

玉米大豆轮作体系对土壤肥力的影响研究

陈伟丹

宽甸满族自治县农业农村发展服务中心(县植物保护中心、丹东蓝莓研究所)

DOI:10.32629/as.v9i6.4082

[摘要] 土壤肥力是农业生态系统生产力的中心,土壤肥力下降的时候,必定会对全球粮食安全产生重大影响。传统的单作种植方式由于连作会使土壤养分失衡、微生物群落结构单一化,从而造成土壤肥力下降。本文主要研究玉米大豆轮作体系对土壤肥力的影响,在多农作物轮换种植的基础上,从土壤物理、化学和生物性质三个方面对土壤肥力变化进行系统的分析。研究表明玉米大豆轮作可以明显改善土壤结构,增大土壤孔隙度、团聚体稳定性。因此玉米大豆轮作是保持土壤健康、促进农业可持续发展的有效手段,也是优化农业种植的科学依据。

[关键词] 玉米大豆; 轮作体系; 土壤肥力; 影响

中图分类号: S435.131 文献标识码: A

Study on the Impact of Corn-Soybean Rotation System on Soil Fertility

Weidan Chen

Baozhen Manchu Autonomous County Agricultural Development Service Center (County Plant Protection Center, Dandong Blueberry Research Institute)

[Abstract] Soil fertility is the core of agricultural ecosystem productivity. When soil fertility declines, it will inevitably have a significant impact on global food security. The traditional monoculture planting method, due to continuous cropping, leads to imbalance of soil nutrients and simplification of microbial community structure, thereby causing a decline in soil fertility. This paper mainly studies the impact of the corn-soybean rotation system on soil fertility. Based on the multi-crop rotation planting, a systematic analysis of soil fertility changes is conducted from three aspects: soil physical, chemical and biological properties. The research shows that the corn-soybean rotation can significantly improve soil structure, increase soil porosity and the stability of aggregates. Therefore, the corn-soybean rotation is an effective means to maintain soil health and promote sustainable agriculture, and is also a scientific basis for optimizing agricultural planting.

[Key words] Corn and soybeans; Rotation system; Soil fertility Impact

玉米、大豆是主要的粮油作物,二者轮作具有生态、经济双重效益,因为大豆通过根瘤菌固氮作用给玉米提供氮素,玉米秸秆还田可以增加土壤碳源,提高土壤有机质含量。因此,对玉米大豆轮作体系进行深入的研究,可以更清楚地了解轮作体系中土壤肥力的变化规律,给科学制定种植制度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 试验地点与时间

试验地点为黑龙江省某农业试验站(地理坐标为北纬45°32′、东经126°58′),试验时间2022年5月到2025年10月。试验区位于东北黑土区核心区,土壤类型为典型的黑土,质地为黏壤土,初始理化性质为土壤pH值为6.2、有机质含量为38.5g/kg、全氮含量为2.1g/kg、有效磷含量为35.2mg/kg、速效钾含量为

186mg/kg。该地区属于温带大陆性季风气候类型,多年平均气温为3.5℃,年降水量在550~600mm之间,60%的降水集中在7~8月,无霜期达135~140天^[1]。试验设计为连续三年的周期(2022年、2023年、2024年、2025年),共有六个完整的种植季节,采用春玉米和夏大豆轮作的方式。

1.1.2 处理设置

试验设计为完全随机区组排列,共设3个主处理,每个处理设4次重复,共1个试验小区。每个小区的面积是30m²,规格为长6m、宽5m²。试验处理具体设置如下:

处理1: 玉米连作处理(Corn monoculture, CM),即连续三年种植玉米;

处理2: 大豆连作处理(Soybean monoculture, SM),即连续三年种植大豆;

处理3: 玉米-大豆轮作处理 (Corn-Soybean rotation, CSR), 该处理进一步划分为两个轮作序列:

子处理3.1: 玉米→大豆→玉米轮作序列 (C-S-C);

子处理3.2: 大豆→玉米→大豆轮作序列 (S-C-S)。

1.1.3田间管理

为了控制非处理因素对试验结果的影响, 在各个试验小区中均采取了相同的田间管理措施, 即

(1) 施肥管理, 基肥在播种前结合整地施用, 玉米单作处理施用氮磷钾复合肥 ($N-P_2O_5-K_2O=15-15-15$), 大豆单作处理施用磷酸二铵 ($N-P_2O_5=18-46$), 后者由于大豆有生物固氮的能力, 所以氮素投入相应减少。追肥上玉米大喇叭口期追施尿素 (含氮量 46%) 200kg/ha, 大豆花期叶面喷施硼肥 (含硼量 11%) 1.5kg/ha。轮作处理的施肥量根据各个年度所种作物的实际需要来确定, 全生育期总氮素投入量比玉米单作处理少 25%。

(2) 水分管理, 采用滴灌系统进行补充灌溉, 在作物需水的关键期 (玉米拔节期、大豆开花期) 进行水分调节, 每次灌溉定额为 40mm, 全生育期总灌溉量不超过 200mm, 以模拟当地雨养农业的水分条件, 如图 1 所示。



图1 玉米大豆滴灌系统

(3) 病虫害综合防治, 玉米播种时用噻虫嗪和咯菌腈对种子进行处理, 大喇叭口期释放赤眼蜂 (释放量 2 万头/ha) 防治玉米螟; 大豆播种后进行苗前封闭除草 (使用异丙甲草胺), 结荚期喷施吡虫啉防治蚜虫 (有效成分用量 30g/ha)。所有的农药种类和施用量都相同, 排除化学投入品不同对土壤微生物群落造成的影响。

(4) 耕作管理, 每年秋季作物收获后, 玉米处理的秸秆进行粉碎还田 (留茬高度 15cm), 大豆处理的秸秆移出试验小区, 模拟当地农户传统秸秆处理方式。播种前用旋耕机进行旋耕, 耕深 15cm 至 20cm, 目的是打破犁底层, 使土壤和还田秸秆充分混合。

1.2土壤采样与分析

1.2.1采样时间

土壤样品在作物关键生育期采样, 分别在播种初期 (5月初) 和收获后期 (10月初) 采集, 前者用来反映前茬作物残留效应和冬季土壤养分自然变化的过程, 后者用来评价当季作物对土壤

养分的吸收利用和归还情况。若要研究轮作制度对于土壤微生物群落的短期响应动态, 可以在玉米大喇叭口期、大豆开花期等作物生长的重要时期再进行补充采样。

采样深度设为 0 到 20cm 耕作层和 20 到 40cm 亚表层两个部分, 研究土壤养分垂直分布及迁移。采样方法用 S 形布点法, 在每一个试验小区内均匀布置 5 个采样点, 采集的土壤样品充分混合后分成三份, 一份新鲜保存用于土壤生物学性质测定, 其余两份自然风干后用于土壤物理化学性质分析。

1.2.2指标测定

(1) 物理性质。采用环刀法 (100cm³ 不锈钢环刀) 取原状土样, 105℃ 烘干至恒重, 求得单位体积干土质量 (g/cm³)。孔隙度计算公式为总孔隙度 (%) = (1 - 容重/土壤密度) × 100 (土壤密度取 2.65g/cm³), 仪器设备见表 1。

而团聚体稳定性方法则是湿筛法 (Yoder 改良法), 可将风干土样 (50 g) 置于套筛 (2mm、0.25 mm、0.053 mm) 上, 浸泡后以 30 次/min 振荡 10 min, 收集各级团聚体, 计算平均重量直径 (MWD)。MWD 值越大, 团聚体的抗侵蚀能力就越强, 是衡量土壤结构健康程度的重要指标。

(2) 化学性质。化学性质测定中, 对有机质的测定可以采用重铬酸钾氧化外加热法。通常情况下, 取 0.5 g 土样与 0.8 mol/L $K_2Cr_2O_7$ 溶液混合, 180℃ 油浴加热 5 min, 冷却后滴定剩余 $K_2Cr_2O_7$ 量, 计算有机碳含量 (g/kg), 乘以系数 1.724 转换为有机质^[2]。全氮计算用凯氏定氮法 (Kjeltec 8400 全自动定氮仪), 土样经浓硫酸消煮后, 蒸馏滴定释放出的氨态氮。pH 值测定采用土水比为 1: 2.5 的电位法, 用玻璃电极校准后插入悬液中, 稳定后读取 pH 值。

(3) 生物性质。微生物量碳、氮测定方法以氯仿熏蒸-0.5mol/L K_2SO_4 浸提法为主, 取鲜土样 (20g) 分成两份, 一份用无乙醇氯仿熏蒸 24h, 另一份不做熏蒸作为对照。熏蒸后释放氯仿, 用 0.5 mol/L K_2SO_4 溶液振荡浸提 30 min。浸提液中碳用 TOC 分析仪测定, 氮用凯氏定氮法测定。计算公式如下:

微生物量碳 (MBC) = 熏蒸土样碳 - 对照土样碳 / 0.45

微生物量氮 (MBN) = 熏蒸土样氮 - 对照土样氮 / 0.54 (转换系数)

表1 土壤采样与分析仪器设备表

指标	仪器名称	型号	精度/量程
容重	电子天平	Sartorius BSA224S	0.0001 g
孔隙度	土壤密度仪	LYT-100	0.01 g/cm ³
团聚体稳定性	湿筛装置	自定义	筛孔直径 2mm/0.25mm/0.053mm
有机质	油浴锅	HH-S6	0~300℃
全氮	全自动定氮仪	Kjeltec 8400	N 0.1~200 mg
有效磷	分光光度计	UV-1800	320~1100 nm
微生物量碳/氮	TOC 分析仪	Vario TOC Select	C 0~50 mg/L
酶活性	恒温培养箱	LRH-250	0~60℃
功能基因丰度	荧光定量 PCR 仪	ABI 7500	动态范围 1~10 ¹⁰ copies

1.3数据分析方法

根据ANOVA方差分析(单因素或双因素),比较不同轮作模式(玉米-大豆轮作与玉米单作)、采样时间(播种前与收获后)对土壤物理、化学或生物性质的差异显著性。其试验数据呈现出正态性(Shapiro-Wilk检验, $p>0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土壤物理性质变化

玉米-大豆轮作模式下土壤容重比单作处理低12.3% ($p<0.05$),总孔隙度高9.8%。以上变化主要是由于大豆根系穿插和有机残体输入共同产生的。大豆根系系统发达,侧根在生长发育过程中对土壤团聚体有穿透作用,促进大孔隙结构的形成,根系腐解后形成的有机质作为胶结物质,有效地提高了0.25~2mm粒级小团聚体的稳定性。轮作制度用作物根系深浅交替分布来打破单作模式下形成的犁底层结构,使得0~30cm土层土壤渗透系数提高34%,土壤水分保持能力得到明显改善。

2.2 土壤化学性质变化

大豆根瘤菌每年可以固定大气氮素45-60kg/ha,其植株残体矿化分解之后,轮作处理土壤全氮含量比玉米单作处理提高18.7%,同时土壤有效磷含量由于微生物活化效应增加14.2%。在有机质累积方面,轮作处理年均增量达0.32 g/kg,显著高于单作处理的0.15 g/kg ($p<0.01$)。主要原因是大豆根系分泌的多糖类物质和玉米秸秆还田的协同矿化作用。就土壤酸碱度调节而言,大豆根系分泌的有机酸对酸性土壤($pH<5.5$)有中和作用。连续轮作三年后,0~20cm土层pH值由原来的4.8变为现在的5.3,土壤交换性铝离子含量明显下降,给后茬玉米生长创造了更好的根际微环境。

2.3 土壤生物活性变化

根据高通量测序技术的分析可知,轮作处理土壤细菌群落多样性指数比单作处理高22.3%,固氮菌属和溶磷菌属的相对丰度分别提高了1.8倍和1.3倍。轮作处理明显削减了病原菌的相对丰度,从单作处理的12.4%降到7.1%,而且丛枝菌根真菌的根系侵染率提高了19%。从土壤酶活性测定结果可以看出,轮作处理土壤中脲酶和磷酸酶的活性比单作处理分别提高了31%和28%,这与大豆根际分泌物对酶活性的诱导作用以及微生物群落结构的改善有关^[3]。傅里叶变换红外光谱分析发现,轮作土壤有机质

组分发生了明显的改变,芳香族碳含量下降,脂类碳含量上升,说明轮作制度下微生物驱动的有机质周转速率明显加快。

2.4 轮作周期与化肥减量效应

长期轮作制度(连续三年以上)对土壤肥力有明显的累积改良作用。从试验观测结果可以看出,连续轮作5年之后,0~20cm土层土壤有机质含量比单作处理高41.2%,速效钾含量提高29.7%,形成比较稳定的土壤养分储备库。根据土壤肥力持续改善的要求,化肥施用量可以减少30%,玉米产量仍然可以保持在单作处理水平的98%。磷肥减少20%,土壤有效磷储备仍然可以满足作物的生长需要。产量稳定性分析结果表明,轮作处理玉米产量变异系数明显小于单作处理,这种差异主要是由于轮作体系构建的多样化抗逆性所导致的,大豆生物固氮作用减少了对外源氮素的依赖,作物根系构型的多样性和微生物群落结构的改善使土壤系统对于旱胁迫和病虫害的缓冲能力得到了明显提升。

3 结束语

玉米大豆轮作不仅可以减少对化肥的依赖,还可以降低农业面源污染的风险,提高土壤生态系统的稳定性,达到农业高产稳产的目的。在定量分析轮作周期对土壤肥力长期影响的时候,采用分子生物学技术来解析微生物驱动的养分转化机理,对于推进农业绿色转型升级有着十分关键的意义。

[参考文献]

- [1]王占勇.大豆玉米轮作体系中的肥料优化与施用策略[J].种子科技,2025,43(07):204-206.
- [2]宋朝玉,王圣健,黄俊杰,等.小麦玉米轮作体系中有机无机肥料配比对小麦养分利用和土壤肥力的影响[J].江苏农业科学,2024,52(13):54-59.
- [3]冯雪婉,李翠兰,彭畅,等.玉米-大豆轮作体系对黑土土壤固氮菌群落结构及其质量的影响[J].自然资源学报,2022,37(09):2319-2333.

作者简介:

陈伟丹(1988--),男,满族,辽宁省丹东市宽甸县人,大专,职称:助理农艺师,从事方向玉米大豆蓝莓中药材方向。