



杜若楠,张睿,赵海滨,等.套种不同绿肥作物对玉米产量及土壤养分的影响[J].黑龙江农业科学,2024(8):25-32.

套种不同绿肥作物对玉米产量及土壤养分的影响

杜若楠¹,张睿¹,赵海滨¹,金慧¹,张举梅¹,杨学¹,高婧²,常单娜³

(1.黑龙江省农业科学院 草业研究所,黑龙江 哈尔滨 150086; 2.黑龙江省农业科学院 园艺分院,黑龙江 哈尔滨 150069; 3.中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所/北方干旱半干旱耕地高效利用全国重点实验室,北京 100081)

摘要:为筛选出适宜在黑龙江省种植的玉米套种效果好的绿肥资源,于2023年在黑龙江省海伦市,选用红小豆(*Vigna angularis*)、豌豆(*Pisum sativum* L.)、大豆[*Glycine max* (L.) Merr.]、箭筈豌豆(*Vicia sativa* L.)、毛叶苕子(*Vicia villosa* Roth.)和油用萝卜(*Raphanus sativus* var. *raphanistroides*)6种绿肥与玉米进行套种,探明套种模式下土壤当季速效养分及地上部生物产量变化情况。结果表明,种植绿肥作物可促进后茬作物玉米的生长,并对土壤养分有明显的改善作用,不同绿肥作物套种玉米对玉米产量、经济效益及土壤养分的影响均有差异。毛叶苕子套种玉米处理为最优组合,其地上鲜重为37 234.57 kg·hm⁻²,地上干重为5 219.85 kg·hm⁻²,玉米籽粒产量为10 461.54 kg·hm⁻²,较对照增产3.03%,经济效益为10 424.00元·hm⁻²,较对照增收0.70%;豌豆套种玉米处理对土壤(0~20 cm)质量改善最明显,其有机质、全氮、全钾、pH、水解性氮、有效磷和速效钾分别为58.60 g·kg⁻¹、0.25%、2.55%、6.42、223.30 mg·kg⁻¹、45.00 mg·kg⁻¹和251.00 mg·kg⁻¹,较对照分别增加11%、9%、2%、3%、1%、78%和15%。

关键词:绿肥;土壤改良;玉米;套种;土壤养分

绿肥是最清洁的有机肥源,具有改良土壤理化性质的作用^[1],作物休闲期种植绿肥有利于改善土壤质量,提高后茬作物产量^[2]。玉米是我国第一大粮食作物,提高玉米单产是保障国家粮食安全的重要举措,是提升我国粮食产能的重要途径,是增加农民种粮收益的有效手段。研究表明,绿肥套种玉米能够提高土壤肥力^[3]、减少化肥使用^[4]、防止土壤侵蚀^[5]和提高农作物产量^[6],是一种可持续的农业发展方式。并且不同绿肥品种对于主作物的增产效果也有显著差异^[7],罗跃等^[8]研究表明,相较于对照,草木樨翻压还田可显著提升玉米产量28.10%,而针叶豌豆(玉米产量提升16.74%)和甜豌豆(玉米产量提升13.99%)处理效果次之。此外,土壤中有有效磷、有机质和酸碱度等含量会因绿肥还田量的不同而发生改变^[9]。已有研究表明,箭筈豌豆^[10]、油用萝卜^[11]、大豆^[12]、毛叶苕子^[13]、红小豆^[14]和豌豆^[15]等绿肥与主作物复种或间作能够保证后茬作物稳产增产并有效改良土壤,是提高生产力和维持土壤健康

的优先选择。黑龙江省为我国粮食主产区,为探索黑龙江地区绿肥与玉米的高效种植模式、推动其利用技术的开发运用,本研究选用土壤养分较低的闲置土地开展大田试验,研究套种不同绿肥对玉米产量及土壤理化性质的影响,在保证玉米增产、农民增收的前提下,筛选出适宜黑龙江地区种植的玉米绿肥高效利用方案,以期为绿肥综合利用技术在黑龙江地区的高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2023年5月至10月在黑龙江省海伦市(47.47°N,126.97°E)进行,属大陆性季风气候,四季分明,雨量集中于6月—8月,年平均降水量为580.5 mm,平均相对湿度为67.00%,平均日照时数为257 h,无霜期为149 d,平均风速为2.70 m·s⁻¹,最多风向为东南风,平均蒸发量为837 mm。土壤为黑土,土壤耕层基本理化性状见表1。

收稿日期:2024-04-06

基金项目:国家绿肥产业技术体系(CARS-22);黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZKYF2024-1-C015);黑土地水土保持牧草种质创新及控蚀技术创建项目(GA23B004);国家作物种质资源库绿肥分库运行服务(NCGRC-2024-19);绿肥种质资源安全保存(19240477);黑龙江省外向型农业产业技术协同创新体系。

第一作者:杜若楠(1998—),女,硕士,研究实习员,从事绿肥种质资源鉴定评价研究。E-mail:drn0713@126.com。

通信作者:张睿(1984—),女,硕士,副研究员,从事作物种质资源研究。E-mail:zr0705@126.com。

表 1 试验地土壤基本理化性质

有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/%	水解性氮/(mg·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	全钾/%	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	pH
44	0.188	144.50	0.64	57	2.58	304	5.88

1.2 材料

供试绿肥:6 种绿肥分别为红小豆、豌豆、大豆、箭筈豌豆、毛叶苕子和油用萝卜,其中箭筈豌豆和油用萝卜为俄罗斯品种,由黑龙江省农业科学院草业研究所(黑龙江省农业科学院对俄农业

技术合作中心)提供,其余资源为国内品种,详情见表 2。

供试玉米:华庆 6 号,为宾县华庆农业研究所选育品种,适宜在黑龙江省≥10℃活动积温 2 100℃区域种植,生育日数为 110 d 左右。

表 2 参试的绿肥种质资源播种量及生育期

编号	材料名称	品种名称	来源	播种量/(kg·hm ⁻²)	播种期	出苗期	初花期
1	龙红 6 号	红小豆	中国	35	5 月 6 日	5 月 17 日	—
2	中豌 6 号	豌豆	中国	28	5 月 6 日	5 月 17 日	6 月 22 日
3	科合 202	大豆	中国	21	5 月 6 日	5 月 17 日	—
4	HZMC1366	箭筈豌豆	俄罗斯	35	5 月 6 日	5 月 13 日	6 月 22 日
5	—	毛叶苕子	中国	21	5 月 6 日	5 月 22 日	—
6	HZMC 1745	油用萝卜	俄罗斯	28	5 月 6 日	5 月 15 日	6 月 10 日

1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用玉米 40/90 套种绿肥栽培技术模式,如图 1 所示。2023 年 5 月 5 日对试验地施玉米复合肥 0.06 kg·m⁻³;在 5 月 6 日播种 6 种不同的绿肥,设置空白对照(CK),空白对照同样采用 4090 的栽培模式(40 cm 种植玉米,

90 cm 留出空地),每个处理设置 3 个苗带,绿肥条播,行距 22.5 cm;5 月 20 日播种玉米;6 月 22 日将绿肥作物全部人工灭茬后翻压还田,翻压深度为 0~20 cm,使得绿肥作物充分在土壤中腐解,以促进土壤养分的提升^[16-17];9 月 28 日收获玉米。小区面积 39 m²,3 次重复。

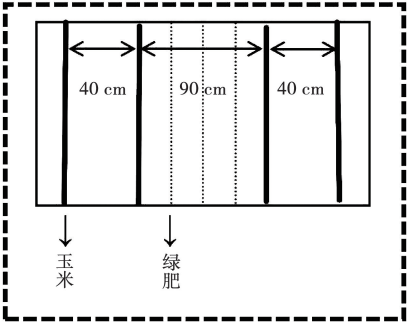


图 1 玉米 40/90 套种绿肥栽培技术模式图



1.3.2 测定项目及方法 土壤理化指标测定:于 2023 年绿肥播种前(5 月 5 日),绿肥初花期未翻压前(6 月 20 日)和玉米收获后(9 月 30 日)3 个时期取土样,每小区选取 8~9 点取土样并混合,取土深度为 0~20 cm,移除植物残根、石块等杂物后混匀装袋。风干后分别取过 100 目筛的干土壤 2 g,采用电极法测定 pH;采用重铬酸钾外加热法测定有机质含量;采用凯式定氮法测定全氮含量和水解性氮含量;采用钼锑抗比色法测定全磷含量和有效磷含量;采用火焰光度计测定全钾含量和速效钾含量^[18]。

绿肥产量测定:在绿肥翻压前测量绿肥植株的地上部生物量与地上部干物质量。地上部干物质测定方法为将地上部绿肥鲜草放入 60℃的电热鼓风干燥机内烘干 8 h 后,测量质量,并计算其干鲜比。

玉米产量及产量构成因素测定:在玉米成熟期测量玉米籽粒产量,并计算在不同处理下玉米产量较空白对照的增产比例。

1.3.3 数据分析 试验数据均采用 Excel 2010 软件计算处理,Graph Pad Prism 8 软件绘图,利用 SPSS 26 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同绿肥套种玉米模式对绿肥及玉米产量的影响

由表3可知,绿肥作物地上鲜重最高的为油用萝卜,豌豆次之。地上干重最高的同样为油用萝卜,箭筈豌豆次之。综合来看,油用萝卜地上鲜重与地上干重均显著高于其他绿肥作物。

毛叶苕子-玉米处理和大豆-玉米处理下的玉米籽粒产量显著高于其他处理。与对照(CK)相比,套种毛叶苕子使玉米籽粒产量最高,达10 461.54 kg·hm⁻²,较单作玉米处理增产3.03%。而之前有较高绿肥生物量的油用萝卜-玉米处理下玉米产量较对照单作玉米减产22.73%,且显著低于其他处理。

表3 不同绿肥套种玉米模式对绿肥及玉米产量的影响

处理	绿肥			玉米	
	地上鲜重/(kg·hm ⁻²)	地上干重/(kg·hm ⁻²)	干鲜比	产量/(kg·hm ⁻²)	增产比/%
单作玉米(CK)	—	—	—	10153.85 c	—
毛叶苕子-玉米	37234.57 d	5219.80 c	0.14 a	10461.54 a	3.03
大豆-玉米	22617.28 f	3644.80 e	0.16 a	10230.77 b	0.76
红小豆-玉米	22716.05 e	2790.83 f	0.12 a	9923.08 e	-2.27
豌豆-玉米	38913.58 b	5029.65 d	0.13 a	10000.00 d	-1.52
箭筈豌豆-玉米	37530.86 c	5601.20 b	0.15 a	9153.85 f	-9.85
油用萝卜-玉米	156641.98 a	22784.29 a	0.15 a	7846.15 g	-22.73

注:表中同列不同小写字母表示处理间在P<0.05水平差异显著。下同。

2.2 不同绿肥套种玉米模式的经济效益分析

由表4可知,不同绿肥套种玉米模式的收益情况为毛叶苕子-玉米处理>CK处理>大豆-玉米处理>豌豆-玉米处理>红小豆-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理>油用萝卜-玉米处理。总体来看,毛叶苕子-玉米处理收益最高,较单作玉米

(CK)增收0.70%;大豆-玉米处理、红小豆-玉米处理、豌豆-玉米处理、箭筈豌豆-玉米处理、油用萝卜-玉米处理较CK均呈现减收趋势,其中油用萝卜-玉米处理的收益最低,为6 782.00元·hm⁻²,较单作玉米处理减少收益34.49%。

表4 不同绿肥套种玉米模式的经济效益分析

处理	绿肥种子成本/ (元·hm ⁻²)	玉米种子成本/ (元·hm ⁻²)	人工、化肥等成本/ (元·hm ⁻²)	玉米籽粒收益/ (元·hm ⁻²)	纯收益/ (元·hm ⁻²)	增收比例/ %
单作玉米(CK)	—	600.00	3000.00	13952.00	10352.00	—
毛叶苕子-玉米	350.00	600.00	3000.00	14374.00	10424.00	0.70
大豆-玉米	250.00	600.00	3000.00	14058.00	10208.00	-1.39
红小豆-玉米	450.00	600.00	3000.00	13636.00	9586.00	-7.40
豌豆-玉米	300.00	600.00	3000.00	13740.00	9840.00	-4.95
箭筈豌豆-玉米	500.00	600.00	3000.00	12578.00	8478.00	-18.10
油用萝卜-玉米	600.00	600.00	3000.00	10982.00	6782.00	-34.49

2.3 不同绿肥套种玉米模式对土壤养分含量的影响

2.3.1 pH 由图2A可知,绿肥套种玉米情况下,绿肥盛花期未翻压时土壤pH由高到低排序为油用萝卜-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理>豌豆-玉米处理>单作玉米(CK)>箭筈豌豆-玉米处理>红小豆-玉米处理>大豆-玉米处理;玉米收获后土壤pH由高到低排序为毛叶苕子-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理>豌豆-玉米处理>单

作玉米(CK)>大豆-玉米处理>红小豆-玉米处理>油用萝卜-玉米处理,且处理间存在显著性差异;绿肥播种前土壤pH为5.8左右,不同绿肥作物盛花期pH均上升(5.81~6.39),至玉米收获后土壤pH稳定在6.0~6.5之间。由此可见,绿肥可有效改良土壤的酸碱性,毛叶苕子绿肥对于改良土壤pH效果最为显著。

2.3.2 有机质含量 由图2B可知,绿肥盛花期未翻压时土壤有机质含量由高到低排序为豌豆-

玉米处理>大豆-玉米处理>油用萝卜-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理>红小豆-玉米处理>单作玉米(CK)>毛叶苕子-玉米处理;玉米收获后土壤有机质含量由高到低排序为油用萝卜-玉米处理>豌豆-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理>单作玉米(CK)>大豆-玉米处理>红小豆-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理;在绿肥播种前不同套作模式下土壤有机质含量范围在 44 g·kg⁻¹ 左右,不同绿肥作物盛花期土壤有机质含量上升至 45.9~

57.1 g·kg⁻¹,至玉米收获后土壤有机质含量稳定在 48.6~59.4 g·kg⁻¹ 之间。

整体来看,绿肥可有效改善土壤有机质含量,油用萝卜-玉米处理效果最佳,油用萝卜-玉米处理下的有机质含量显著高于种植其他作物,与对照相比,玉米收获时期油用萝卜-玉米处理下的土壤有机质含量增加 12%,豌豆-玉米处理次之(增加 11%)。

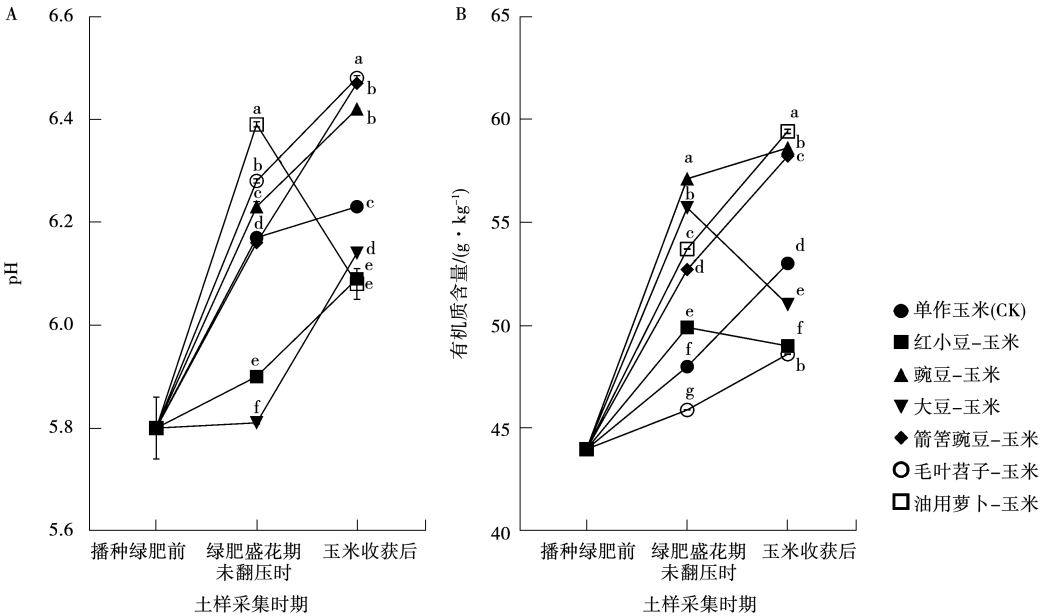


图 2 不同绿肥套种玉米模式对土壤 pH(A)和有机质含量(B)的影响

注: 图中同一时期不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。

2.3.3 全氮及水解性氮含量 由图 3A 可知,绿肥套种玉米情况下,绿肥盛花期末翻压时土壤全氮含量由高到低排序为油用萝卜-玉米处理>红小豆-玉米处理>大豆-玉米处理>豌豆-玉米处理>单作玉米(CK)>毛叶苕子-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理;玉米收获后土壤全氮含量由高到低排序为豌豆-玉米处理>油用萝卜-玉米处理>红小豆-玉米处理>单作玉米(CK)>箭筈豌豆-玉米处理>大豆-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理;绿肥播种前土壤全氮含量为 0.188% 左右,不同绿肥作物盛花期土壤全氮含量均上升(0.225%~0.265%),至玉米收获后土壤全氮含量稳定在 0.222%~0.247% 之间。

由图 3B 可知,绿肥盛花期末翻压时,土壤水解性氮含量由高到低排序为油用萝卜-玉米处理>红小豆-玉米处理>豌豆-玉米处理>大豆-玉米处

理>箭筈豌豆-玉米处理>单作玉米(CK)>毛叶苕子-玉米处理;玉米收获后土壤水解性氮含量由高到低排序为油用萝卜-玉米处理>豌豆-玉米处理>单作玉米(CK)>大豆-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理>红小豆-玉米处理。绿肥播种前土壤水解性氮含量为 144.5 mg·kg⁻¹ 左右,不同绿肥作物盛花期土壤水解性氮含量均上升(206.7~344.8 mg·kg⁻¹),至玉米收获后土壤水解性氮含量稳定在 213.0~225.6 mg·kg⁻¹ 之间。

总体来看,两个时期豌豆处理的全氮含量均高于单作玉米(CK),且玉米收获后豌豆-玉米处理下的土壤全氮含量显著高于其他处理,较单作玉米(CK)增加 9%,油用萝卜-玉米次之(较 CK 增加 5%)。

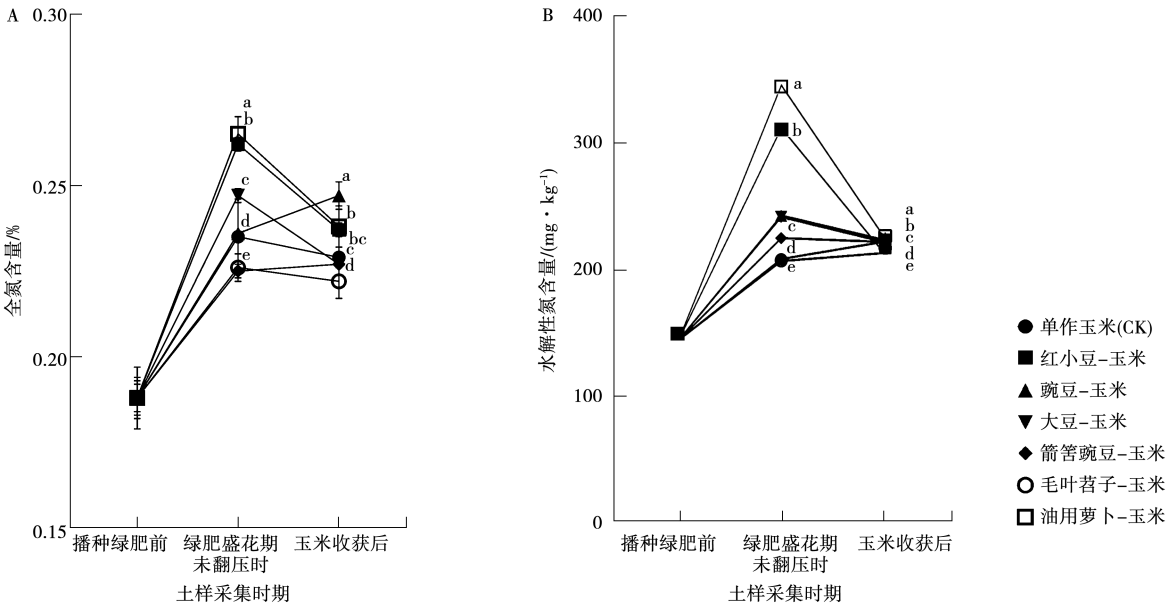


图 3 不同绿肥套种玉米模式对土壤全氮(A)和水解性氮含量(B)的影响

2.3.4 全磷及有效磷含量 由图 4A 可知,绿肥套种玉米情况下,绿肥盛花期末翻压时土壤全磷含量由高到低排序为豌豆-玉米处理>大豆-玉米处理>油用萝卜-玉米处理>红小豆-玉米处理>单作玉米(CK)>箭筈豌豆-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理;玉米收获后土壤全磷含量由高到低排序为油用萝卜-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理>

单作玉米(CK)>豌豆-玉米处理>大豆-玉米处理>红小豆-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理。绿肥播种前土壤全磷为 0.64 g·kg⁻¹ 左右,不同绿肥作物盛花期土壤全磷含量除毛叶苕子-玉米处理外均上升,至玉米收获后土壤全磷稳定在 0.58~0.81 g·kg⁻¹ 之间。

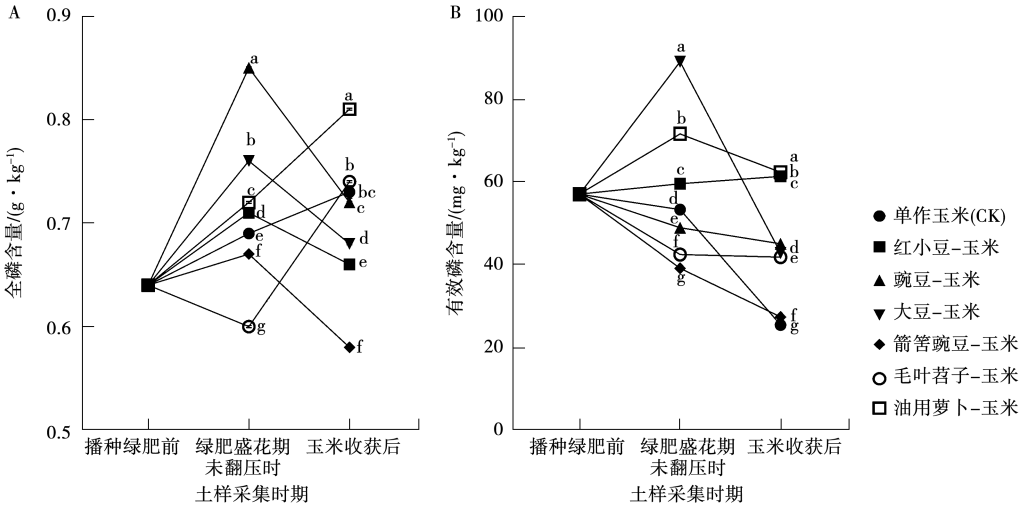


图 4 不同绿肥套种玉米模式对土壤全磷(A)和有效磷含量(B)的影响

由图 4B 可知,绿肥盛花期末翻压时,土壤有效磷含量由高到低排序为大豆-玉米处理>油用萝卜-玉米处理>红小豆-玉米处理>单作玉米(CK)>豌豆-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理;玉米收获后土壤有效磷含量由高到低排序为油用萝卜-玉米处理>红小豆-玉

米处理>豌豆-玉米处理>大豆-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理>单作玉米(CK)。绿肥播种前土壤有效磷为 57.0 mg·kg⁻¹ 左右,不同绿肥作物盛花期有效磷为 39.1~71.6 mg·kg⁻¹,其中箭筈豌豆-玉米(39.1 mg·kg⁻¹)、毛叶苕子-玉米(42.4 mg·kg⁻¹)、豌豆(48.9 mg·kg⁻¹)

的土壤有效磷含量较前期有不同程度降低,至玉米收获后土壤有效磷稳定在 $25.4 \sim 62.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。

总体来看,多数绿肥可改良土壤全磷含量,油用萝卜-玉米处理效果最佳,玉米收获后油用萝卜-玉米处理下的土壤全磷含量显著高于其他处理,较 CK 增加 20%,毛叶苕子处理次之(较 CK 增加 9%)。

2.3.5 全钾及速效钾含量 由图 5A 可知,绿肥套种玉米情况下,绿肥盛花期未翻压时土壤全钾含量由高到低排序为油用萝卜-玉米处理>大豆-玉米处理>豌豆-玉米处理>红小豆-玉米处理>单作玉米(CK)>箭筈豌豆-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理;玉米收获后土壤全钾含量由高到低排序为红小豆-玉米处理>豌豆-玉米处理>大豆-玉米处理>单作玉米(CK)>箭筈豌豆-玉米处理>油用萝卜-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理。绿肥播种前土壤全钾为 2.50%左右,不同绿肥作物盛

花期土壤全钾含量为 $2.52\% \sim 2.62\%$,其中油用萝卜-玉米处理(2.62%)土壤全钾含量较前期增加最为明显,至玉米收获后土壤全钾含量在 $2.45\% \sim 2.56\%$ 之间。玉米收获后红小豆-玉米处理下的土壤全钾含量显著高于其他处理,较 CK 增加 3%,豌豆-玉米次之(较 CK 增加 2%)。

由图 5B 可知,绿肥盛花期未翻压时,土壤速效钾含量由高到低排序为大豆-玉米处理>红小豆-玉米处理>单作玉米(CK)>豌豆-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理>油用萝卜-玉米处理;玉米收获后土壤速效钾含量由高到低排序为油用萝卜-玉米处理>红小豆-玉米处理>豌豆-玉米处理>毛叶苕子-玉米处理>大豆-玉米处理>箭筈豌豆-玉米处理>单作玉米(CK)。绿肥播种前土壤速效钾为 $304 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右,不同绿肥作物盛花期速效钾较前期均降低($215 \sim 285 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),至玉米收获后土壤速效钾含量为 $219 \sim 291 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。

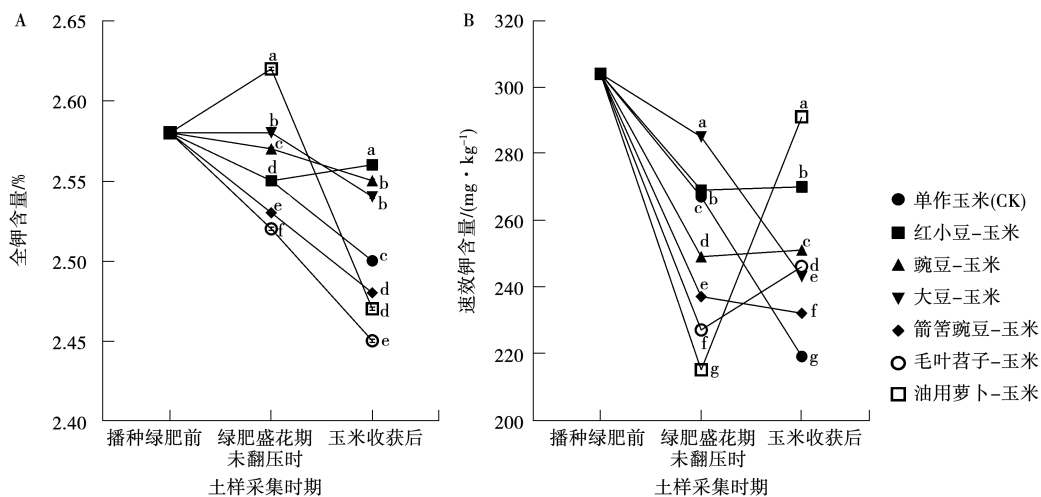


图 5 不同绿肥套种玉米模式对土壤全钾(A)和速效钾含量(B)的影响

综上所述,种植绿肥并翻压还田的处理对土壤(0~20 cm 土层)养分含量普遍起正向作用,并且不同绿肥翻压还田后对土壤(0~20 cm 土层)的改善效果有明显区别。虽然油用萝卜-玉米处理可有效改良土壤,但由于油用萝卜-玉米处理下玉米籽粒减产 22.73%,严重影响主作物生长,不是套种玉米的最佳选择;玉米收获时期,豌豆-玉米处理能提高土壤有机质含量(较 CK 高 $5.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、全氮含量(较 CK 高 $0.018 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、水解性氮含量(较 CK 高 $1.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、有效磷(较 CK 高 $19.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、全钾(较 CK 高 0.05%)和速效钾(较 CK 高 $32.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),有效改善土壤酸碱性(豌豆-玉米处理为 6.42,CK 为 6.23),为改

良土壤养分的首选绿肥套种处理。

3 讨论

3.1 绿肥还田利用方式对作物产量的影响

绿肥与主作物复合种植的栽培模式能够增加主作物产量、提高地表生物覆盖率,提升生物多样性^[19]。前人对于绿肥与主作物复合种植的栽培模式的研究表明,毛叶苕子翻压还田可使小麦增产 $18.4\% \sim 27.6\%$ ^[20];紫云英与秸秆翻压还田可有效缓解稻田土壤酸化并且对水稻产量有正向影响^[21];油菜和紫花苜蓿翻压还田后对土壤理化性质有明显改善,同时明显提高有机高粱的产量^[22]。本研究中,毛叶苕子和大豆绿肥还田处理

下,玉米的产量较玉米单作对照高 3.03% 与 0.76%,说明合理种植绿肥并翻压还田可以对玉米起到增产作用,这与李可心等^[23]和 Pál 等^[24]的研究结果相一致。然而油用萝卜套种玉米处理,玉米籽粒产量为 $7\,846.15\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较对照减产 22.73%,而油用萝卜地上鲜重和地上干重均显著高于其他处理,这可能是由于油用萝卜发苗太快,翻压过晚,影响套种玉米的发育。但油用萝卜套种玉米处理对于土壤的有机质、全氮、水解性氮、全磷、有效磷和速效钾含量均有显著改善,并且在种植过程中,2023 年绿肥和玉米播种期都过晚,除油用萝卜和豌豆外,其他绿肥未达到盛花期,生物产量较低。下一步应适当调整绿肥的种植与收获时期,在保证玉米增产的情况下,探索运用绿肥改良土壤的最佳搭配,并可适当减施化肥,探究在减施化肥的情况下翻压绿肥对玉米产量与品质的影响。

3.2 绿肥还田利用方式对土壤理化性质的影响

玉米套种绿肥不仅可以增加土壤的覆盖率,防治风沙扬尘,而且可以有效改善土壤环境^[25]。本研究表明,相较于绿肥播种前,绿肥盛花期未翻压时的土壤(0~20 cm)有机质含量平均提升了 6%,这与史桂芳^[26]的研究结果一致,可能是因为绿肥翻压还田后,在保持水土的同时,减少了养分的淋溶流失,使得土壤肥力较未翻压绿肥有了一定的提升。多个研究表明,种植并翻压绿肥可以增加土壤氮磷钾等养分的积累^[27-28],本研究结果显示,豌豆绿肥能够很好地适应该地域的生态环境,地上鲜重达 $38\,913.58\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,与空白对照相比,该处理翻压腐解后的土壤(0~20 cm)有机质、全氮和全钾含量较对照增加了 11%、9% 和 2%,差异达显著水平,可能是绿肥生长特性影响根表的养分浓度,对依靠扩散迁移到根表的养分有效性具有决定性影响^[6]。与此同时,受试土壤在试验前为闲置状态,土壤养分较低,因此土壤各指标在短期内得到显著提高,并且试验周期为半年,所以仍需探索在长期实施绿肥与玉米套种的模式下对于土壤养分的影响,以及不同绿肥对土壤养分的影响差异及机制。

4 结论

本试验中不同绿肥套种玉米对玉米的产量影响不同,玉米产量最高的为毛叶苕子套种玉米处理,毛叶苕子地上鲜重为 $37\,234.57\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,地上干重为 $5\,219.80\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,玉米籽粒产量为 $10\,461.54\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较对照增产 3.03%。与此同时,毛叶苕子处理的经济效益最高,较对照增

收 0.70%,为绿肥套种玉米的最优组合。土壤指标普遍有改良的趋势,其中玉米收获时期豌豆套种玉米处理对土壤(0~20 cm 土层)质量改善最明显,其有机质、全氮、全钾、pH、水解性氮、有效磷和速效钾分别为 $58.60\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0.25%、2.55%、6.42、 $223.30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $45.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $251.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,较对照分别增加 11%、9%、2%、3%、1%、78% 和 15%。

参考文献:

- [1] 岳芸莹,丁婷婷,段廷玉.绿肥对主作物农艺性状、病虫害及土壤的影响[J].草业科学,2023,40(8):2058-2071.
- [2] 杜青峰,王党军,于翔宇,等.玉米间作夏季绿肥对当季植物养分吸收和土壤养分有效性的影响[J].草业学报,2016,25(3):225-233.
- [3] 苏港,王怡针,葛均筑,等.绿肥油菜还田时期对不同施氮量下春玉米产量和土壤养分的影响[J].华北农学报,2022,37(2):121-131.
- [4] 梁丽妮,郭晓光,廖星,等.适宜茶园套种的绿肥型油菜资源筛选及初步应用[J].中国油料作物学报,2019,41(6):825-834.
- [5] 赵秋,张新建,宁晓光.华北冬绿肥作物养分累积特征及对翻压前土壤养分的影响[J].中国土壤与肥料,2022(5):61-67.
- [6] 李珺昭,李寒松,蔡艳,等.氮肥减施下种植并翻压冬季绿肥对玉米籽粒品质的影响[J].四川农业大学学报,2023,41(3):393-398,415.
- [7] 孟鹏飞,郭涛,刘文.基于植物-土壤反馈的不同绿肥驯化微生物对玉米生长的影响[J].微生物学通报,2023,50(3):1111-1122.
- [8] 罗跃,张久东,周国朋,等.河西绿洲灌区间作绿肥及其不同利用方式对玉米产量及土壤肥力的提升效应[J].植物营养与肥料学报,2022,28(3):402-413.
- [9] SU G, ZHAO R, WANG Y Z, et al. Green manure return strategies to improve soil properties and spring maize productivity under nitrogen reduction in the North China Plain[J]. Agronomy, 2022, 12(11): 2734.
- [10] 金慧,张睿,赵海滨,等.肥饲兼用型箭筈豌豆新品种科合 401[J].中国种业,2024(3):144-146.
- [11] NURSE R E, MENSAH R, ROBINSON D E, et al. Adzuki bean [*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi], oilseed radish (*Raphanus sativus* L.), and cereal rye (*Secale cereale* L.) as living mulches with and without herbicides to control annual grasses in sweet corn (*Zea mays* L.)[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2019, 99(2): 152-158.
- [12] RISI F G E, HÜTHER C M, RIGHI C A, et al. Sustainability analysis of nitrogen use efficiency in soybean-corn succession crops of Midwest Brazil[J]. Nitrogen, 2024, 5(1): 232-253.
- [13] 常单娜,陈子英,韩梅,等.毛叶苕子磷获取特征及根际特性的基因型差异[J].草业学报,2024,33(4):122-134.
- [14] 翟长敏,吴清红,万文勇.黔东南山区幼龄蓝莓套种红小豆栽培技术[J].种业导刊,2023(3):36-38.
- [15] YANG L, LUO Y, LU B L, et al. Long-term maize and

- pea intercropping improved subsoil carbon storage while reduced greenhouse gas emissions[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2023, 349: 108444.
- [16] YANG D Y, WANG X MM, FEN H P. Effects of summer catch crops and green manure application on soil environment of new greenhouse [C]//International Society for Horticultural Science, Chinese Society for Horticultural Science, Korean Society for Horticultural Science, Japanese Society for Horticultural Science. The Second Asian Horticultural Congress Program & Abstracts, 2016: 1.
- [17] SASTRE C, ROYANO L, CIRIA C, et al. Sunn hemp, a promising leguminous energy crop as inter-cropping system; preliminary results for Spain [C]. The 26th European Biomass Conference and Exhibition, 2018.
- [18] 程永钢, 金辉, 郑晋山, 等. 间作绿肥对盐碱地土壤改良及青贮玉米产量的影响[J/OL]. *农业资源与环境学报*, 1-15 (2023-06-18) [2024-07-08]. <https://doi.org/10.13254/j.jare.2023.0618>.
- [19] POTT L P, AMADO T J C, SCHWALBERT R A, et al. Effect of hairy vetch cover crop on maize nitrogen supply and productivity at varying yield environments in Southern Brazil [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 759: 144313.
- [20] 王国瑞, 张松茂, 胡发龙, 等. 绿洲灌区春小麦产量和氮素利用率对绿肥还田量的响应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2021, 27(7): 1164-1172.
- [21] 刘芳禧, 方畅宇, 庾振宇, 等. 绿肥、秸秆和石灰联用对红壤性水稻土酸度特征和水稻产量的影响[J/OL]. *土壤学报*: 1-13 (2023-09-20) [2024-07-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.p.20230920.0907.004.html>.
- [22] 徐再德. 种植绿肥对土壤及有机高粱种植的作用探讨[J]. *种子科技*, 2020, 38(8): 74-75.
- [23] 李可心, 王光美, 张晓冬, 等. 毛叶苕子对滨海盐碱地土壤活性有机碳和后茬玉米产量的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2023(3): 405-416.
- [24] PÁL V, ZSOMBIK L. Effect of common vetch (*Vicia sativa* L.) green manure on the yield of corn in crop rotation system [J]. *Agronomy*, 2023, 14(1): 19.
- [25] 于淑慧, 朱国梁, 牟小翎, 等. 花生与绿肥轮作对土壤含水量和土壤肥力的影响[J]. *中国农学通报*, 2024, 40(8): 74-79.
- [26] 史桂芳, 董浩, 朱国梁, 等. 绿肥还田条件下化肥减施对土壤性状及花生产量的影响[J]. *山东农业科学*, 2020, 52(11): 65-68, 79.
- [27] ANUGROHO F, KITOU M, NAGUMO F, et al. Potential growth of hairy vetch as a winter legume cover crops in subtropical soil conditions [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2010, 56(2): 254-262.
- [28] 卢小露, 蔚玉红, 樊静华, 等. 绿肥还田对土壤改良及哈密瓜产量和品质的影响[J]. *上海蔬菜*, 2024(2): 51-53, 75.

Effects of Intercropping Different Green Manure Crops on Maize Yield and Soil Nutrients

DU Ruonan¹, ZHANG Rui¹, ZHAO Haibin¹, JIN Hui¹, ZHANG Jumei¹, YANG Xue¹, GAO Qiang², CHANG Danna³

(1. Institute of Forage and Grassland Sciences, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Horticultural Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150069, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory of Efficient Utilization of Arid and Semi-arid Arable Land in Northern China, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to screen suitable green manure crops for planting in Heilongjiang Province that have good intercropping effects with maize, this experiment selected six types of manure crops, including red adzuki beans, peas, soybeans, common vetch, villose vetch, and oil radish, to intercrop with maize in Hailun City, Heilongjiang Province in 2023, investigated the changes in soil available nutrients and aboveground biomass yield under intercropping mode. The results showed that planting green manure can promote the growth of subsequent crop maize and had a significant improvement effect on soil nutrients. The effects of intercropping maize with different green manure on maize yield and soil nutrients vary. The optimal combination of intercropping villose vetch with maize was found to have a fresh aboveground weight of 37 234.57 kg·ha⁻¹, a dry aboveground weight of 5 219.8 kg·ha⁻¹, and a maize grain yield of 10 461.54 kg·ha⁻¹, an increase of 3.03% compared to the control; The economic benefit was 10 424.00 yuan·ha⁻¹, an increase of 0.70% in income compared to the control group; The intercropping of peas and maize significantly improved soil quality (0–20 cm), with organic matter, total nitrogen, total potassium, pH, hydrolysable nitrogen, available phosphorus, and available potassium at 58.60 g·kg⁻¹, 0.25%, 2.55%, 6.42, 223.30 mg·kg⁻¹, 45.00 mg·kg⁻¹ and 251.00 mg·kg⁻¹ respectively, increased by 11%, 9%, 2%, 3%, 1%, 78% and 15% compared to the control group.

Keywords: green manure; soil improvement; maize; interplant; soil nutrients