中国生态农业学报 2018 年 4 月 第 26 卷 第 4 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Apr. 2018, 26(4): 567−573

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170632

李晓欣, 陈素英, Stephen O. Aluoch, Peter S. Mosongo, 曹建生, 胡春胜. 肯尼亚玉米生产现状与产量限制因子分析[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(4): 567−573

LI X X, CHEN S Y, ALUOCH S O, MOSONGO P S, CAO J S, HU C S. Maize production status and yield limiting factors of Kenya[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(4): 567−573

肯尼亚玉米生产现状与产量限制因子分析*

李晓欣[1,2], 陈素英[1,2], Stephen O. Aluoch[1,2], Peter S. Mosongo[1,2], 曹建生[1,2], 胡春胜[1,2]

(1. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心/中国科学院农业水资源重点实验室 石家庄 050022; 2. 中国科学院中–非联合研究中心 内罗毕 00020 肯尼亚)

摘 要: 玉米作为肯尼亚的主要粮食作物, 其种植和生产对于减少饥饿、保障国家粮食安全具有非常重要的意义。本文从玉米的种植、分布、多年(1961—2014 年)产量变化等方面对肯尼亚玉米的生产和现状进行了介绍, 结合当地的自然环境因素和农业生产管理水平, 分析了肯尼亚玉米生产的限制因素, 指出水、肥、种子质量是玉米产量提高的主要限制因子。通过对田间不同施肥处理玉米产量与水、肥投入的分析, 提出采用集水-排灌技术, 对玉米季降水进行调控和再分配; 增加化肥投入量, 尤其是增加磷肥施用, 保证玉米生长所需; 秸秆还田改善土壤结构等技术, 最终实现玉米增产的目标。为在肯尼亚推广不同水、肥管理和耕作技术, 开展玉米旱作高产种植提供理论支撑。

关键词: 肯尼亚; 雨养农业; 玉米生产; 农业生态分区; 限制因子

中图分类号: Q938.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2018)04-0567-07

Maize production status and yield limiting factors of Kenya*

LI Xiaoxin[1,2], CHEN Suying[1,2], Stephen O. ALUOCH[1,2], Peter S. MOSONGO[1,2], CAO Jiansheng[1,2], HU Chunsheng[1,2]

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences / Key Laboratory of Agricultural Water Resources, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China; 2. Sino-African Joint Research Center, Chinese Academy of Sciences, Nairobi 00020, Kenya)

Abstract: Maize as the main food crop in Kenya, is very important for reducing hunger and ensuring the country's food security. This paper introduced the present situation of maize production from cultivation, planting distribution and change of maize yields from 1961 to 2014. According to the natural planting environments and the local agricultural technique, the limiting factors of maize production were analyzed. Water limitation, fertilizer shortage and poor quality of maize seeds were the main factors limited the yield increasing of maize. Base on the analysis results of the relationship of maize yields with water and fertilizer inputs, this paper gave some advices for increasing maize yield in Kenya. First, the drainage and rain-harvesting technology cooperated with irrigation technique should be implemented to regulate and redistribute precipitation in maize growing season. The second was increasing fertilizer application amount, especially the use of phosphate fertilizer, to ensure the health growth of maize. The third was straw returning technology to improve soil structure. This study provided a reference for rain water utilization, fertilization and tillage techniques to get high yield in the rainfed maize planting area of Kenya.

Keywords: Kenya; Rainfed farming; Maize production; Agro-ecological zone; Limiting factor

* 中国科学院中-非联合研究中心项目(SAJC201603)资助
李晓欣, 主要研究方向为农田氮素循环及环境效应。E-mail: xiaoxin_li@sjziam.ac.cn
收稿日期: 2017-07-11 接受日期: 2017-12-07

* This study was funded by Sino-Africa Joint Research Project (SAJC201603).
Corresponding author, LI Xiaoxin, E-mail: xiaoxin_li@sjziam.ac.cn
Received Jul. 11, 2017; accepted Dec. 7, 2017

肯尼亚是全球受饥饿影响最严重的国家之一。根据国际粮食政策研究所(International Food Policy Research Institute)发布的2016全球饥饿指数(GHI)，全球有131个国家受饥饿困扰，其中约有60个国家的饥饿状况十分严峻，处于警戒水平以上，这些国家以非洲国家居多，肯尼亚在受饥饿困扰国家排名中居第50位[1]。玉米(*Zea mays*)作为肯尼亚种植面积最广的粮食作物，提供了肯尼亚80%以上人口的主食，人们每天摄入热量的65%由玉米提供[2]，因此玉米的生产对肯尼亚粮食安全具有重要意义[3]。随着人口数量的日益增长，提高玉米产量、保障粮食供给是肯尼亚农业面临的重要问题。本文通过对肯尼亚不同生态区玉米种植与生产的分析与调查，结合田间开展的试验，对肯尼亚的玉米生产现状和生产力水平进行分析，指出提高玉米产量的关键制约因素，并提出相应对策。

1 农业生产与农业生态分区

肯尼亚国土面积为582 646 km^2，大部分地区的作物种植和生长依靠雨养，根据降雨量分布，肯尼亚仅16%的国土面积年降雨量大于750 mm[4-5]，为中度适合作物生长区域，主要分布于西部的维多利亚湖区域、埃尔贡山国家公园至阿伯德尔公园-肯尼亚山周边区域。

玉米作为肯尼亚种植面积最广的作物，种植面积和产量受地形和降雨分区的影响很大，降雨有保障的地区玉米种植面积多，单位面积产量最高(表1)。

表 1 肯尼亚重要粮食作物的种植面积、产量与分布(2007)[6]

Table 1 Planting areas and yields of main crops planted in different areas of Kenya[6]

作物 Corp	高降雨区 High rainfall area		干旱区 Arid area		半干旱区 Semi-arid area		全国 National	
	种植面积 Planting area (10^3 hm^2)	产量 Yield ($t \cdot hm^{-2}$)	种植面积 Planting area (10^3 hm^2)	产量 Yield ($t \cdot hm^{-2}$)	种植面积 Planting area (10^3 hm^2)	产量 Yield ($t \cdot hm^{-2}$)	种植面积 Planting area (10^3 hm^2)	产量 Yield ($t \cdot hm^{-2}$)
玉米 Maize	1 000.9	2.30	47.7	0.57	579.8	1.03	1 628.5	1.79
小麦 Wheat	75.4	3.66	4.6	1.49	60.2	1.02	140.2	2.45
水稻 Rice	16.5	2.40	0	0	1.9	1.05	18.4	2.26
高粱 Sorghum	108.9	0.98	6.0	0.46	40.0	0.93	154.9	0.95
谷子 Millet	52.7	1.42	3.2	0.83	71.9	0.59	127.7	0.93

根据地形和降雨等气候条件[7]，肯尼亚玉米种植由东向西可分为 6 个农业生态分区：低海拔热带区(lowland tropical, LT)，中海拔干旱区(dry midaltitudes, DM)，中高海拔干旱区(dry transitional, DT)，高海拔热带区(highland tropical, HT)，中高海拔湿润区(moist transitional, MT)，中海拔湿润区(moist midaltitude, MM) (图 1)。不同生态分区降雨和气候的特点如表 2 所示。

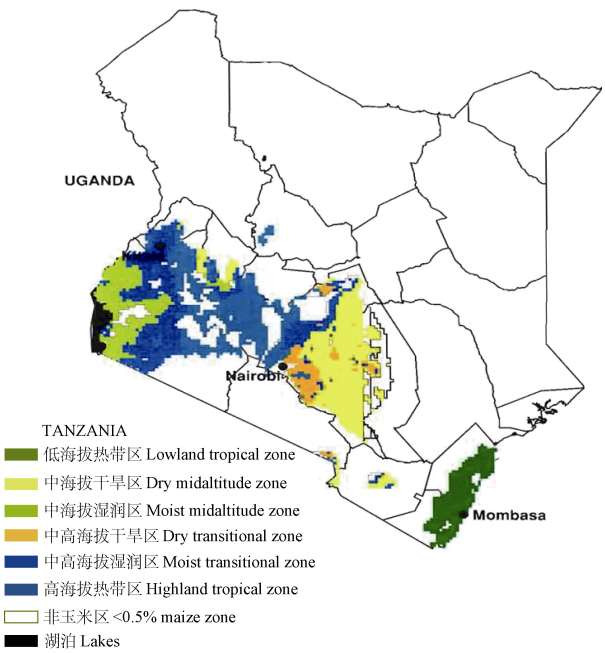

图 1 肯尼亚玉米种植农业生态分区[7]

Fig. 1 Major agro-ecological zones for maize growing in Kenya[7]

表 2　肯尼亚玉米农业生态区及特点

Table 2　Characteristics of different maize agro-ecological zones in Kenya

农业生态区 Agro-ecological zone	海拔 Elevation (m)	每季降雨量 Average total seasonal rainfall (mm)	最低气温 Mean daily minimum temperature (℃)	最高气温 Mean daily maximum temperature (℃)	成熟天数 Average days to maturity (d)	玉米积温 Thermal time (℃·d)
低海拔热带区 Lowland tropical zone	<800	<1 000	20.0	29.4	120	2 124
中海拔干旱区 Dry midaltitudes zone	700~1 300	<600	16.1	27.9	114	1 767
中高海拔干旱区 Dry transitional zone	1 100~1 800	<600	14.0	25.3	144	1 829
高海拔热带区 Highland tropical zone	>1 600	>400	10.0	23.0	213	2 066
中高海拔湿润区 Moist transitional zone	1 200~2 000	>500	13.4	23.3	181	2 063
中海拔湿润区 Moist midaltitude zone	1 100~1 500	>500	15.9	28.3	163	2 461

2　玉米生产力水平的变化

根据世界粮农组织的统计数据(Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division)[8], 肯尼亚玉米单位面积产量自1961 年至 2014 年经历了先增长后下降的变化(图 2a), 玉米单位面积产量在 20 世纪 80 年代中期到 90 年代初到达峰值, 后逐步下降。2014 年肯尼亚玉米单位面积产量为 1.66 $t \cdot hm^{-2}$, 比 1961 年增加 32.5%, 与世界平均水平的玉米增产 1.9 倍和中国玉米同期增产 4.1 倍相比, 肯尼亚玉米单位面积产量增长速度缓慢。

肯尼亚玉米种植面积由 1961 年的 7.5×10^5 hm^2 增加到 2014 年的 2.1×10^6 hm^2, 种植面积为原来的 2.82 倍; 同期玉米总产量由 9.4×10^5 t 增至 3.5×10^6 t, 总产量增加了 2.73 倍; 单位面积产量仅由原来的 1.25 $t\cdot hm^{-2}$ 增加到 1.66 $t\cdot hm^{-2}$, 可见 1961 年至 2014 年间肯尼亚玉米总产量增加的主要原因是开垦土地, 扩大种植面积, 种植面积增加对玉米总产量增加的贡献率为 66.5%, 单位面积产量提升其对玉米总产量的贡献率仅为 11.9%, 两者共同作用对玉米总产量的贡献率为 21.6%。

肯尼亚人口数量由 1961 年的 836 万增加到 2014 年的 4 602 万(图 2b), 人口数量增加了 4.3 倍, 人口增长速率高于玉米增产速率, 肯尼亚的人均玉米产量由原来的 112.4 kg 降至 76.3 kg, 提高玉米单位面积产量尤其是占国土面积 83%以上的干旱-半干旱地区(ASALs)的玉米产量是减少饥饿, 减缓玉米供给和需求之间差距, 保障粮食安全的关键。

3　玉米生产限制因子

3.1　自然资源因素

3.1.1　降雨无保障, 干旱和洪水发生频率增加

降雨是决定雨养农业作物生长的主要因素[9-11]。肯尼亚玉米生产对降雨的依赖不仅体现在玉米耕种的空间分布上, 年际间的降雨变化也影响了玉米产量的变化, 干旱和洪水造成的玉米减产、绝收是肯尼亚玉米总产量年际间波动的主要原因(图 2b)。周期性的旱灾对粮食产量的影响很大, 如 1970 年、1977 年、1980 年、1987 年、1992 年、1996 年、2000 年、2004 年、2007 年、2008 年、2009 年、2011 年肯尼亚均遭受到不同程度的干旱, 造成当年或第 2 年的产量急剧下降; 1997 年和 2002 年的厄尔尼诺现象造成的洪涝灾害造成当年的玉米减产 15%以上。2016 年 10—12 月雨季, 低于正常年份的降雨造成肯尼亚 23 个郡旱情严重, 约 270 万人面临严重的粮食危机, 引起全国性的粮食严重短缺。随着全球气候变暖造成的洪涝灾害和区域干旱加剧, 肯尼亚粮食安全的危机益发严重[12-14]。

3.1.2　土壤肥力下降, 土壤退化严重

肯尼亚的土壤类型主要包括火山灰质土(volcanic soils)、黑黏土(black cotton soils)、砂土(sandy soils)、冲积淤沙土(alluvial soils)和壤土(loamy soils), 除砂土外其他土壤均适于作物生长。肯尼亚的土壤多为酸性土壤, 土壤本底磷含量低[15], 随着种植年限的增加, 土壤肥力逐年下降。据 IPCC 评估的全球土壤退化数据显示, 非洲 65%的农业用地、31%的永久牧场、19%的森林和林地出现土壤退化现象, 土壤退化的主要原因包括过度放牧(49%)、农业管理不善(28%)、森林砍伐(14%)以及家用和工业用植被的过度开发(13%)[16-19]。

3.1.3　影响玉米产量的虫害问题

虫害是肯尼亚玉米生产的主要制约因素之一, 玉米在生长和贮藏过程中均会遭受虫害的袭击。玉米的虫害主要包括玉米象、麦蛾、大谷蠹、面象虫、斑螟等[20-23]。钻蛀虫(天牛)是世界范围传播最为广泛, 造成损失最为严重的虫害。IPMA 的报告指出: 肯尼

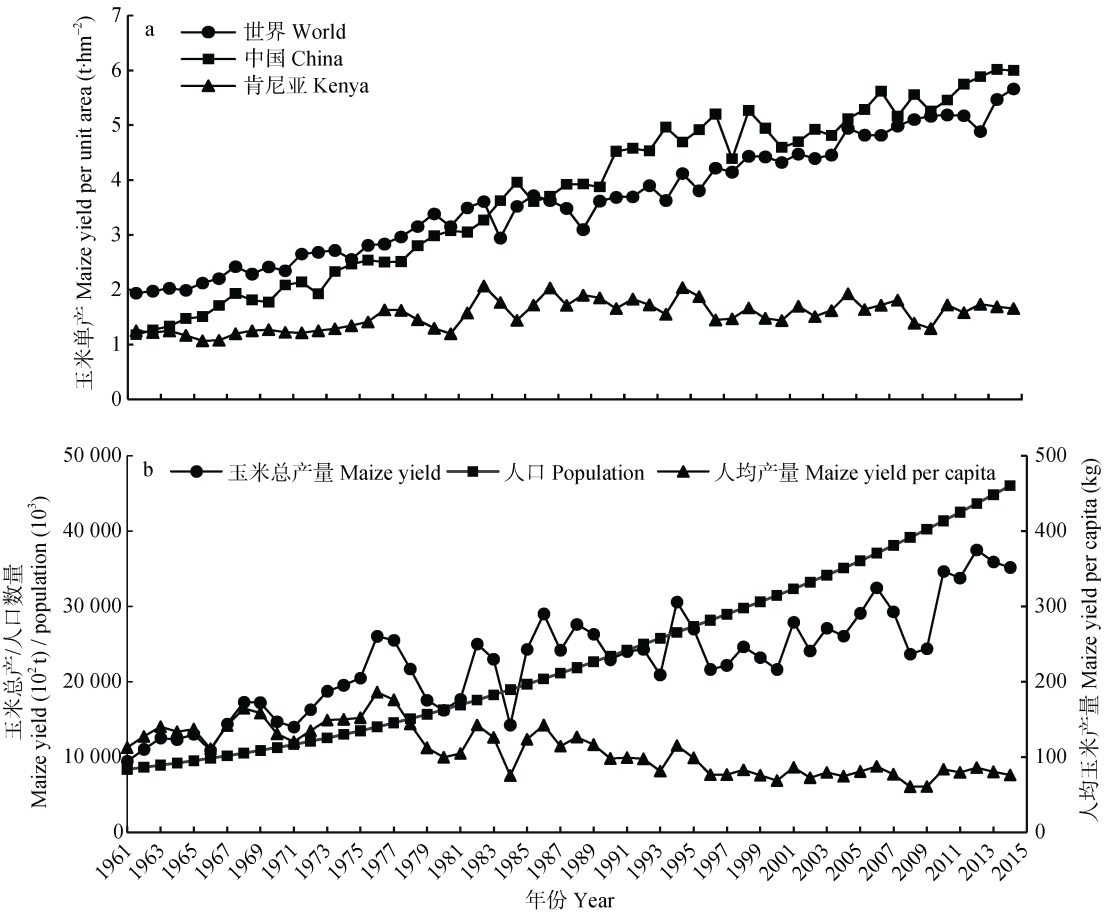

图 2 1961—2014 年肯尼亚玉米单产(a)、人口、玉米总产量和人均产量(b)的变化

Fig. 2 Changes of maize yield per unit area (a) and population, maize yields and yield per capita (b) in Kenya from 1961 to 2014

亚每年有约15%的玉米减产是由于钻蛀虫(天牛)造成，经济损失约为7 600万美元。肯尼亚的钻蛀虫主要是斑螟和非洲螟虫，肯尼亚东部低海拔、湿润地区斑螟破坏性强，而非洲螟虫作为当地螟虫在肯尼亚西部高海拔地区危害严重。

3.2 生产管理因素

3.2.1 种子质量差，化肥投入少，机械化水平低

肯尼亚玉米产量的 75%~80%由小农户生产种植。受降雨变化的影响，玉米产量难以在每一季都得到保障，农民尤其是东部低海拔地区的小农户不愿意增加投入购买玉米种子，他们通常筛选以往收获的玉米种子连续播种，或者与当地其他农民交换种子播种。肯尼亚从 1988 年开始推广种植杂交玉米，尽管种植杂交玉米的农民数量越来越多，但是当地杂交玉米品种种植年限长、更新换代慢使得杂交玉米的产量优势在小农户种植区域没有得到体现，进而未能实现大面积的推广。

据联合国粮农组织的调查和统计数据(FAOSTAT, 2017)[8]，肯尼亚2002—2014年氮肥年平均投入水平为 43 kg(N)·hm^{-2}，磷肥(P_2O_5)为48 kg·hm^{-2}，钾肥(K_2O)为 8 kg·hm^{-2}，化肥投入量难以满足作物生长所需；此外约有30%以上的小农户由于经济负担不起而不使用化肥，化肥总体投入水平低是玉米产量难以提高的重要原因。

耕种机械化水平低。肯尼亚平均每 100 km^2 拖拉机持有量为 13 台，远低于全球每 100 km^2 拖拉机持有量 200 台的平均水平，而且肯尼亚的农业机械多集中于大面积种植农场，小农户多采用牲畜拉犁翻耕、人工点播的耕种方式。

3.2.2 技术推广体系不健全，缺乏向农民传授科学知识的科研服务专家

肯尼亚农业技术推广体系不健全，玉米种植户，尤其是小农户缺乏科学的化肥施用经验和田间管理知识，对合理施肥增产的认识不足，同时又缺玉米高产户的示范作用，导致玉米种植户对如何增产和丰产没有明确概念，加上许多农业种植区域交通设施极差，玉米生产所需投入品的严重短缺，加大了技术推广的难度。肯尼亚农户新技术、新品种采用率不高，主要的原因是良种和化肥价格相对较高、农户承担不起，同时与之对应的培训与推广人员缺

乏、信息传递速度慢。

4　肯尼亚玉米增产潜力的思考

4.1　调蓄农田的降雨分配, 为玉米生长所用

肯尼亚玉米的种植以旱作为主, 作物的生长主要依赖于两个雨季: 每年 4 月到 8 月的长雨季(long rain season)和 10 月至翌年 1 月的短雨季(short rain season)。地区不同, 降雨量分布差异大, 肯尼亚西部维多利亚湖地区多年平均降水可高达 1 600~2 000 mm, 北部干旱区多年平均降雨低于 300 mm; 在肯尼亚西部和中部降水较多地区, 玉米一般种植两季; 而东部半干旱区仅在降水较多的短雨季种植 1 季玉米。

降雨量年季间变化大, 以 JKUAT 的田间试验为例, 2014—2016 年共种植玉米 5 季, 播种时间分别为 2014 年 4 月、2014 年 11 月、2015 年 4 月、2015 年 10 月和 2016 年 4 月, 各季的降雨量分别为 181 mm、127 mm、221 mm、478 mm 和 335 mm, 其中 80%以上的降雨发生在玉米抽雄期前。旱作种植的 5 季玉米中仅收获 3 季, 均为 4 月份长雨季来临时播种的玉米; 2014 年 11 月短雨季播种的玉米由于总降水量低导致玉米后期缺水旱死, 而 2015 年 10 月播种的玉米, 则由于苗期降雨过多造成的内涝导致玉米停止生长, 当季绝产。

由此可见, 没有排灌设施的粗放型管理农田在降雨量过低和过高时(图 3), 经常会由于干旱和内涝造成玉米减产和绝产。因此在降雨集中, 土壤结构不良, 透水、保水能力差的地区, 可以采用集水-蓄水调控技术, 建立地表径流排灌沟和蓄水池, 收集作物苗期降雨产生的径流, 汇集至蓄水池; 在作物生育后期, 降水少, 土壤水分亏缺时, 将蓄集的雨水分批回灌于农田, 以满足作物生长所需。应用集水-排灌技术对生长季降水进行调控和再分配, 保障每季玉米的正常生长对于肯尼亚玉米总产量的提升具有重大贡献。

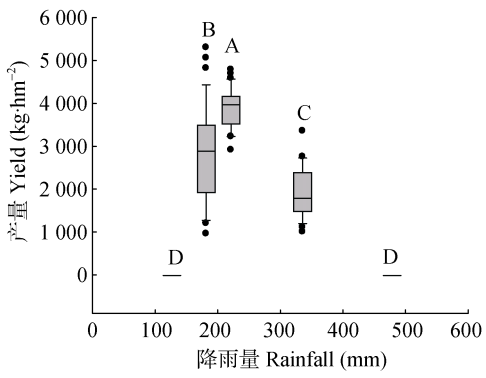

图 3　肯尼亚玉米生长季降雨量与产量的关系(2014—2016 年)

Fig. 3　Relationship of maize yields with rainfall in Kenya (2014–2016)

不同大写字母表示 0.01 水平差异显著。Different capital letters show significantly different at 0.01 level.

4.2　增加肥料投入, 氮、磷肥配施提高玉米产量

在分析统计数据和主要玉米种植区农户调研数据(2016 年)的基础上, 结合 2014—2016 年在肯尼亚乔莫·肯雅塔农业技术大学(JKUAT)校园农场开展的不同肥料投入对玉米产量影响的试验，给出提高肯尼亚旱作玉米产量的建议和措施。试验地点在乔莫·肯雅塔农业技术大学校园农场, 试验地土壤为黑黏土(黏粒含量为 62.9%, 粉粒含量为 13.6%, 砂粒含量为 23.5%), 土壤有机质含量 31.0 g·kg^{-1}, 全氮含量 1.55 g·kg^{-1}, 有效磷含量 1.37 mg·kg^{-1}, 有效钾含量 394 mg·kg^{-1}。试验设置 5 个氮肥投入水平, 分别为: N0(不施氮肥)、N50(播前施磷酸二铵 N 50 kg·hm^{-2})、N100(播前施磷酸二铵 N 50 kg·hm^{-2}+大喇叭口追尿素 N 50 kg·hm^{-2})、N150(播前施磷酸二铵 N 100 kg·hm^{-2}+大喇叭口追尿素 N 50 kg·hm^{-2})、N100+M(播前施磷酸二铵 N 50 kg·hm^{-2}, 有机肥 2 500 kg·hm^{-2}+大喇叭口追尿素 N 50 kg·hm^{-2})。有机肥全 N 含量为 3.06%, 全 P 含量为 0.34%。

根据统计和调查数据, 肯尼亚小农户的肥料投入量一般为 8~40 kg(N)·hm^{-2}, 低于玉米生长所需, 肥料的增产潜力没有充分发挥。根据 JKUAT 田间试验, 增加氮肥投入提高了玉米的产量。如图 4 所示, 不施肥处理 3 季玉米平均产量为 2 161 kg(N)·hm^{-2}, 施氮量为 50 kg(N)·hm^{-2}、100 kg(N)·hm^{-2}、150 kg(N)·hm^{-2} 和 175 kg(N)·hm^{-2} 处理的玉米的平均产量分别为 2 995 kg·hm^{-2}、3 320 kg·hm^{-2}、3 605 kg·hm^{-2} 和 3 647 kg·hm^{-2}, 随着施氮量的增加, 肥料的增产效果逐渐降低。

根据田间试验结果(表 3), 玉米产量与氮肥、磷肥投入量均呈显著正相关。增加磷肥投入显著提高玉米产量, 主要是由于肯尼亚土壤 pH 介于 5~6, 土壤有效磷含量很低, 土壤缺磷。肯尼亚农民一般施用磷酸二铵和其他复合肥以补充土壤磷的亏缺, 由于施肥总量低, 肥料中的磷含量难以满足作物生长所需, 玉米苗期叶片常出现缺磷表征, 在氮肥投入的基础上, 增加磷肥施用量对提高玉米产量具有不可忽视的作用。

4.3　改善土壤结构, 提高土壤持水、保肥能力

肯尼亚土壤类型多样, 分布于肯尼亚中部地区

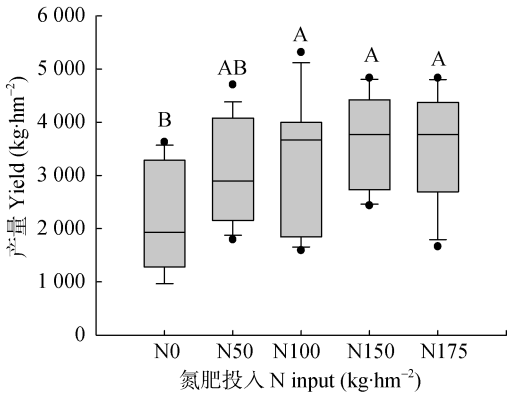

图 4 肯尼亚玉米产量与氮肥投入量的关系 (2014—2016 年)

Fig. 4 Relationship between maize yields and N input in Kenya (2014–2016)

N0: 不施氮肥; N50: 播前施磷酸二铵 N 50 kg·hm^{-2}; N100: 播前施磷酸二铵 N 50 kg·hm^{-2}+大喇叭口追尿素 N 50 kg·hm^{-2}; N150: 播前施磷酸二铵 N 100 kg·hm^{-2}+大喇叭口追尿素 N 50 kg·hm^{-2}; N100+M (N175): 播前施磷酸二铵 N 50 kg·hm^{-2}, 有机肥 2 500 kg·hm^{-2}+大喇叭口追尿素 N 50 kg·hm^{-2}。不同大写字母表示 0.01 水平差异显著。N0: no N application; N50: applying 50 kg(N)·hm^{-2} diammonium phosphate before sowing; N100: applying 50 kg(N)·hm^{-2} diammonium phosphate before sowing and topdressing 50 kg(N)·hm^{-2} urea at flare opening stage; N150: applying 100 kg(N)·hm^{-2} diammonium phosphate before sowing and topdressing 50 kg(N)·hm^{-2} urea at flare opening stage; N100+M (N175): applying 50 kg(N)·hm^{-2} diammonium phosphate and 2 500 kg·hm^{-2} organic fertilizer before sowing and topdressing 50 kg(N)·hm^{-2} urea at flare opening stage. Different capital letters show significantly different at 0.01 level.

表 3 肯尼亚氮、磷肥投入与玉米产量相关分析

Table 3 Correlation analysis of maize yields and N, P inputs in Kenya

	氮肥投入 N input	磷肥投入 P input	产量 Yield
氮肥投入 N input	1.000		
磷肥投入 P input	0.760**	1.000	
产量 Yield	0.336**	0.368**	1.000

** 0.01 水平显著相关。** shows significant correlation at 0.01 level.

的黑黏土(又称黏土)黏粒含量高，排水、透水气性差，降雨时易涝，干旱时易干裂，土壤持水能力强，但能被作物吸收的水却低于壤土，玉米生长过程中易受到干旱、缺水影响而减产；而分布于肯尼亚北部和东北部的干旱-半干旱地区、沿海及河谷的砂性土壤，土壤盐分含量高，养分含量低，持水能力很差，极易受到风力和降雨的侵蚀，在以上土壤类型区分别实施秸秆粉碎还田技术和地表秸秆覆盖技术，配合相应的耕作措施(旋耕、翻耕)，可以增加黏土土壤孔隙度，提高土壤持水-供水能力，起到保墒、提高作物水分利用效率的作用；砂性土壤实施秸秆覆盖和免耕技术，能有效减少地表蒸发，提高土壤持水、保肥的能力。通过耕作和秸秆还田措施改善土壤结构，维持地力，对保障玉米的生长和提高产量具有长远意义。

提高肯尼亚玉米产量，解决其粮食安全问题，需要结合不同地区实际，选用适宜的玉米品种，采用适合当地的水、肥管理和耕作措施，并给予推广，最终达到增产的目标。

参考文献 References

[1] International Food Policy Research Institute (IFPRI). 2016 Global Hunger Index Data, 2016

[2] FAO. “Climate-Smart” Agriculture: Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation[M]. Rome, Italy: FAO, 2010

[3] WEKESA E, MWANGI W M, VERKUIJL H, et al. Adoption of Maize Production Technologies in the Coastal Lowlands of Kenya[M]. Mexico: CIMMYT, 2003

[4] BLANK H G, MUTERO C M, MURRAY-RUST H. The Changing Face of Irrigation in Kenya: Opportunities for Anticipating Changes in Eastern and Southern Africa[M]. Colombo: IWMI, 2002: 35–54

[5] 曹建生, 董文旭, 李晓欣, 等. 肯尼亚雨水集流利用现状及思考[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(7): 987–994
CAO J S, DONG W X, LI X X, et al. Utilization state and thought on rainwater harvesting in Kenya[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(7): 987–994

[6] FAOSTAT 2008. “FAO Statistics, Food and Agriculture Organization of the United Nations”. Rome, 2012

[7] NJOROGE K, ARIAS R, KARANJA D D, et al. KARI/CIMMYT Maize Database Project — A Standardized Format for Organizing on-Farm and Experimental Maize Research Data in Kenya[M]. Nairobi: CIMMYT, 1992

[8] FAOSTAT 2014. “FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations”. Rome, 2017

[9] COE R, STERN R D. Assessing and addressing climate-induced risk in Sub-Saharan rainfed agriculture: Lessons learned[J]. Experimental Agriculture, 2011, 47(2): 395–410

[10] HARRIS D, ORR A. Is rainfed agriculture really a pathway from poverty?[J]. Agricultural Systems, 2014, 123: 84–96

[11] MORTON J F. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(50): 19680–19685

[12] BEREUTER D, GLICKMAN G, NELSON G C. Advancing Global Food Security in the Face of A Changing Climate[M]. Chicago: The Chicago Council on Global Affairs, 2014

[13] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation[M]//FIELD C B, BARROS V, STOCKER T F, et al. A Special Report of Working Groups Ⅰ and Ⅱ of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, NY, USA: Cambridge University Press, 2012

[14] AGRA. Africa Agriculture Status Report 2014[R]. Nairobi,

Kenya: AGRA, 2014

[15] PA Sanchez. Fertility and hunger in Africa[J]. Science, 2002, 295: 2019–2020

[16] FLEITMANN D, DUNBAR R B, MCCULLOCH M, et al. East African soil erosion recorded in a 300 year old coral colony from Kenya[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(4), doi: 10.1029/2006GL028525

[17] GACHENE C K K, MBUVI J P, JARVIS N J, et al. Soil erosion effects on soil properties in a highland area of Central Kenya[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(2): 559–564

[18] LAL R. Soil erosion and land degradation: The global risks[M]//LAL R, STEWART B A. Advances in Soil Science: Soil Degradation. New York: Springer, 1990: 129–172

[19] ONGWENYI G S, KITHIIA S M, DENGA F O. An overview of the soil erosion and sedimentation problems in Kenya[D]. Nairobi Kenya: University of Nairobi, 1993

[20] ONG'AMO G O, LE RÜ B P, DUPAS S, et al. Distribution, pest status and agro-climatic preferences of lepidopteran stem borers of maize in Kenya[J]. Annales de La Société Entomologique de France, 2006, 42(2): 171–177

[21] DE GROOTE H. Maize yield losses from stemborers in Kenya[J]. International Journal of Tropical Insect Science, 2002, 22(2): 89–96

[22] ZHOU G F, OVERHOLT W A, MOCHIAH M B. Changes in the distribution of lepidopteran maize stemborers in Kenya from 1950s to 1990s[J]. International Journal of Tropical Insect Science, 2001, 21(4): 395–402

[23] MUGO S, DE GROOTE H, SONGA J, et al. Advances in developing insect resistant maize varieties for Kenya within the insect resistant maize for Africa (IRMA) project[C]//Proceedings of the 7th Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference. Nairobi, Kenya: CIMMYT, 2001: 31–37