



# 内蒙古东南部地区玉米大豆轮作效应研究

丁素荣, 周学超, 刘迎春, 魏云山, 李 峰, 王燕春, 张晓荣

(赤峰市农牧科学研究院, 内蒙古 赤峰 024031)

**摘 要:**为了解决内蒙古东南部地区玉米长期连作带来的土壤生态环境问题,依据 8 年田间定位试验研究,分析不同轮作体系对大豆和玉米产量及经济效益的影响。本研究设置了 3 个作物种植模式,分别为玉米连作(MC)、玉米-大豆轮作(M-S)、玉米-玉米-大豆轮作(M-M-S),于秋季测定大豆和玉米的产量及产量性状,并比较分析不同模式产值效益。结果表明:与 MC 相比,M-M-S 和 M-S 玉米产量平均增加了 8.61% 和 15.08%,轮作玉米的穗长、穗粗、百粒重均高于 MC。不同轮作模式间大豆产量差异不显著,与 M-S 相比,M-M-S 有增加大豆产量、株高、单株荚数及百粒重的趋势,产量平均增加了 13.06%。在旱涝年份,轮作对产量影响效果大于常年。不同模式的年均产值和成本表现为 MC > M-M-S > M-S, M-M-S 与 MC 效益持平且高于 M-S,产投比为 M-M-S > MC > M-S。因此,在研究区域内 M-M-S 模式较 M-S 模式具有更好的产量和经济生态效益表现,更加适于在内蒙古东南部推广。

**关键词:**玉米大豆轮作;大豆;玉米;产量;经济效益;内蒙古东南部

## Study on the Effect of Maize and Soybean Rotation in Southeastern Inner Mongolia

DING Su-rong, ZHOU Xue-chao, LIU Ying-chun, WEI Yun-shan, LI Feng, WANG Yan-chun, ZHANG Xiao-rong

(Chifeng Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Chifeng 024031, China)

**Abstract:** In order to solve the soil ecological environment problems caused by the long-term continuous cropping of maize in the southeastern part of Inner Mongolia, based on the 8-year field experiment research, the impact of different crop rotation systems on the yield and economic benefits of soybean and maize was analyzed. In this study, three crop planting models were set up, namely continuous maize cropping (MC), maize-soybean rotation (M-S) and maize-maize-soybean rotation (M-M-S). The yield and yield traits of soybean and maize were measured in autumn, and the output value benefits of different models were compared and analyzed. The results of the study showed that, compared with MC, the maize yield of M-M-S and M-S increased by 8.61% and 15.08% on average respectively, and the ear length, ear diameter and 100-seed weight of rotation maize were higher than MC. There was no significant difference in soybean yield among different rotation patterns. Compared with M-S, M-M-S had a tendency to increase soybean yield, plant height, pods per plant and 100-seed weight, and the yield increased by 13.06% on average. In drought and flood years, the effect of crop rotation on yield was greater than that of normal years. The average annual output value and cost of different models were MC > M-M-S > M-S. The benefits of M-M-S and MC were the same and higher than M-S, and the production-to-investment ratio was M-M-S > MC > M-S. Therefore, the M-M-S model in the study area has better yield and economic and ecological performance than the M-S model, and is more suitable for promotion in southeastern Inner Mongolia.

**Keywords:** Maize and soybean rotation; Soybean; Maize; Yield; Economic benefit; Southeastern Inner Mongolia

随着中国社会经济的快速发展,玉米市场需求不断增加,到 2015 年玉米发展成为我国种植面积第一的农作物<sup>[1]</sup>,受比较效益影响玉米面积快速增长,连作现象严重。由于玉米生产过程中大量施用化肥和长效除草剂,导致土壤生态环境恶化,土壤板结地力下降,以致作物严重减产。内蒙古自治区是中国重要的玉米主产省区之一,年种植面积  $3.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$  左右,约占全国玉米生产面积的 1/10,面临着资源环境和可持续发展压力。大量研究表明粮豆轮作是增加作物产量的一项重要农业技术

措施<sup>[2-4]</sup>,但由于不同地区农业气候环境条件的差异,可能影响粮豆轮作体系生态功效的发挥<sup>[5]</sup>,因此在不同的生态区域对大豆在粮食主产作物生产体系中的作用仍需准确评估<sup>[6-7]</sup>。通过分析不同轮作制度的轮作效应并评价产量和经济效益可以筛选出有利于资源利用提高、经济效益良好的轮作方式<sup>[8-9]</sup>。在一定环境条件下,合理的轮作可以提高根系活力,促进作物对水分和土壤养分的吸收,促进作物生长发育和产量的提高<sup>[10-12]</sup>。内蒙古自治区是我国东北玉米和大豆商品粮主要基地,种植为



一年一季,内蒙古东南部地区又是农牧交错区,农牧结合将在生态保护型农业及循环高效农业中发挥重要作用,未来资源节约环境友好型技术将倍受青睐<sup>[13]</sup>。豆科作物与禾本科作物轮作,可减少农业生产对化学氮肥与农药的依赖、保护农田生物多样性、提高资源利用效率,是可持续农业的重要种植技术<sup>[14]</sup>。

目前关于内蒙古东南部地区玉米大豆轮作效应的研究鲜有报道。本研究设立种1季玉米种1季大豆的2年轮作模式、种2季玉米种1季大豆的3年轮作模式,和玉米连作模式进行长期定位对比试验,分析轮作效应,以期提出适合本地区的玉米大豆均衡增产增效轮作模式,为农业绿色可持续发展提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于2012年在内蒙古自治区赤峰市农牧科学研究院试验基地(42°09'30"N,118°43'15"E)进行,海拔700 m。该区域属于干旱半干旱地区,年均降雨量为381 mm,年蒸发量1 600~2 500 mm,有效活动积温3 100 ℃,无霜期120~145 d。土壤类型为砂壤土,肥力偏低。试验开始前测定0~20 cm土层土壤有机质含量11.3 g·kg<sup>-1</sup>,全氮含量0.45 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮含量49.5 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷含量4.3 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量85.0 mg·kg<sup>-1</sup>,pH8.18。大田作物为一年种植一季,试验地前茬为玉米。

1.2 试验设计

本研究为长期定位试验,采用大区对比设计,每个试验区面积为0.5 hm<sup>2</sup>(长200 m,宽25 m)。试验设置3个种植模式,分别为:(1)玉米-大豆轮作(M-S;玉米大豆隔年种植,轮作周期为2年);(2)玉米-玉米-大豆轮作(M-M-S;种2年玉米种1年大豆,轮作周期为3年);(3)玉米连作(MC)。供试大豆品种为赤豆三号,保苗密度18万株·hm<sup>-2</sup>;玉米品种2014-2017年为省审品种赤单218,2018-2019年品种更新选择相同熟期的国审品种YF3240,保苗密度均为6.75万株·hm<sup>-2</sup>。肥料采用缓控释尿素(含N 37%、含S 10%)、磷酸二铵(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%、含N 18%)和硫酸钾(含K<sub>2</sub>O 51%)3种肥料掺混。每年施纯N:玉米200 kg·hm<sup>-2</sup>、大豆70 kg·hm<sup>-2</sup>,施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O:玉米和大豆分别为70和60 kg·hm<sup>-2</sup>。种植采用全覆膜、膜下滴灌、施肥、化学封闭除草一体式播种机进行播种,宽窄行种植,

选用生产上常用的40~60 cm带型。作物生长过程中遇干旱时滴灌1~2次。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 降水量 根据内蒙古自治区赤峰市松山区自动观测气象站统计数据。

1.3.2 产量及产量构成因素 收获前,在每个试验区内按对角线进行5点小区取样。大豆:每个小区2 m<sup>2</sup>,在每个小区内连续取10株样本测量株高、单株荚数、单株粒数、百粒重等性状;玉米:每个小区5 m<sup>2</sup>,在每个小区内随机取10穗,测量穗长、穗粗、百粒重等性状。产量:各小区实收,并将测产样株脱粒一起计算各小区产量。用水分测定仪(LDS IH,浙江托普仪器有限公司)测定籽粒含水量,玉米按国家标准含水量14.0%折算产量,大豆按国家标准含水量13%折算产量。计算公式为:产量=实测值×(1-含水率)/(1-国标含水率)。

1.3.3 效益计算 计算公式为:效益=产值-生产成本,式中,产值即作物籽粒销售后的收益,生产成本包括种子、化肥、农药、地膜、滴灌管带、灌溉用水电费、耕种到收获机械费用和田间管理投入等。

M-S模式产量=(M-S模式玉米产量+M-S模式大豆产量)/2;M-M-S模式产量=(M-M-S模式迎茬玉米产量+M-M-S模式重茬1年玉米产量+M-M-S模式大豆产量)/3。

各模式产值、成本及效益计算方法同上。

1.4 数据分析

采用Excel 2016对小区数据进行整理,采用SPSS 19.0软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同轮作模式对大豆和玉米产量及产量构成因素的影响

2.1.1 对大豆产量及产量构成因素的影响 由表1可知,与M-S处理相比,M-M-S处理大豆产量平均提高了13.06%,其中M-M-S和M-S处理大豆产量差异在2016年达到了显著水平(P<0.05)。

不同轮作模式对大豆产量构成因素的影响年际间变异较大。除2017和2018年外,大豆株高均表现为M-M-S>M-S;除2014和2018年外,大豆单株荚数和单株粒数均表现为M-M-S>M-S;除2015和2018年外,大豆百粒重均表现为M-M-S>M-S。株高、单株荚数、单株粒数和百粒重年均值均表现为M-M-S>M-S。

表 1 轮作对大豆产量及产量构成因素的影响

Table 1 The impact of crop rotation on soybean yield and yield compositions

指标 Indicator	处理 Treatment	2014	2015	2016	2017	2018	2019	均值 Average	增加率 Yield increased rate/%
株高	M-M-S	110.18 a	106.91 a	107.64 a	95.50 a	81.80 a	106.10 a	101.36	2.06
Plant height/cm	M-S	104.76 a	102.90 a	102.09 b	99.80 a	86.40 a	99.90 a	99.31	—
单株荚数	M-M-S	66.50 a	46.16 a	72.12 a	45.60 a	48.60 a	42.50 a	53.58	9.37
Pods number per plant	M-S	72.60 a	36.56 a	56.30b	40.60 a	52.20 a	35.70 a	48.99	—
单株粒数	M-M-S	113.90 a	89.08 a	150.28 a	87.60 a	101.50 a	74.20 a	102.76	6.56
Seeds weight per plant	M-S	129.50 a	70.20 a	117.45 b	78.00 a	111.60 a	71.80 a	96.43	—
百粒重	M-M-S	21.74 a	22.53 a	23.83 a	23.39 a	20.60 b	21.60 a	22.28	1.37
100-seed weight /g	M-S	21.56 a	23.02 a	21.82 b	22.18 b	21.90 a	21.39 a	21.98	—
产量	M-M-S	4440.22 a	2983.50 a	3700.53 a	2929.50 a	3331.50 a	2707.79 a	3600.44	13.06
Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )	M-S	3911.45 a	2826.90 a	3343.85 b	2511.15 a	3329.40 a	2677.93 a	3184.55	—

不同小写字母代表差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Different lowercase indicate significant difference( $P < 0.05$ ), the same below.

2.1.2 对玉米产量及产量构成因素的影响 由表2可知,除2017年外,其他试验年份M-S和M-M-S处理的玉米产量均高于MC处理,平均增产15.08%和8.61%;2015和2016年,M-M-S、M-S与MC玉米产量差异达到了显著水平( $P < 0.05$ )。除2015年外各处理产量均表现为M-S > M-M-S,但差异均不显著,说明在轮作系统中M-S更有利于玉米产量的提高。

轮作对玉米产量构成因素的影响年际间也表现出较大变异。除2014和2017年外M-S和M-M-S处理较MC处理穗长、穗粗和百粒重均有增加趋势,M-S和M-S-S之间产量构成因素差异不显著。

表 2 轮作对玉米产量及产量构成因素的影响

Table 2 The impact of crop rotations on maize yield and yield compositions

测定指标 Indicator	处理 Treatment	2014	2015	2016	2017	2018	2019	均值 Average	增加率 Yield increased rate/%
穗长	MC	21.20 a	21.19 b	17.93 b	19.10 a	19.00 b	17.90 b	19.03	—
Ear length/cm	M-S	21.18 a	21.94 a	18.82 ab	19.60 a	20.10 a	18.70 a	19.68	3.42
	M-M-S	21.30 a	22.01 a	19.39 a	20.00 a	19.90 ab	18.00 ab	19.72	3.63
穗粗	MC	5.10 a	5.11 a	5.01 b	5.20 a	4.00 b	5.20 a	4.92	—
Ear diameter/cm	M-S	5.14 a	5.23a	5.04 b	5.10 a	4.20 a	5.30 a	5.00	1.63
	M-M-S	5.14 a	5.18 a	5.14 a	5.20 a	4.10 ab	5.20 a	4.99	1.42
百粒重	MC	32.27 a	33.48 b	37.85 a	39.85 a	35.27 b	35.23 b	36.09	—
100-seed weight/g	M-S	30.52 b	38.18 a	38.49 a	38.45 b	38.17 a	37.40 a	35.73	-1.00
	M-M-S	32.82 a	37.83 a	39.59 a	38.30 b	38.30 a	36.37 ab	36.65	1.55
产量	MC	12484.65 a	10354.93 b	11802.85 b	16341.75 a	10113.00 b	10563.16 b	11943.39	—
Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )	M-S	12951.30 a	12698.41 a	14543.78 a	16199.55 a	12506.40 a	13568.93 a	13744.73	15.08
	M-M-S	12562.58 a	13140.75 a	13975.89 a	15283.88 a	11081.03 ab	11786.29 ab	12971.74	8.61

2.2 生育期内大气降水对产量的影响

本研究试验区作物生育期内多年平均降水量为289.3 mm,其中71.0%发生在6—8月,是作物生长最为旺盛的阶段(表3)。与多年降水平均值相比,2014年作物生育期内降水减少了14.0%,属于干旱年份;2015—2018年增加了22.6%~78.3%,属于丰水年;而2019年与之基本持平,属于平水年。不同试验年份,大气降水存在生长季内分布与多年降水分布规律不一致的现象,导致季节性干旱的出现。2014年5—6月降水是常规年份的1.5倍左



右,7月大气降水仅为14.6 mm,为多年平均值的15.21%;2018年5月降水为多年平均值的25.32%;2019年6和7月降水分别为多年平均值的58.03%和52.40%。

2014年7月属于极端干旱天气,而大豆产量是历年最高水平,M-M-S比M-S增产13.52%。2016年降水量最多且分布均匀,大豆M-M-S比M-S、玉米M-M-S和M-S比MC均显著增产。2019年6—7

月严重干旱,大豆M-M-S比M-S仅增产1.12%,而玉米M-M-S和M-S分别比MC增产11.58%和28.46%,为历年增产最高水平。而常年或丰水年轮作增产效果低于降水极端年份(表1,表2)。说明大气降水年型及年内降水分布对不同作物产量存在影响,干旱年份或降水丰沛但降水分布不均的年份及涝害年份,轮作都表现出对产量调控显著影响的效果。

表3 试验区2014—2019年作物生长季内大气降水分布

Table 3 Distribution of rainfall during the crop growing seasons in the experimental area from 2014 to 2019 (mm)							
年 Year	月份 Month						总和 Total
	4	5	6	7	8	9	
2014	7.9	46.1	98.0	14.6	38.8	43.9	249.3
2015	38.6	16.5	86.5	95.2	79.3	32.9	349.0
2016	14.1	52.1	60.9	182.1	160.3	46.3	515.8
2017	0.4	19.9	52.5	95.2	171.9	14.7	354.6
2018	0.1	7.9	84.0	119.9	127.4	16.9	356.2
2019	15.0	76.4	36.5	50.3	100.9	12.6	291.7
平均 Mean	16.0	31.2	62.9	96.0	46.5	36.7	289.3

2.3 经济效益评价

2.3.1 成本投入 轮作系统中的生产成本包括:整地(播前地膜清理、灭茬翻耕、旋耙平整等)、种子、肥料、农药、灌溉、滴灌成本(地膜、滴灌管带及配件安装等)、机械费用、田间管理用工等成本投入(表4)。2014—2019年,大豆和玉米生产成本增加较快,其中2014年试验所在区域覆膜种植享受国家补

贴,滴灌成本为0,所以2014年的成本最低,大豆和玉米成本分别为8 755和12 750元·hm<sup>-2</sup>,玉米成本较大豆成本高3 995元·hm<sup>-2</sup>。2016和2017年生产成本最高,因试验所在区域水资源十分匮乏,降雨不匀,严重干旱进行灌溉而大幅增加生产成本,滴灌成本费占生产成本的30%~50%。

表4 大豆和玉米生产成本

Table 4 Soybean and corn production costs											(元·hm <sup>-2</sup> )
项目 Item	年份 Year	整地 Soil preparation	种子 Seed	化肥 Fertilizer	播种 Sow	农药 Pesticide	田间管理 Field management	灌溉 Irrigation	收获 Harvest	滴灌成本 The cost of drip irrigation	合计 Total
大豆成本 Cost of soybean	2014	1200.00	450.00	900.00	1050.00	450.00	1575.00	900.00	2250.00	0	8775.00
	2015	1500.00	450.00	900.00	1350.00	150.00	1350.00	750.00	1350.00	4950.00	12750.00
	2016	1350.00	450.00	1275.00	1275.00	300.00	1500.00	3900.00	1200.00	4950.00	16200.00
	2017	1500.00	450.00	900.00	1275.00	150.00	750.00	5700.00	1200.00	4950.00	16875.00
	2018	2475.00	450.00	1350.00	1200.00	300.00	1350.00	2430.00	900.00	4245.00	14700.00
	2019	2475.00	450.00	1350.00	1200.00	300.00	1350.00	2430.00	900.00	4245.00	14700.00
玉米成本 Cost of corn	2014	1950.00	750.00	1875.00	1050.00	450.00	1575.00	1800.00	3300.00	0	12750.00
	2015	1500.00	750.00	2400.00	1350.00	150.00	600.00	750.00	1800.00	4950.00	14250.00
	2016	1350.00	600.00	2550.00	1275.00	150.00	2025.00	3900.00	1800.00	4950.00	18600.00
	2017	1500.00	600.00	1800.00	1275.00	0	900.00	5700.00	1500.00	4950.00	18225.00
	2018	2475.00	600.00	2625.00	1200.00	300.00	1350.00	2430.00	1500.00	4245.00	16725.00
	2019	2475.00	600.00	2625.00	1200.00	300.00	1350.00	2430.00	1500.00	4245.00	16725.00

2.3.2 效益分析 由表 5 可知,2014—2019 年大豆和玉米销售价格呈下降趋势,与 2014 年相比,2019 年大豆和玉米的价格分别下降了 27.08% 和 31.81%。

由表 6 可知,各处理中产量、产值和成本均以 MC 处理最高,M-M-S 比 MC 处理产量和产值分别低 17.89% 和 3.70%,M-S 比 MC 处理产量和产值分别低 29.39% 和 10.38%。效益表现为 M-M-S 与 MC 处理基本持平且大于 M-S 处理。产投比值 M-M-S 最高为 0.32,其次是 MC 为 0.29,M-S 最低为 0.25。虽然 MC 产量和产值大于其它处理,但投入与产出比值小于 M-M-S。综合比较结果为 M-M-S 模式优于 M-S 及 MC。

表 5 2014—2019 年大豆和玉米价格

Table 5 Soybean and corn prices in 2014 – 2019						
(元·kg <sup>-1</sup> )						
项目 Item	2014	2015	2016	2017	2018	2019
大豆价格 Soybean prices	4.8	4.8	4.8	3.8	3.5	3.5
玉米价格 Corn prices	2.2	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5

表 6 不同轮作模式效益情况

Table 6 Benefit situation of different rotation patterns			
项目 Item	MC	M-M-S	M-S
产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )	11944.38	9807.68	8433.51
产值 Output value/(元·hm <sup>-2</sup> )	20234.54	19484.86	18134.55
成本 Cost/(元·hm <sup>-2</sup> )	16212.50	15475.00	15106.25
效益 Benefit/(元·hm <sup>-2</sup> )	4022.04	4009.86	3028.30
成本:效益 Cost: Benefit	1:0.29	1:0.32	1:0.25

3 讨论

王磊等<sup>[15]</sup>研究表明玉米连作对其苗期地上及地下部分的生长发育有抑制作用,是导致产量潜力下降的因素,粮豆轮作能够改善土壤肥力和提高地力,是增加作物产量的一项重要农业技术措施。玉米大豆轮作能够影响大豆籽粒产量,提高玉米的穗长、穗粗、百粒重等产量性状<sup>[16-19]</sup>。本试验于 2012

年开始,2014 年起各轮作模式均完成一个轮作周期,自此每年可监测分析不同茬口下的玉米、大豆产量及产量构成因素。本研究印证了玉米大豆不同轮作模式的轮作效应差异,轮作在干旱年份调控干旱或在涝年对产量影响大于常年,与周桂玉等<sup>[9]</sup>、许艳丽等<sup>[16]</sup>研究结果相一致。作物轮作增产效应与其水分吸收增加和水分的高效利用有关<sup>[20]</sup>。本研究表明,生长期降水丰富玉米大豆轮作增产显著。然而降水量充沛但分布不均年份轮作增产幅度小,且轮作对玉米产量影响效果高于大豆,这应与干旱发生时作物生长所处阶段及作物发育特点有关。内蒙古东南部地区气候干旱,水资源严重短缺,灌溉成本高,采用轮作种植可有效减少气象灾害损失和降低生产成本。

种植业可持续发展依赖粮食产量和经济效益,其中效益是农户进行种植决策的首要因素。本研究结果中,玉米连作虽然产量高于轮作模式,因其生产成本低,所以平均效益表现为与玉米-玉米-大豆轮作模式基本持平。玉米-大豆轮作模式因种植玉米次数少,其平均产量、生产成本和效益均最低,且大豆迎茬种植其产量和品质下降。内蒙古自治区是我国东北玉米和大豆商品粮主要基地,东南部地区也是干旱半干旱农牧交错区,从保障粮食数量、应对气候干旱、提高资源循环利用和农牧业可持续发展方面,玉米-玉米-大豆模式较玉米-大豆模式具有更好的产量和效益表现,更适于本区域推广。但轮作本身是有机复杂的动态系统,涉及气候环境、植物、土壤等生态环境及作物根系的影响<sup>[14,21]</sup>,系统中复杂的变化机制,今后仍有待进一步研究。

4 结论

本研究结果表明,轮作对玉米大豆产量及产量主要构成因素均有影响,大豆表现为玉米-玉米-大豆模式优于玉米-大豆模式,玉米表现为玉米-大豆模式优于玉米-玉米-大豆模式及玉米连作。轮作与连作玉米产量差异显著。两种轮作模式之间玉米、大豆产量差异均不显著。在旱涝等降水极端年份轮作增产效果大于常年。相比玉米-大豆轮作模式及玉米连作,玉米-玉米-大豆轮作模式具有更好的产量和效益表现,是可持续的种植模式,更适于本区域推广。

致谢:本文得到了国家大豆产业技术体系首席韩天富研究员、栽培研究室魏丹、吴存祥和张斌等教授的指导。长期定位试验进行中,常汝镇先生、胡国华和韩晓增研究员等体系多位专家也给予了指导,



邹文秀博士对本文提供了很大帮助,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献

[1] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11):1941-1959. (Li S K,Zhao J R,Dong S T,et al. Advances and prospects of maize cultivation in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50 (11): 1941-1959. )

[2] 韩天富,王源超,付连舜,等. 中国现代农业产业可持续发展战略研究. 大豆分册[M]. 北京:中国农业出版社,2016. (Han T F, Wang Y C,Fu L S,et al. Study on sustainable development strategy of modern agricultural industry in China. Soybean fascicle [M]. Beijing:China Agricultural Press,2016. )

[3] 韩晓增,胡国华,邹文秀. 东北地区不同轮作方式下大豆产量对施钾的响应[J]. 土壤与作物, 2014,3(4):157-161. (Han X Z, Hu G H, Zou W X. The response of soybean grain yield to potassium fertilization under different crop rotations in black soil region of northeast China [J]. Soil and Crop, 2014, 3 (4): 157-161. )

[4] 苏二虎,冯勇,赵瑞霞,等. 内蒙古自治区玉米分区发展方向及技术策略探讨[J]. 内蒙古农业科技,2009,23(4):43-45. (Su E H, Feng Y, Zhao R X, et al. Regionalized development trend of maize and its technical strategy in Inner Mongolia [J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2009, 23 (4): 43-45. )

[5] 陈海江,司伟,魏丹,等. 粮豆轮作技术的“减肥增效”效应研究——基于东北地区轮作定位试验和农户调研分析[J]. 大豆科学,2018,37(4):545-550. (Chen H J, Si W, Wei D, et al. Study on "weight loss and synergistic effect" of grain and bean rotation technology-based on the positioning experiment of rotation and analysis of peasant households in northeast China[J]. Soybean Science,2008,37(4):545-550. )

[6] 李军,邵明安,王立祥. 作物轮作方式产量效应模拟与优化选择研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2002,30(4):37-41. (Li J,Shao M A,Wang L X. Yield effect simulation and optimum choices of crop rotation[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition),2002,30(4):37-41. )

[7] 韩天富,韩晓增. 走粮豆轮作均衡持续丰产的农业发展道路[J]. 大豆科技,2016(1):1-3. (Han T F, Han X Z. Taking the agricultural development road of equitable, sustainable yield for grain and bean crop rotation [J]. Soybean Science and Technology,2016(1):1-3. )

[8] 大久保隆弘. 作物轮作技术与理论[M]. 北京:农业出版社,1982:98-101. (Da J B L H. Crop rotation technology and theory [M]. Beijing: Agricultural Press,1982:98-101. )

[9] 周桂玉,张晓平,范如芹,等. 黑土实施免耕对玉米和大豆产量及经济效益的影响[J]. 吉林农业大学学报,2015,37(3):260-267. (Zhou G Y,Zhang X P,Fan R Q,et al. No-tillage effects on corn and soybean yield and profitability:Based on a long-term field trial of black soil in northeast China [J]. Journal of Jilin Agricultural University,2015,37(3):260-267. )

[10] 高盼,刘玉涛,王宇先,等. 半干旱区玉米-大豆轮作对土壤物理性质和化学性质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2018(9):23-26. (Gao P, Liu Y T,Wang Y X,et al. Effects of maize soybean rotation on physical and chemical properties of soil in semi-arid area[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2018(9):23-26. )

[11] Hatfield J L, Allmaras R R,Rehm G W,et al. Ridge tillage for corn and soybean production: Environmental quality impacts [J]. Soil and Tillage Research,1998,48:145-154.

[12] 邢会琴,肖占文,闫吉智,等. 玉米连作对土壤微生物和土壤主要养分的影响[J]. 草业科学,2011,28(10):1777-1780. (Xing H Q,Xiao Z W,Yan J Z,et al. Effects of continuous cropping of maize on soil microbes and main soil nutrients[J]. Pratacultural Science,2011,28(10):1777-1780. )

[13] 王希全,杨亚东,张凯,等. 农牧结合的意义、发展历程及前景[J]. 农学学报,2020,10(1):27-31. (Wang X Q, Yang Y D, Zhang K, et al. The significance, development and prospect of integrated crop-livestock system[J]. Journal of Agriculture,2020, 10(1):27-31. )

[14] 曾昭海. 豆科作物与禾本科作物轮作研究进展及前景[J]. 中国生态农业学报,2018,26(1):57-61. (Zeng Z H. Progress and perspective of legume-gramineae rotations[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture,2018,26(1):57-61. )

[15] 王磊,王勇,李尚中,等. 旱地玉米主要农艺性状与产量的相关分析[J]. 甘肃农业科技,2010(5):5-8. (Wang L,Wang Y,Li S Z,et al. Correlation analysison on the yield and major agronomic characters of the dryland corn [J]. Gansu Agricultural Science and Technology,2010(5):5-8. )

[16] 许艳丽,韩晓增. 大豆重迎茬研究[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,1995. (Xu Y L, Han X Z. Research on continuous cropping of soybean [M]. Harbin: Harbin University of Engineering Press,1995. )

[17] Mukholm L J, Heck R J, Deen B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield [J]. Soil and Tillage Research,2013,127:85-91.

[18] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京:中国农业出版社,2000. (Dong Z. Soybean yield physiology [M]. Beijing: China Agricultural Press,2000. )

[19] 丁传礼. 夏玉米育种目标和主要农艺性状与产量的相关通径分析[J]. 安徽农学通报,2016,22(2):24-26,33. (Ding C L. Correlation and path analysis of the breeding target, major agronomic traits and yield of summer maize[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin,2016,22(2):24-26,33. )

[20] Copeland P J,汪和平. 玉米——大豆轮作对土壤水分消耗的影响[J]. 绵阳经济技术高等专科学校学报,1995(1):53-63. (Copeland P J,Wang H P. Effects of maize-soybean rotation on soil water consumption [J]. Journal of Mianyang College of Economy and Technology,1995(1):53-63. )

[21] 周岚,姜英,陈阜,等. 玉米-大豆轮作及氮肥水平对玉米农艺性状及产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013,18(6):61-67. (Zhou L, Jiang Y, Chen F, et al. Effect of soybean-maize rotation and fertilization on the agronomic trait and grain yield of maize[J]. Journal of China Agricultural University,2013,18(6): 61-67. )