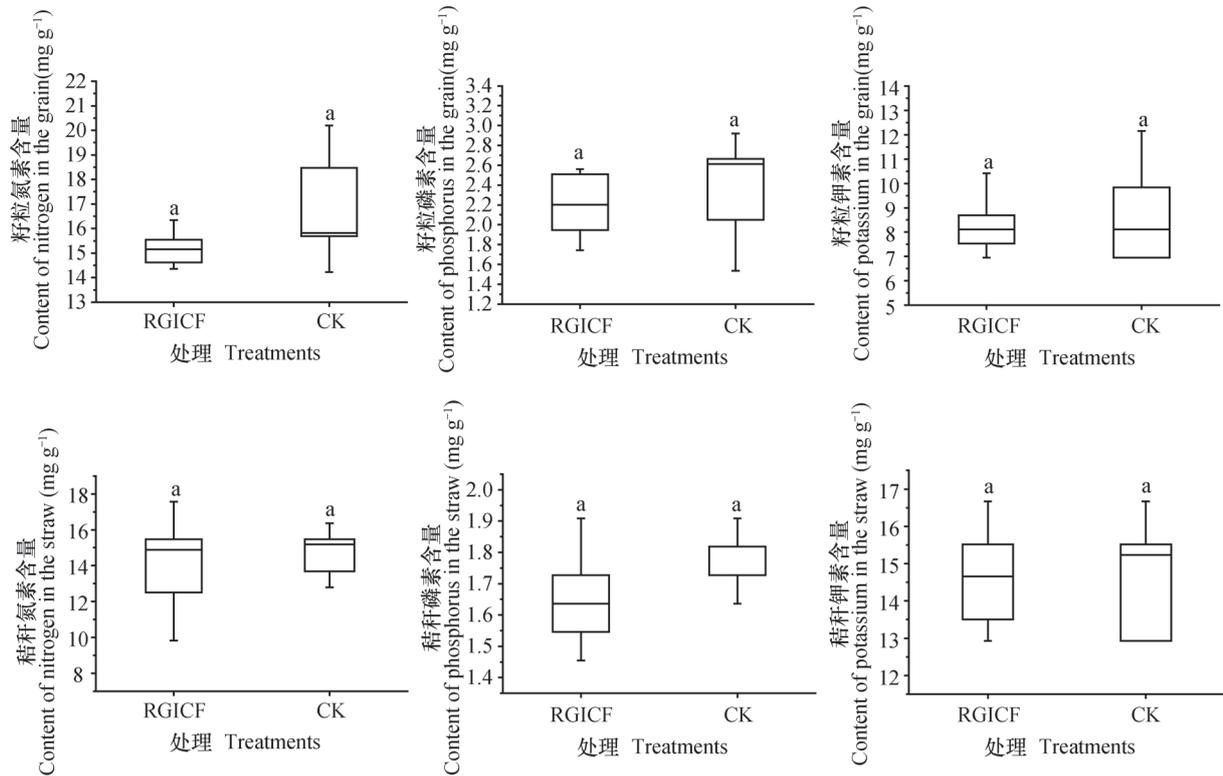
2 结 果

2.1 不同处理下玉米秸秆和籽粒养分含量

玉米田养鹅处理下玉米籽粒N、P和K养分含量分别为 15.62 、 2.20 和 8.49 mg g^{-1} ，对照为 16.82 、 2.37 和 8.49 mg g^{-1} （图1），处理间并未发现显著差异（ $p > 0.05$ ）；玉米田养鹅秸秆N、P和K养分含量分别为 14.29 、 1.65 和 14.69 mg g^{-1} ，对照为 14.75 、 1.78 和 14.56 mg g^{-1} ，处理间并未发现显著差异（ $p > 0.05$ ）。

2.2 不同处理下玉米产量与地上部分养分吸收的关系

N素吸收量是限制对照产量提高的主要因子之一（图2），氮素吸收量与产量关系达到显著



注：RGICF表示玉米田养鹅处理，CK表示常规玉米种植的对照；不同小写字母表示在0.05水平上差异显著，下同 Note: RGICF stands for the treatment of raising geese in corn field, CK for control of conventional corn planting; Different lowercase letters indicate a difference at the 0.05 significance level, the same below

图1 不同处理下玉米籽粒和秸秆养分含量

Fig. 1 Nutrients contents in corn grains and stalks relative to treatment

表1 不同处理下养分收获指数以及养分吸收和利用效率

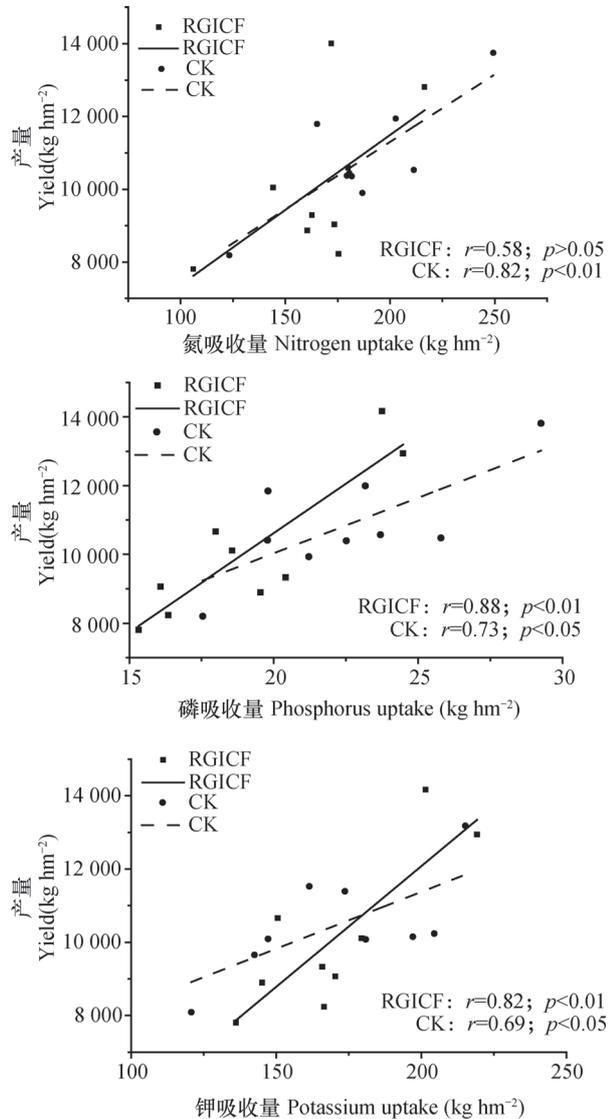
Table 1 Harvest index, absorption efficiency and utilization efficiency of nutrients relative to treatment

处理 Treatment	养分收获指数 Harvest index (%)			养分吸收效率 Absorption efficiency (kg hm ⁻²)			养分利用效率 Utilization efficiency (kg kg ⁻¹)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
玉米田养鹅 RGICF	48.8 ± 4.15a	53.4 ± 3.77a	33.2 ± 2.28a	323 ± 56.2a	41.6 ± 8.96a	255 ± 38.5a	31.5 ± 3.65a	245 ± 25.4a	39.7 ± 4.91a
对照 CK	49.3 ± 2.80a	52.9 ± 3.65a	33.1 ± 3.73a	369 ± 67.8a	47.9 ± 8.53a	276 ± 54.3a	29.6 ± 3.15a	229 ± 36.4a	39.9 ± 5.66a

注：同一行内不同小写字母表示在0.05水平上差异显著 Note: Different lowercase letters in the same line indicate a difference at the 0.05 significance level

水平 ($p < 0.05$)，但在玉米田养鹅处理中，地上部分的氮吸收量与产量的相关性并未达到显著水平 ($p > 0.05$)；在两种处理中，P素的吸收与产量相关性均达到显著水平，且玉米田养鹅处理下，P素的吸收与产量相关性达到了极显著水平 ($p < 0.01$)；从K素的吸收与产量的线性关系来

看，玉米田养鹅处理地上部K素吸收与产量的相关性大 ($p < 0.01$)，与之相对，由于K素向籽粒的分配较少而累积在秸秆中的比例较大，对照地上部K的吸收量与产量的相关性不显著 ($p > 0.05$)。总体而言，玉米田养鹅处理各养分的吸收量与产量的相关性大小依次为P > K > N，对照为P > N > K。



注： r 表示皮尔森相关系数， p 表示相关系数的显著性 Note: r for Pearson Correlation Coefficient and p significance of correlation coefficient

图2 玉米产量与地上部分养分吸收的关系

Fig. 2 Relationship between corn yield and above-ground nutrient uptake

2.3 不同处理下养分收获指数以及养分吸收与利用效率

从表1中可以看出，玉米田养鹅处理的N、P和K养分收获指数与对照相比无明显差异 ($p > 0.05$)；与养分收获指数相同，玉米田养鹅处理的养分吸收和利用效率与对照之间均无显著差异 ($p > 0.05$)，总体而言，玉米田间放养鹅对玉米籽粒养分吸收、积累和利用均未造成显著影响。

2.4 不同处理下养分投入、产出以及表现平衡

玉米田养鹅处理与对照相比增加了鹅、饲料和有机肥的养分投入 (表2)，其中饲料所含N、P₂O₅和K₂O分别占总养分投入的19.0%、17.6%和8.38%，有机肥的三种养分投入分别占20.5%、9.42%和40.4%；此外化肥在系统养分投入中也占较大比例，玉米田养鹅处理中，化肥所含N、P₂O₅和K₂O分别占总养分投入的55.1%、70.1%和50.0%；对照化肥所含N、P₂O₅和K₂O分别占总养分投入的94.6%、99.7%和98.3%。

养分产出主要包括玉米籽粒、秸秆和肥料损失。与对照相比，玉米田养鹅处理的支出养分还有鹅的损失，鹅所产出的N、P₂O₅和K₂O养分支出分别占总养分支出的3.98%、14.3%和0.27%，玉米籽粒和秸秆产出所含N、P₂O₅和K₂O，分别占玉米田养鹅处理总支出养分的43.6%、46.2%、33.4%和45.7%、39.6%、66.3%，肥料损失中所含N占总支出养分的6.76%；对照的养分支出中，玉米籽粒和秸秆的产出占较大比例，其籽粒产出所带走的N、P₂O₅和K₂O分别占总支出养分的47.2%、53.4%和33.3%，秸秆产出所带走的N、P₂O₅和K₂O分别占总支出养分的48.2%、46.6%和66.7%；化肥损失的养分支出量占总支出量的比例较小，其支出中所含N占总支出养分的4.62%。

物质与养分的投入和产出直接影响着养分的表现平衡 (表2)，玉米田养鹅处理N、P₂O₅和K₂O养分的总投入分别高于对照71.5%、42.1%和96.5%，与之相反，对照的N和K养分的产出要分别高于玉米田养鹅处理6.94%和8.38%；在对照中P的产出较养鹅处理低1.14%，处理间差异均不显著 ($p > 0.05$)。不同处理均存在较低的养分投入以及较高的养分产出的情况，养分收支不均，尤其是N和K在产出后严重亏缺，与玉米田养鹅处理相比，对照的N和K养分亏缺量高出39.0%和34.9%，处理间差异显著 ($p < 0.05$)，对照P亏缺较小，但玉米田养鹅处理P出现少量盈余，处理间差异极显著 ($p < 0.01$)。

2.5 不同处理下的经济效益

从表3可以看出，玉米田养鹅处理玉米产量较对照减少了6.22%，处理间差异不显著 ($p > 0.05$)；玉米田养鹅处理的总收入是对照的2.11倍，而由于

表2 不同处理的养分投入、产出以及表观平衡

Table 2 Nutrient inputs, output and apparent balance in the relative to treatment (kg hm⁻² a⁻¹)

	玉米田养鹅 Raising geese in corn fields			对照 CK		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
养分投入 Nutrient inputs						
种子Seeds	1.79	0.14	0.72	1.79	0.14	0.72
化肥Chemical fertilizer	79.2	40.8	40.8	79.2	40.8	40.8
干沉降Dry deposition	1.45	—	—	1.45	—	—
湿沉降Wet deposition	1.32	—	—	1.32	—	—
雏鹅Baby geese	3.15	1.50	0.15	—	—	—
饲料Fodder	27.4	10.3	6.84	—	—	—
有机肥Organic fertilizer	29.4	5.48	33.1	—	—	—
投入合计Total input	143.7	58.18	81.60	83.76	40.94	41.52
养分支出Nutrient outputs						
玉米籽粒Corn seeds	157	22.4	84.5	182	25.5	91.8
秸秆Stalk	165	19.16	171	187	22.4	185
鹅Geese	14.5	6.90	0.69	—	—	—
养分损失Nutrients loss	24.59	—	—	17.82	—	—
支出合计Total output	347	48.5	256	387	47.9	276
表观平衡Apparent balance	-218	9.68	-174	-303	-7.00	-235

注：“—”表示该处理未出现该项，下同 Note: The “—” indicate that this item was not available in this treatment, the same below

表3 不同处理下经济投入—产出结构以及经济效益

Table 3 Economic input-output structure and economic benefits relative to treatment

处理 Treatment	总投入 Total input (yuan hm ⁻²)	出栏鹅 Geese (yuan hm ⁻²)	玉米 Corn (yuan hm ⁻²)	总收入 Gross income (yuan hm ⁻²)	净收入 Net income (yuan hm ⁻²)	产投比 Output/Input
玉米田养鹅 Raising geese in corn fields	31 678	24 960	20 270	45 230	13 552	1.43
对照 CK	13 329	—	21 615	21 615	8 286	1.62

较大的经济投入，玉米田养鹅处理的产投比低于对照0.19，但就净收益来言，玉米田养鹅处理是对照的1.64倍。

3 讨论

3.1 不同处理对养分吸收和利用的影响

养分收获指数（HI）是衡量作物利用所获得

的养分进行籽粒生产的效率^[27]，HI与作物产量、养分积累（尤其是在玉米吐丝后）和转移关系密切^[26]。在本研究中，玉米田养鹅N、P和K养分的HI分别为48.8%、53.4%和33.2%，对照分别49.3%、52.3%和33.1%，可以看出处理间HI的差异不显著，而与前人研究相比（N、P和K养分的HI分别为58%、79%和33%）^[28]，N和P的HI较低，这主要是高原环境条件限制造成的产量较低引起

的^[29]。养分吸收效率(AE)是衡量作物在单位面积内获得养分的效率, AE与养分的吸收量呈正相关关系。本文中玉米田养鹅处理的N、P和K养分在籽粒和秸秆中的含量以及作物产量与对照相比均无显著差异(图1), 说明玉米田间放牧鹅对玉米养分吸收和生产的影响较小, 其各养分的AE与对照相比无明显变化。对于K素的吸收和积累, 不同处理下秸秆中K的含量均要高于籽粒, 这与胡昌浩和潘子龙^[30]的研究相同, 也正因为K素的分配特点, 不同处理地上部分K素的吸收量与产量之间的相关性不显著。养分利用效率(UE)是衡量农业生产效率的主要指标, 其综合考虑了总经济产出与土壤养分和投入养分资源利用的关系^[31], 玉米N、P和K的UE范围分别是21~64、126~384和20~90 kg kg⁻¹, 本研究玉米田养鹅处理和对照均在此范围内, 但处理间养分UE无明显差异(表1)。

3.2 不同处理对养分表观平衡和经济效益的影响

农田生态系统主要元素如N、P和K的平衡是养分管理和农业可持续发展的关键。本研究中, 由于籽粒和秸秆的大量养分产出使得不同处理下系统内N和K养分出现严重赤字, N和K肥的投入量不足是引起养分赤字的可能原因之一^[13], 但玉米田养鹅的养分亏缺要低于对照, 这主要是玉米田养鹅处理中养分的投入较多, 尤其是饲料和有机肥的额外投入一定程度补偿了种植系统产出的大量养分, 并使得玉米田养鹅处理中P素出现少量盈余。秸秆作为主要的养分产出, 探索合理的秸秆循环利用方式可能是解决不同处理下养分亏缺的有力途径。玉米田养鹅处理中, 后续产生的玉米秸秆可通过揉搓和发酵的处理方式来饲养肉鹅, 这样还可减少投入成本, 同时秸秆通过过腹还田方式, 可增加系统养分反馈量, 从而进一步提高生产—生态效益。对照是西藏典型的种植方式, 其秸秆主要作为牲畜的越冬饲料产出, 但牲畜的放养习惯使得粪肥难以回收还田, 种养系统契合度不高; 而化肥的投入作为当前唯一的培肥方式, 长期大量施用所带来的环境和食品安全等影响同样不容忽视; 秸秆中钾素大量富集, 并随秸秆产出, 长期的农业生产使得田间K素持续亏缺, 从而降低了西藏农业发展的可持续性。

就不同处理的经济效益而言, 玉米田养鹅处理不施用任何除草剂, 鹅以杂草和作物基部叶片为食, 在去除杂草的同时摄取生长发育所需的能量和养分, 最后以粪肥形式还田, 使系统具有良好内部

物质循环和养分反馈的特性。虽然由于前期杂草与作物的资源竞争, 以及后期对玉米基部叶片的采食最终影响了玉米的产量, 但损失的部分可由肉鹅的经济产出得以补偿并获得更高的经济效益。

4 结 论

玉米田养鹅处理下植株与籽粒中N、P和K养分含量以及养分收获指数、吸收效率和养分的利用效率均与对照无显著差异; 作物养分的大量产出导致各处理养分出现亏缺, 玉米田养鹅由于养分的投入和系统反馈养分较多, 养分亏缺量较对照少, 其中P还出现少量盈余; 从经济效益来看, 玉米田养鹅处理虽存玉米减产的问题, 但其损失的部分可由肉鹅的经济产出得以补偿并获得了更高的经济效益。总体而言, 玉米田养鹅对玉米籽粒养分吸收和利用未造成显著影响, 养分平衡现状较好, 经济效益较高, 适合在西藏大力发展。

参 考 文 献

- [1] Kreuger J. Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990–1996. *Science of the Total Environment*, 1998, 216 (3): 227–251
- [2] 陆欣, 谢英荷. 土壤肥科学. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 1–2
Lu X, Xie Y H. *Soil and fertilizer (In Chinese)*. Beijing: China Agricultural University Press, 2002: 1–2
- [3] Dalal R C, Strong W M, Weston E J, et al. Sustaining multiple production systems. 2. Soil fertility decline and restoration of cropping lands in sub-tropical Queensland. *Tropical Grasslands*, 1991, 25: 173–180
- [4] Wang X H. Sustainable development in Tibet requires control of agricultural nonpoint pollution. *Environmental Science Technology*, 2014, 48 (16): 8944–8945
- [5] 唐旭, 陈义, 吴春艳, 等. 大麦长期肥料效率和土壤养分平衡. *作物学报*, 2013, 39 (4): 665–672
Tang X, Chen Y, Wu C Y, et al. Fertilizer efficiency and soil apparent nutrient balance for barley under long-term fertilization (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39 (4): 665–672
- [6] Aulakh M S, Khera T S, Doran J W, et al. Managing crop residue with green manure, urea, and tillage in a rice-wheat rotation. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65 (3): 820–827

- [7] Six J, Ogle S M, Breidt F J, et al. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. *Global Change Biology*, 2004, 10 (2) : 155—160
- [8] 赵荣芳, 陈新平, 张福锁. 华北地区冬小麦-夏玉米轮作体系的氮素循环与平衡. *土壤学报*, 2009, 46 (4) : 684—696
Zhao R F, Chen X P, Zhang F S. Nitrogen cycling and balance in wheat-summer maize rotation system in northern China plain (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46 (4) : 684—696
- [9] Francis D D, Schepers J S, Vigil M F. Postanthesis nitrogen loss from corn. *Agronomy Journal*, 1993, 85 (3) : 659—663
- [10] 王俊华, 胡君利, 林先贵, 等. 长期平衡施肥对潮土微生物活性和玉米养分吸收的影响. *土壤学报*, 2011, 48 (4) : 766—772
Wang J H, Hu J L, Lin X G, et al. Effects of long-term balanced fertilization on microbial activity and nutrient uptake and maize in a fluvo-aquic soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48 (4) : 766—772
- [11] 李书田, 金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡. *中国农业科学*, 2011, 44 (20) : 4207—4229
Li S T, Jin J Y. Characteristics of nutrient input/output and nutrient balance in different regions of China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (20) : 4207—4229
- [12] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方6省农田养分平衡现状评价和动态变化研究. *中国农业科学*, 2000, 33 (2) : 63—67
Lu R K, Shi Z Y, Shi J P. Nutrient balance of agroecosystem in six provinces in southern China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33 (2) : 63—67
- [13] 张帆, 陈源泉, 高旺盛. “双季稻-鸭”共生生态系统稻季磷循环. *生态学杂志*, 2012, 31 (6) : 1383—1389
Zhang F, Chen Y Q, Gao W S. Phosphorus cycling in rice-duck mutual ecosystem in double cropping rice growth seasons (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31 (6) : 1383—1389
- [14] Paltridge N G, Grover S P P, Gouyi L, et al. Soils, crop nutrient status and nutrient dynamics on smallholder farms in central Tibet, China. *Plant and Soil*, 2011, 348 (1/2) : 219—229
- [15] 沙志鹏, 王军峰, 关法春. 西藏东南缘农牧复合系统—玉米田放牧鹅的生物多样性和经济效益分析. *草地学报*, 2014, 22 (1) : 213—216
Sha Z P, Wang J F, Guan F C. The Agri-pastoral compound ecosystem of Southeast Tibet-Analyses of biodiversity and economic benefits of raising geese in cornfields (In Chinese). *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 22 (1) : 213—216
- [16] 张宇阳, 王军峰, 沙志鹏, 等. “农牧一体化”下玉米田杂草多样性及玉米生长状况. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2014, 40 (6) : 638—646
Zhang Y Y, Wang J F, Sha Z P, et al. Weeds biodiversity and maize growth in agro-pastoral integration system (In Chinese). *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science)*, 2014, 40 (6) : 638—646
- [17] 张宇阳, 沙志鹏, 关法春, 等. 玉米田养鹅措施对杂草群落生态特征的影响. *生物多样性*, 2014, 22 (4) : 492—501
Zhang Y Y, Sha Z P, Guan F C, et al. Effect of raising geese in cornfield on ecological characteristics of weed community (In Chinese). *Biodiversity Science*, 2014, 22 (4) : 492—501
- [18] 沙志鹏, 关法春, 王军峰, 等. 玉米田养鹅生产模式的能值评估. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2013, 39 (6) : 655—662
Sha Z P, Guan F C, Wang J F, et al. Emergy evaluation and maize growth in the agro-pastoral integration system (In Chinese). *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Science)*, 2013, 39 (6) : 655—662
- [19] 关法春, 沙志鹏, 王军峰, 等. 不同养殖场地时空特征下的鹅生长发育状况. *草地学报*, 2013, 21 (6) : 1208—1213
Guan F C, Sha Z P, Wang J F, et al. Growth and development of goose under different spatiotemporal characteristics (In Chinese). *Acta Agrestia Sinica*, 2013, 21 (6) : 1208—1213
- [20] 关法春, 田飞鹏, 沙志鹏, 等. 不同生产方式下肉鹅养殖场的贡献及生产效果. *中国农业大学学报*, 2013, 18 (4) : 129—133
Guan F C, Tian F P, Sha Z P, et al. Contribution of goose feeding space and production effects on the different production modes (In Chinese). *Journal of China Agricultural University*, 2013, 18 (4) : 129—133
- [21] 邵伟. 大气沉降对西藏主要作物氮营养的影响. 西藏林芝: 西藏大学农牧学院, 2009
Shao W. Effect of atmosphere nitrogen deposition on the nitrogen nutrient of main crops in Tibet (In Chinese). Linzhi, Tibet: College of Agriculture and Animal Husbandry, Tibet University, 2009

- [22] Yu W T, Jiang Z S, Zhou H, et al. Effects of nutrient cycling on grain yields and potassium balance. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 84 (3) : 203—213
- [23] Phong L T, Stoorvogel J J, van Mensvoort M E F, et al. Modeling the soil nutrient balance of integrated agriculture aquaculture systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, 90 (1) : 33—49
- [24] Ma Q, Yu W T, Shen S M, et al. Effects of fertilization on nutrient budget and nitrogen use efficiency of farmland soil under different precipitations in Northeastern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2010, 88 (3) : 315—327
- [25] Wang X L, Feng A P, Wang Q, et al. Spatial variability of the nutrient balance and related NPSF risk analysis for agro-ecosystems in China in 2010. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2014, 193: 42—52
- [26] Liu J L, Zhan A, Chen H, et al. Response of nitrogen use efficiency and soil nitrate dynamics to soil mulching in dryland maize (*Zea mays* L.) fields. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2015, 101 (2) : 271—283
- [27] Fageria N K, Baligar V C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 2005, 88: 97—185
- [28] Bender R R, Haegerle J W, Ruffo M L, et al. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*, 2012, 105 (1) : 161—170
- [29] Tashi N, Liu Y, Partap T. Making Tibet food secure: Assessment of scenarios. Kathmandu: International Centre for Integrated Mountain Development, 2002
- [30] 胡昌浩, 潘子龙. 夏玉米同化产物积累与养分吸收分配规律的研究 II. 氮、磷、钾的吸收、分配与转移规律. *中国农业科学*, 1982, 15 (2) : 38—48
- Hu C H, Pan Z L. Study on the rules of assimilate accumulation and nutrient absorption and distribution in the summer maize plant II. Rules on the absorption, distribution and translocation of nitrogen, phosphorus and potassium (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 1982, 15 (2) : 38—48
- [31] Cassman K G, Dobermann A R, Walters D T. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*, 2002, 31 (2) : 132—140

Nutrient Absorption and Nutrient Balance in an Agro-pastoral Compound Production Pattern of “Raising Geese in Corn Fields” in Tibet

SHA Zhipeng¹ ZHANG Yuyang¹ WANG Chao¹ QUAN Hong^{1†} GUAN Fachun^{1, 2†}

(1 *Agriculture and Animal Husbandry College, Tibet University, Linzhi, Tibet, 860000, China*)

(2 *Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract Facing a rapidly growing population, Tibet has to improve its agricultural productivity so as to provide sufficient food. To improve agricultural production and enhance crops yields, farmers have increased the use of fertilizers. However, the Tibetan plateau environment is so sensitive and fragile that any increased usage of these chemicals may put the plateau environment at risk of agricultural non-point source pollution. How to harmonize economic benefits with ecological ones is a significant challenge to development of Tibetan agriculture. Nutrient absorption and nutrient balance of a farmland ecosystem is one of the key factors affect productivity and environmental quality of the system. Raising Geese in Corn Fields (hereinafter referred to as RGICF) is a compound production pattern based on the principle of “Agro-pastoral Integration”, a concept proposed in 2011. This conceptual farming method relies on the use of weeds and bottom leaves of the crops in the fields as feed sources to raise poultry with. To evaluate differences between the two systems of RGICF and conventional corn cultivation in nutrient absorption, nutrient balance, nutrient distribution in the plant, and nutrient input and output of the system, a field experiment was conducted at Village Zhangmai of Bayi, Tibetan Autonomous Region, in Southwest China 2013. Two treatments, RGICF and conventional corn cultivation (hereinafter referred to as CK), were laid out in the experimental field. Each treatment was

designed to have three blocks or plots, and each plot covered an area of 80 m². Logs were kept of RGICF and CK from May 2013 to May 2014 about nutrient inputs and outputs, while chemical analysis were conducted of samples of the corn for nutrient (N, P and K) concentration and distribution in stalks and grains, and samples of the soil, too, for nutrient budgeting. Results show that no significant differences were found between RGICF and CK in N, P and K concentration in corn grains and stalks. Correlation between nutrient adsorption and corn yield exhibited and order of P > K > N in RGICF and P > N > K. No significant differences were found either between RGICF and CK in nutrient harvest, adsorption efficiency and utilization efficiency of N, P and K. Nutrient budgeting of the systems revealed nutrient disbalance in the systems, particularly N and K deficits in the soil after harvest. Compared with RGICF, CK was 39.0% and 34.90% greater in N and K deficit. The differences were significant ($p < 0.05$). However, the deficit of P was relatively small in CK, while it turned into P surplus in RGICF, showing extremely significant difference ($p < 0.01$). In the aspect of economic benefit, though RGICF suffered certain loss (6.22%) in corn yield, the was compensated or even over-compensated by geese raising, making RGCIF much higher in economic benefit than CK of avoiding the application of herbicides, used in CK fields. In all, RGICF does not have much influence on nutrient adsorption and utilization, but improves somewhat soil nutrient balance and yields higher economic benefit. Therefore, it can be concluded that RGICF can be extrapolated as an important production pattern for sustainable agriculture in the future in Tibet.

Key words Nutrient absorption; Nutrient balance; Raising geese in corn field; Economic benefit

(责任编辑: 陈荣府)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Mechanism of Extracellular Electron Transfer among Microbe-Humic-Mineral in Soils: A Review WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu (290)
 Effects of Long-term Fertilization on Key Processes of Soil Nitrogen Cycling in Agricultural Soil: A Review WANG Jing, CHENG Yi, CAI Zucong, et al. (303)

Insights and Perspectives

- Soil-borne Pathogens Should not Be Ignored by Soil Science CAI Zucong, HUANG Xinqi (310)

Research Articles

- Element Migration in S₃ Profile of the Shaolingyuan Loess-Paleosol Sequence in Xi'an and Its Paleoclimatic Implication CHU Chunjie, ZHAO Jingbo (320)
 Estimation of Soil Salt Content over Partially Vegetated Areas Based on Blind Source Separation LIU Ya, PAN Xianzhang, SHI Rongjie, et al. (330)
 Construction of Calibration Set based on the Land Use Types in Visible and Near-Infrared (VIS-NIR) Model for Soil Organic Matter Estimation LIU Yanfang, LU Yannian, GUO Long, et al. (340)
 Prediction of Soil Organic Matter based on Multi-resolution Remote Sensing Data and Random Forest Algorithm WANG Yinyin, QI Yanbing, CHEN Yang, et al. (353)
 Characteristic Curves and Model Analysis of Soil Moisture in Collapse Mound Profiles in Southeast Hubei DENG Yusong, DING Shuwen, CAI Chongfa, et al. (363)
 Research on Sediment and Solute Transport on Red Soil Slope under Simultaneous Influence of Scouring Flow MA Meijing, WANG Junguang, GUO Zhonglu, et al. (373)
 Research on Soil Erosion Rate and Hydrodynamic Parameters of Landslide Accumulation Slope in Wenchuan Earthquake Area WANG Renxin, HE Binghui, LI Tianyang, et al. (386)
 Effects of Saline Ice Water Irrigation on Distribution of Moisture and Salt Content in Coastal Saline Soil ZHANG Yue, YANG Jingsong, YAO Rongjiang (399)
 Soil Temperature Regime in Guizhou Province Relative to Assessment Method LU Xiaohui, DONG Yubo, TU Chenglong (409)
 Characteristics of Variation of Soil Temperature in Shrub Meadow Area of Lhasa GONG Yuling, WANG Zhaofeng, ZHANG Yili, et al. (419)
 Soil Water Repellency of Sands and Clay as Affected by Particle Size YANG Song, WU Junhua, DONG Hongyan, et al. (426)
 Effect of AQDS Accelerating Anaerobic Dechlorination of DDT in Hydragric Acrisols LIU Cuiying, WANG Zhuang, XU Xianghua, et al. (436)
 Effect of Straw Returning via Deep Burial Coupled with Application of Fertilizer as Primer on Soil Nutrients and Winter Wheat Yield ZHAO Jinhua, ZHANG Congzhi, ZHANG Jiabao (448)
 Effects of Ozone Pollution on Different Active Organic Carbon Stocks in Wheat Farmland Soil KOU Taiji, CHENG Xianghan, ZHANG Dongliang, et al. (455)
 Soil Organic Nitrogen Components and Their Contributions to Mineralizable Nitrogen in Paddy Soil of the Black Soil Region CONG Yaohui, ZHANG Yuling, ZHANG Yulong, et al. (466)
 Effects of Soil and Water Conservation Measures on Soil Labile Organic Carbon and Soil Enzyme Activity in Gentle Slope Land of Red Soil HUANG Shangshu, CHENG Yanhong, ZHONG Yijun, et al. (475)
 Ecological Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Leaf-Litter-Soil System of *Picea Crassifolia* Forest in the Qilian Mountains ZHAO Weijun, LIU Xiande, JIN Ming, et al. (488)
 The Application of Biomarker Genes for DNA/RNA-Stable Isotope Probing of Active Methanotrophs Responsible for Aerobic Methane Oxidation in Six Paddy Soils ZHENG Yan, JIA Zhongjun (500)
 Screening of Phosphate-solubilizing Bacteria Adaptable to Corn and Effects of the Bacteria on the Growth of Corn MEI Xinlan, SHAN Anqi, JIANG Yi, et al. (508)
 Response of Soil Nematode Community to Cultivation in Upland Red Soil Relative to Cultivation History and Its Significance as Indicator WANG Mingwei, LIU Yudi, CHEN Xiaoyun, et al. (521)
 Nutrient Absorption and Nutrient Balance in an Agro-pastoral Compound Production Pattern of "Raising Geese in Corn Fields" in Tibet SHA Zhipeng, ZHANG Yuyang, WANG Chao, et al. (531)
 Effects of Continuous Cropping of Processing Tomato on Physical-chemical Properties of and Microbial Biomass in the Soil KANG Yalong, JING Feng, SUN Wenqing, et al. (542)

Research Notes

- Mechanism of CTMAB Modifying BS-12 Modified Bentonite YU Lu, MENG Zhaofu, LI Wenbin, et al. (550)
 Effects of Mechanical Soil Amelioration Method on Physical Properties of and Enzyme Activity in Planosol MENG Qingying, ZHANG Chunfeng, JIA Huibin, et al. (559)

Cover Picture: Microbial Extracellular Electron Transfer: Energy Transfer and Substance Transformation (by WU Yundang, LI Fangbai, LIU Tongxu)

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 卢 萍 檀满枝 陈荣府

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 53 卷 第 2 期 2016 年 3 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 53 No. 2 Mar., 2016

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Oversea distributed by China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一连续出版物号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

