

基于多元线性回归研究有机肥替代对土壤养分及产量的影响

杨忠赞¹, 迟凤琴^{1,2*}, 隋虹均³, 匡恩俊², 张久明², 宿庆瑞², 张一雯¹, 刘亦丹¹

(1. 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 哈尔滨 150086; 3. 东北大学文法学院, 沈阳 110169)

摘要:以黑土为试验对象, 基于多元线性回归研究单施化肥、单施有机肥和不同比例有机肥替代对土壤养分和作物产量的影响。结果表明: 适度有机肥替代可缓解土壤酸化, 与单施化肥相比, 由于“正激发效应”的影响, 短期内有机肥替代提升土壤有机质含量不明显; 有机肥替代能提高土壤速效钾和全氮含量, 与单施化肥相比, 提升土壤全磷和全钾效果不明显。有机肥替代显著影响土壤的养分状况, 提高作物产量, 且随着有机肥替代化肥比例的增加, 土壤养分有先升高后降低的现象, 单施有机肥短期内会降低作物产量。有机肥替代氮肥减施 30% (OM₇₀) 较为合适, 既能促进作物增产, 又能改善土壤养分状况。

关键词:黑土; 有机肥替代; 土壤养分; 产量

中图分类号: S153

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)02-0037-06

Effects of Organic Fertilizer Substitution on Soil Nutrients and Yield Based on Multiple Linear Regression

YANG Zhongzan¹, CHI Fengqin^{1,2*}, SUI Hongjun³, KUANG Enjun², ZHANG Jiuming², SU Qingrui²,

ZHANG Yiwen¹, LIU Yidan¹

(1. College of Resources and Environment, The Northeast Agricultural University, Harbin 150030; 2. Institute of Soil Fertility and Environmental Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Plant Nutrition and Soil Environment of Heilongjiang Province, Harbin 150086; 3. School of Humanities and Law, Northeast University, Shenyang 110169, China)

Abstract: In this study, the effects of chemical fertilizer application, organic fertilizer application and organic fertilizer substitution on soil nutrients and crop yield in black soil were studied based on multiple linear regression. The results showed that moderate organic fertilizer replacement could alleviate soil acidification. Compared with single chemical fertilizer application, organic fertilizer replacement did not improve soil organic matter content significantly in the short term due to the influence of "positive excitation effect". Organic fertilizer replacement could increase soil available K and total N contents, but the effect of soil total P and total K was not obvious compared with chemical fertilizer application alone. Substitution of organic fertilizer significantly affected soil nutrient status and improved crop yield. With the increase of the proportion of organic fertilizer substituted for chemical fertilizer, soil nutrients increased first and then decreased, and application of organic fertilizer alone would reduce crop yield in the short term. Organic fertilizer was suitable to replace nitrogen fertilizer by 30% (OM₇₀), which could not only promote crop yield, but also improve soil nutrient status.

Key words: Black soil; Partial replacement of chemical fertilizer; Soil nutrient content; Yield

收稿日期: 2019-02-22

基金项目: 黑龙江省农业科学院农业科技创新跨越工程 (HNK2019CX13); 黑河市绿色农业发展合作项目 (KJTJ-2019-02HH-03)

作者简介: 杨忠赞(1994-), 男, 在读硕士, 从事土壤肥力研究。

通讯作者: 迟凤琴, 女, 博士, 研究员, E-mail: fqchi2013@163.com

农业农村部发布的《农业综合开发区域生态循环农业项目指引(2017-2020)》指出, 我国需要集中力量推进区域生态循环农业建设, 有机肥替

代是解决上述需求的途径之一,既实现化肥减施,又推进资源节约型、环境友好型社会和农业发展。对于有机肥替代的问题,相关研究多数从作物产量和氮素利用率上确定有机肥替代化肥减施比例,且替代比例不统一,多为有机肥替代25%化肥氮^[1-2],30%有机肥+70%无机肥^[3],氮磷钾肥+有机肥(氮素施用量翻倍)^[4]。从最终作物产量上确定有机肥替代化肥减施量毋庸置疑,然而从氮素利用率上确定有机肥替代比例是否忽略大气氮的生物固定和沉降等因素有待商榷。适度有机肥替代可改善土壤物理性状^[5]和生物性质^[6-7]。本文选取玉米拔节期和收获后,分析有机肥替代对土

壤化学性质影响,采用多元线性回归,从分析不同施肥处理对土壤养分变化的角度研究随着有机肥替代化肥比例提高土壤养分的变化状况,推荐既可实现有机肥替代使作物增产,又能使土壤具有良好养分的有机肥替代比例。

1 材料与方法

1.1 试验地点

大田试验开始于2018年,试验设在黑龙江省嫩江县中储粮北方公司四场科技园区(东经124°44'30"~126°49'30",北纬48°42'35"~51°00'05"),年均气温0.1℃,无霜期105d,年平均降水量570

表1 试验地点土壤理化性质

地点	土层(cm)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	pH
嫩江	0~20	37.05	2.31	0.89	27.1	186.19	40.03	167.7	6.1

mm,年蒸发量719mm,有效积温2571.2℃·d。土壤理化性质见表1。

1.2 供试材料

种植作物为玉米,品种为屯玉188。有机肥由七星泡农场提供,pH值为6.9,有机质含量为213g/kg,全氮磷钾含量分别为:5.8g/kg、3.9g/kg、16g/kg,有机肥施用量1500kg/hm²。化肥为磷酸

二铵(P₂O₅ 46%,N 18%),尿素(N 46%),硫酸钾(K₂O 50%),化肥施用量按当地常规用量。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

共设6个处理,分别为不施肥(CK)、单施化肥(NPK)、单施有机肥(OM)、有机肥+化肥(OM₁₀₀)、有机肥+氮肥减氮30%(OM₇₀)、有机肥+氮肥减氮50%(OM₅₀)。每个处理3次重复,

表2 试验方案设计

编号	处理	化肥施肥量		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	不施肥	0	0	0
NPK	化肥	65.6	73.6	30
OM	有机肥	0	0	0
OM ₁₀₀	有机肥+化肥(氮肥不减)	65.6	73.6	30
OM ₇₀	有机肥+化肥(氮肥减氮30%)	45.9	73.6	30
OM ₅₀	有机肥+化肥(氮肥减氮50%)	32.8	73.6	30

共18个小区,小区面积28m²,氮总量70%做基肥,30%做追肥,NPK处理化肥施用量为当地习惯施肥量。各处理化肥实际氮、磷、钾投入量见表2。

1.3.2 土壤采样

在拔节期和收获后,在每个小区取0~20cm土样,土壤化学养分的测定采用“S”形法取样,3次重复,田间采集的土壤样品装入硬质塑料盒中,确保在运输过程中不受挤压,室温风干后,用手轻轻地把土块沿自然结构面掰开,除去粗根和小石块,磨土后筛出2mm和0.149mm土样测定pH、速效养分、全量养分和有机质。

1.3.3 测定项目及方法

土壤pH采用pH计测定,土壤有机质采用高温外热重铬酸钾氧化-滴定法测定,土壤全氮采用半微量开氏法测定,土壤速效氮采用碱解扩散法,土壤全磷采用酸溶-钼锑抗比色法,土壤速效磷采用碳酸氢钠法,土壤全钾采用氢氧化钠熔融法,土壤速效钾采用乙酸铵提取法^[8]。

1.4 研究方法

采用Excel 2016进行数据处理,采用SPSS 20.0进行单因素方差分析(One-wayANOVA)、Duncan's多重比较、多元线性回归等分析。

Z-score 标准化(式1)是一种可以看出某分数在分布中相对位置的方法,也用于消除数据间量纲影响。在多要素的地理系统中,多个要素之间存在着相互影响、相互关联的情况。当因变量与各自变量之间为线性关系时,称为多元线性回归。多元线性回归分析确定的负相关系数R(式2)、显著性检验F值(式3)和回归系数可以进行共线性检验,即VIF(式4),一般认为VIF>10时,存在严重的多重共线性,为此进行主成分回归(式5)。主成分回归从数学角度看是一种降维技术,能更好代表原有指标信息。若显著性检验F值大于置信度水平0.05时的F检验临界值,则表明多要素之间具有显著影响,反之则反。本研究利用SPSS 20.0软件以拔节期和收获后土壤养分和作物产量为原始数据进行Z-score 标准化处理,首先对标准化土壤养分进行主成分回归,消除多重共线性,以标准化作物产量为因变量、土壤养分聚合因子为自变量进行多元线性回归分析。通过主成分回归计算出对作物产量有显著影响聚合因子的得分系数(旋转后因子载荷除以相对应的特征值算术平方根)及方差贡献率。运用归一法,求出因子权重(式6)和土壤养分含量得分(式7),计算出各处理土壤总养分得分(式8)。

$$x^* = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \dots\dots\dots(1)$$

式中, x^* 为标准化后的数据, x 为原始数据, \bar{x} 为原始数据的均值, σ 为原始数据的标准差。

$$R_{y \cdot 123 \dots k} = \sqrt{1(r_{y1}^2)(r_{y2}^2) [1r_{yk12(k1)}^2]} \dots\dots\dots(2)$$

$$F = \frac{U/k}{Q/(n - k - 1)} \dots\dots\dots(3)$$

$$VIF_{y \cdot 123 \dots k} = \frac{1}{1 - R_{y123k}^2} \dots\dots\dots(4)$$

式中, $R_{y \cdot 123 \dots k}$ 为复相关系数, $r_{yk \cdot 12 \dots (k-1)}$ 为偏相关系数, F 为显著性检验值, U 为回归平方和, Q 为剩余平方和, $VIF_{y \cdot 123 \dots k}$ 为方差扩大因子, k 为自变量个数。

$$X = AF + \varepsilon \dots\dots\dots(5)$$

式中, $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$ 是观测变量向量, A 是因子载荷矩阵, $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$ 是分向量相互独立公共因子向量, $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p)$ 是特殊因子向量。

$$W_{aj} = \frac{L_{aj}}{\sum_{j=1}^n L_{aj}} \dots\dots\dots(6)$$

$$U_{ai} = \sum_{j=1}^n W_{aj} \times X_{ij} \times C_a \dots\dots\dots(7)$$

$$U_i = \sum_{a=1}^n U_{ai} \dots\dots\dots(8)$$

式中, W_{aj} 为第 a 个聚合因子第 j 个土壤养分含量的权重; L_{aj} 为第 a 个聚合因子 j 指标的载荷。 U_{ai} 为第 a 个聚合因子第 i 处理土壤养分指标得分, X_{ij} 为 i 处理 j 个土壤养分含量的标准化数据, C_a 为多元线性回归中第 a 个聚合因子的标准系数。 U_i 为第 i 个处理总土壤养分指标得分, $a=1,2,3 \dots, n$, 为第 a 个对作物产量有显著影响的聚合因子, $j=1,2,3 \dots, m$, 为第 j 个标准化的土壤养分指标, $i=1,2,3 \dots, f$, 为第 i 个试验处理。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理土壤 pH 值的变化

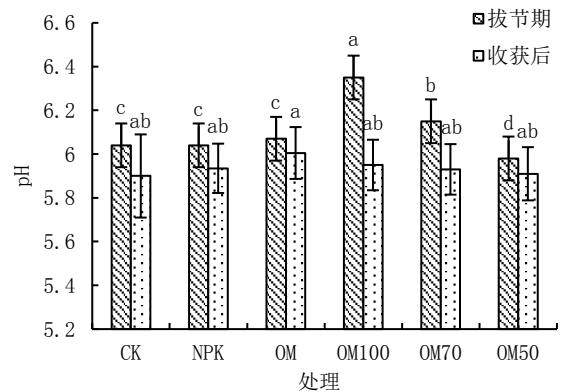


图1 不同时期不同施肥处理土壤 pH 值

自然条件下土壤酸碱性主要受土壤盐基状况支配,有机肥施入土壤发生化学变化,也会影响土壤 pH 值。由图1可知,拔节期处理 OM_{100} 和 OM_{70} pH 值较高。在收获后,均稳定在 5.9 ~ 6.0。

2.2 不同施肥处理对土壤有机质含量的影响

由图2可知,不同时期各处理土壤有机质含量不同,且变化趋势也不同。有机肥处理在拔节期和收获后,土壤有机质含量均低于单施化肥处

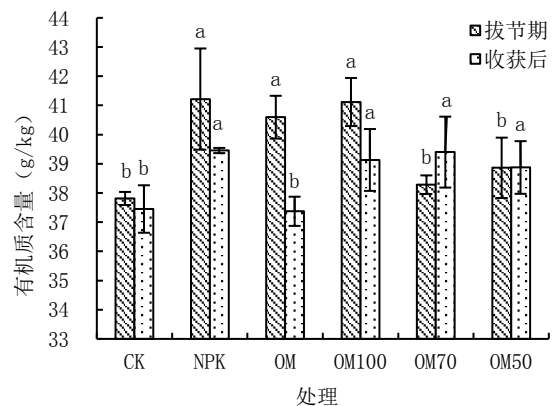


图2 不同施肥处理对土壤有机质的影响

理(NPK)。在拔节期,对照处理有机质含量最低;与NPK处理相比,OM₅₀、OM₇₀处理降低5.7%和7.1%,NPK处理有机质含量最高,单施化肥和单施有机肥处理有机质含量无显著性差异,收获后各处理有机质含量大小为:NPK>OM₇₀>OM₁₀₀>OM₅₀>CK>OM。说明短期内与单施化肥相比,施入有机肥提升有机质含量不明显。

2.3 不同施肥处理对土壤速效养分的影响

由图3、图4、图5可知,拔节期各处理碱解氮含量为:OM>OM₁₀₀>OM₇₀>CK>OM₅₀>NPK,说明有机肥替代可提高土壤拔节期碱解氮含量;在有效磷

上,部分有机肥替代(OM₁₀₀、OM₇₀)要大于单施化肥处理(NPK);在速效钾上,与NPK处理相比,OM₅₀和OM₇₀处理呈下降现象,分别下降8.3%和11.2%,OM₁₀₀则高于NPK处理的速效钾含量。

收获后(图3、图4、图5),在速效养分上,NPK处理碱解氮含量最高,高于对照处理7.7%,OM处理含量最低;有机肥替代各处理中,OM₅₀处理含量较高,比对照高6.5%。在有效磷上,各处理稳定在40 mg/kg左右。在速效钾上,与对照相比,有机肥替代处理均呈提高状态,有机肥替代OM₅₀、OM₇₀、OM₁₀₀处理分别提升7.5%、7.8%、9.1%。

2.4 不同施肥处理对全量养分的影响

全量养分是土壤中各种形态氮磷钾养分的总量,是土壤养分的“库”,对土壤养分供应起重要作用。从拔节期来看(表3),在全氮上,各个处理全氮含量达到显著性差异,与NPK处理相比,OM₅₀、OM₁₀₀处理分别增加19.4%、24.2%,拔节期全氮含量各处理含量大小为:OM₁₀₀>OM₅₀>OM>OM₇₀>NPK>CK,说明单施有机肥和有机肥替代能提高土壤全氮含量;从全磷上看,OM₁₀₀处理含量最高,比NPK处理高出12.5%;在全钾上,NPK处理含量最低,与NPK处理相比,处理OM₅₀、OM₁₀₀分别增加10.2%、15.3%,OM处理则增加11.76%。从收获后看(表3),在全氮上,各处理间呈显著性差异,与对照相比,各有机肥替代处理中增加量为23.5%~31.8%;与NPK处理相比,各有机肥替代处理增加3.3%~10.3%,各处理全氮含量大小为:OM₇₀>OM₁₀₀>OM₅₀>OM>NPK>CK,说明适度施用有机肥

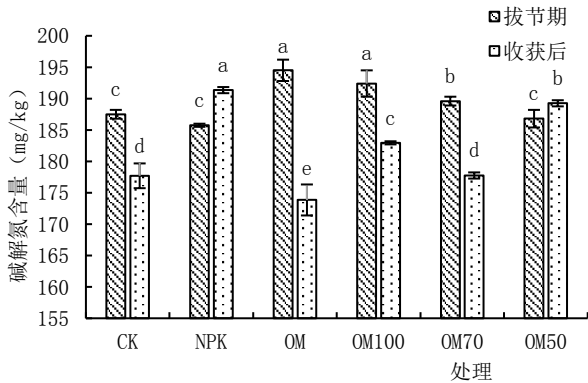


图3 不同处理对碱解氮含量的影响

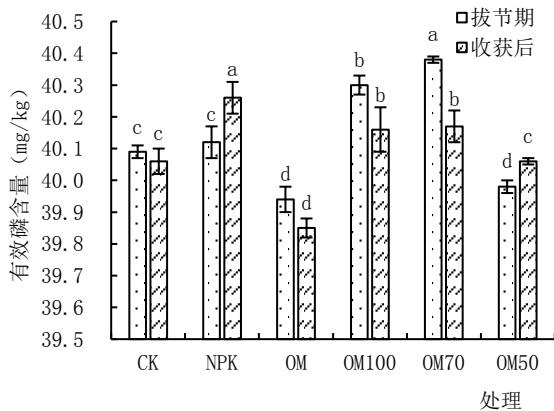


图4 不同处理对有效磷含量的影响

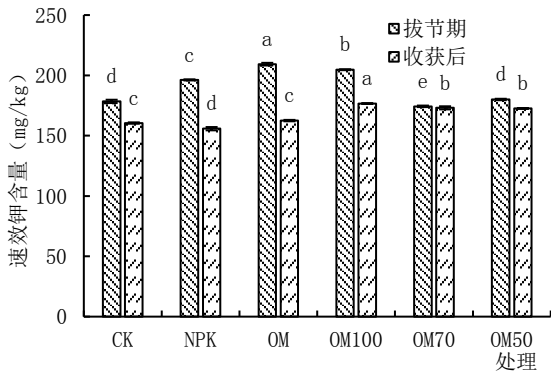


图5 不同处理对速效钾含量的影响

表3 不同施肥处理对全量养分的影响 g/kg

处理	时期	全氮	全磷	全钾
CK	拔节期	1.80±0.20f	0.82±0.05c	26.20±0.57d
NPK	拔节期	2.11±0.11e	0.80±0.04d	25.50±0.38e
OM	拔节期	2.31±0.14c	0.82±0.10c	28.60±0.89b
OM ₁₀₀	拔节期	2.62±0.05a	0.90±0.09a	29.40±0.51a
OM ₇₀	拔节期	2.18±0.09d	0.78±0.05e	26.10±0.86d
OM ₅₀	拔节期	2.52±0.10b	0.85±0.03b	28.10±0.34c
CK	收获后	1.79±0.12f	0.75±0.06d	25.90±0.43e
NPK	收获后	2.07±0.13e	0.80±0.07b	29.00±0.36a
OM	收获后	2.14±0.09d	0.81±0.05ab	27.20±0.51c
OM ₁₀₀	收获后	2.26±0.10b	0.82±0.06a	26.30±0.81d
OM ₇₀	收获后	2.36±0.08a	0.80±0.06b	28.00±0.46b
OM ₅₀	收获后	2.21±0.05c	0.78±0.04c	29.00±0.67a

替代可增加土壤全氮含量。在全磷上,有机肥替代和NPK、OM处理相比,差异不显著。在全钾上,有机肥替代OM₅₀处理和NPK含量高于其他处

表4 不同施肥处理的玉米产量

处理	百粒重(g)	玉米产量(kg/hm ²)
CK	31.1±0.7e	7414.4±5.3d
NPK	37.4±0.9b	8198.8±148.2b
OM	33.6±0.4d	7881.2±147.7c
OM ₁₀₀	38.7±0.3a	8496.7±61.1a
OM ₇₀	36.9±0.3b	8402.9±161.7ab
OM ₅₀	35.6±0.2c	8230.1±25.3b

理,均比对照提高12.0%。

2.5 不同施肥处理对作物产量的影响

由表4可知,不同施肥处理对玉米产量造成不同程度的影响,有机肥替代的玉米产量高于单施化肥和单施有机肥。在百粒重上,OM₁₀₀、OM₇₀要高于单施化肥(NPK),且随着有机肥替代比例的提高,百粒重有减小的现象。单施化肥处理(NPK)与有机肥替代处理(OM₅₀、OM₇₀)相比,在产量上无显著性差异,说明短期内有机肥替代处理呈现维持产量不变或增产现象。

3 基于多元线性回归研究不同处理对土壤养分的影响

不同时期土壤养分含量在不同的施肥处理变化趋势不同,所以不能简单地用一个或几个土壤性质指标进行土壤养分含量及产量的评价,直接利用上述指标进行土壤养分及产量的评价会造成信息重叠,形成偏差,所以采用多元线性回归进行分析。各土壤养分含量指标之间存在共线性关系,方差扩大因子数过大(VIF>10),故将存在共线性关系的土壤养分数据进行主成分回归分析,得出聚合后自变量因子进行多元线性回归分析,见表5。调整R²为87.3%,意义为在用样本量和模型中自变量的个数进行调整后,在玉米产量的取值变差中,能被五个聚合因子的多元线性回归方程所解释的比例为87.3%。第一、二、三、五聚合因子显著性差异为0.014、0.000、0.001、0.002,均小于0.05,表明第一、二、三、五聚合因子对标准化的玉米产量有显著性影响;第四聚合因子显著性差异为0.142,大于0.05,表明第四聚合因子对标准化的玉米产量无显著性影响。该多元线性回归显著性检验F值为19.69,大于置信水平 $\alpha=0.05$ 时F检验临界值($F_{0.05}=3.11$),表明复相关达到显著水平。

通过计算得出不同处理总土壤养分含量得分,见图6。由图6可知,对照处理(CK)得分值最低;有机肥替代处理OM₇₀得分最高,其次为有机肥

表5 多元线性回归分析

聚合因子	标准系数	显著性差异	方差扩大因子
1	0.249	0.014	1.000
2	0.767	0.000	1.000
3	0.355	0.001	1.000
4	0.136	0.142	1.000
5	0.340	0.002	1.000
常量			-1.228E-016
F			19.69
调整R ²			87.3%

注:1、2、3、4、5分别代表第一聚合因子、第二聚合因子、第三聚合因子、第四聚合因子、第五聚合因子

替代处理OM₁₀₀,且有机肥替代处理(OM₇₀、OM₁₀₀)都比单施化肥处理(NPK)得分高,有机肥替代处

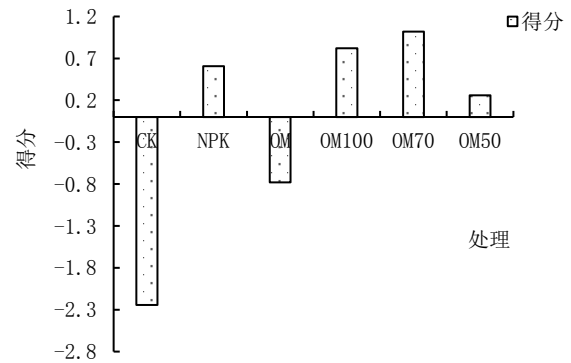


图6 不同处理总土壤养分指标得分

理(OM₅₀)得分低于单施化肥处理(NPK)。说明短期内在拔节期和收获后,适度有机肥替代与单施化肥相比,能提高土壤养分含量,维持或提高作物产量。

依照有机肥替代化肥比例,对单施有机肥、有机肥替代处理(OM₁₀₀、OM₇₀、OM₅₀)的总土壤养分得分进行线性拟合分析,见图7。得分具有非线性关系。由非线性关系可知,随着有机肥替代化

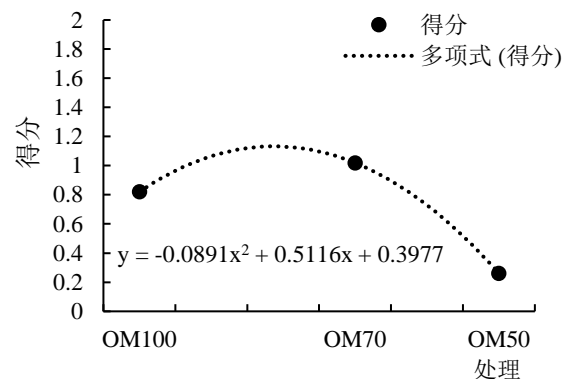


图7 养分得分线性拟合分析

肥比例的提高,土壤养分含量有先上升后降低的

现象,但总体上,对比单施化肥处理(NPK)总土壤养分得分(0.606 4),适度有机肥替代处理在对土壤养分含量影响上,还是要高于单施化肥处理。

4 讨 论

有机肥替代一直是中外学者研究的热点领域。前人研究表明有机肥替代可以促进微生物繁殖^[9-10],提高土壤肥力^[11]。在pH值上,有研究表明与单施化肥相比,单施有机肥和有机肥配施化肥可提高土壤pH^[12],也有研究表明虽然有机肥配施化肥会降低土壤pH,但酸碱缓冲量上升^[13],本试验结果表明,短期内收获后有机肥替代处理(OM₅₀、OM₇₀、OM₁₀₀)的pH值均高于种植前,说明适度有机肥替代处理可缓解土壤酸化。在收获后,有机肥替代处理(OM₅₀、OM₇₀、OM₁₀₀)和单施化肥的pH无显著差异,这可能与外来有机质进入土壤,分解过程中间产物中有机酸较多有关。在土壤有机质上,Lazcano等^[14]在短期高剂量有机肥替代试验中,有机肥替代处理总有机碳含量要低于对照处理;吴长昊^[15]在短期化肥有机替代试验中,有机肥替代处理有机质含量也是低于对照处理;本研究结果与上述结果较为吻合,也出现收获后有机肥替代处理有机质含量提升不明显的现象,究其原因,是由于外来有机物料施入土壤,引起正激发效应,消耗土壤有机质,造成土壤有机质含量下降。在速效养分上,梁元振等^[3]在秋施有机肥的试验中,成熟期有机肥替代处理在有效磷、速效钾含量上均高于单施化肥处理;李静等^[7]在有机肥替代无机肥的试验中,收获后各处理碱解氮含量差异显著,有效磷和速效钾在各处理间无显著差异,本研究结果在拔节期有机肥替代处理(OM₅₀、OM₇₀、OM₁₀₀)要比单施化肥碱解氮含量高,可能与外来有机物料进入土壤,进行矿化和氨化作用有关^[16];单施化肥处理速效钾含量要高于有机肥替代处理OM₅₀、OM₇₀,而低于有机肥替代处理OM₁₀₀,这与土壤酸碱度影响土壤钾的固定有关。在收获后,有机肥替代处理(OM₅₀、OM₇₀、OM₁₀₀)碱解氮含量低于单施化肥处理,可能与外来有机物料进入土壤,微生物大量繁殖^[9-10]争抢氮素有关,各处理速效磷含量无显著性差异;有机肥替代处理(OM₅₀、OM₇₀、OM₁₀₀)速效钾含量要高于单施化肥处理,说明有机肥替代可提高土壤收获后速效钾含量。对于拔节期和收获后,各处理有效磷含量差异不大,原因可能是有机肥只替代氮肥,没有替代磷肥。在全量养分上,温延臣等^[17]

在三年的商品有机肥替代化肥的试验中,有机肥替代化肥土壤全氮呈增加趋势,与不施肥和单施化肥相比,未表现出显著性差异;马蓓等^[18]在第三年有机肥替代部分氮肥的试验中,认为有机无机肥配施的全氮含量增长较快,本试验结果为拔节期和收获后,有机肥替代处理(OM₅₀、OM₇₀、OM₁₀₀)全氮含量高于单施化肥处理,研究结果与上述两个试验结果相同。在拔节期和收获后,土壤全磷各处理无显著差异;有机肥替代处理在收获后全钾含量出现显著差异,这可能与在外源有机物进入土壤提高阳离子交换量,减少钾固定量,供植物吸收利用有关。在产量上,前人证明有机肥替代能提高作物产量^[19],本试验表明,短期内有机肥替代处理(OM₅₀、OM₇₀、OM₁₀₀)能够维持或提高作物产量。基于多元线性回归可知,短期内在拔节期和收获后,有机肥替代处理(OM₇₀、OM₁₀₀)与单施化肥处理相比,能提高土壤养分含量,进而维持或提高作物产量。随着有机肥替代化肥比例的提升,对土壤养分含量有先升高后降低的现象。

5 结 论

有机肥替代可缓解土壤酸化,短期内与单施化肥相比,由于“正激发效应”的影响,有机肥替代不能提升土壤有机质含量,能提高土壤速效钾和全氮含量,与单施化肥相比,提升土壤全磷和全钾效果不明显。基于多元线性回归,适度有机肥替代能提高土壤养分指标,维持或提高作物产量,且随着有机肥替代化肥比例的上升,土壤养分含量有先升高后降低的现象。单施有机肥短期内会造成作物减产,其中有机肥替代氮肥减施30%(OM₇₀)较为合适,既能促进作物增产,又能提高土壤养分含量。

参考文献:

- [1] 吕风莲,候苗苗,张弘毅,等. 壤土冬小麦-夏玉米轮作体系有机肥替代化肥比例研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 22-32.
- [2] 黄志浩,曹国军,耿玉辉,等. 有机肥部分替代氮肥土壤硝态氮动态变化特征及玉米产量效应研究[J]. 玉米科学, 2019, 27(1): 151-158.
- [3] 梁元振,赵京考,吴德亮,等. 秋施有机肥对土壤生物学、理化性状及玉米产量的影响[J]. 水土保持研究, 2017, 24(30): 113-118.
- [4] 黄兴成,李 渝,白怡婧,等. 长期不同施肥下黄壤综合肥力演变及作物产量响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(6): 1484-1491.
- [5] 殷大伟,金 梁,郭晓红,等. 生物炭基肥替代化肥对砂壤土养分含量及青贮玉米产量的影响[J]. 东北农业科学,

表2 低速(2.37 km/h)作业试验结果

测试次数	挖掘深度 (mm)	损失率 (%)	伤根率 (%)	明根率 (%)
1	461	3.9	2.5	98.6
2	460	4.0	1.8	97.8
3	457	4.4	2.3	97.9
平均值	459.3	4.1	2.2	98.1

表3 高速(5.00 km/h)作业试验结果

测试次数	挖掘深度 (mm)	损失率 (%)	伤根率 (%)	明根率 (%)
1	456	9.9	5.1	95.2
2	459	7.8	3.8	96.0
3	455	10.2	4.9	94.7
平均值	456.7	9.3	4.6	95.3

人参收获机高速工作时,平均挖掘深度456.7 mm,平均损失率9.3%,平均伤根率4.6%,平均明根率95.3%,纯工作小时生产率0.8 hm²/h。主要性能指标达到了机具设计和人参收获作业的要求。

上述几种设备是在广泛调研的基础上,充分借鉴韩国的成熟产品并结合我国人参农艺进行的创新研究。人参田间作业全程机械化关键设备的研究,对解放劳动力,实现人参田间作业的高产高效、节本增收有着积极作用,提高了我国人参田间作业的整体机械化水平,缓解了人参规模化种植与缺少适用设备的紧张局面,具有一定的推广应用价值。

参考文献:

[1] 王士杰,姜晓莉,张国锋,等.人参叶面积预测模型建立[J].东北农业科学,2016,41(6):109-112.

[2] 郑乾生.油菜生产机械化装备和配套技术研究[J].农机化研究,2010,32(9):231-234.

[3] 薛纬奇.玉米生产全程机械化技术与装备研究[D].太原:山西农业大学,2016.

[4] 李健,李晓阳,李俊杰,等.一种改进的基于回归分析的人参智能烘干算法[J].吉林农业科学,2015,40(1):100-103.

[5] 陈巧敏,李斯华,王利民,等.主要农作物生产全程机械化水平评价研究[J].农机化研究,2017,39(1):1-5,31.

[6] 刘文亮,刘枫,付家庆,等.人参机械化种植设备的设计研究[J].山西农业科学,2016(10):1537-1540,1545.

[7] 盛江源,马英春.人参栽培和人参的机械播种[J].北京农业工程大学学报,1987,7(2):34-41.

[8] 赵湛.气吸振动式精密排种器理论及试验研究[D].镇江:江苏大学,2009.

[9] 陈立东,何堤,马淑英,等.气吸式排种器排种性能影响因素的试验研究[J].沈阳农业大学学报,2005,36(5):634-636.

[10] F S Sial, S P E Persson. Vacuum nozzle design for seed metering[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(3): 688-696.

[11] 姜彩宇,肖戟,杨光,等.人参移栽机关键部件设计及试验[J].农业与技术,2015,35(9):44-45.

[12] 尚书旗,隋爱娜,张子华.国外钵苗栽植机的几种类型及性能分析[J].粮油加工与食品机械,1998(1):28-30.

[13] 王新阳,张亮,李健,等.人参机械化收获设备的研究[J].南方农机,2016,47(12):27-28.

(责任编辑:王丝语)



2019,44(4):19-24,88.

[6] LI Chun-xi, MA Shou-chen, SHAO Yun et al.Effects of long-term organic fertilization on soil microbiologic characteristics, yield and sustainable production of winter wheat[J].Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(1): 210-219.

(下转第102页)

(上接第42页)

[7] 张毅博,韩燕来,吴名宇.生物炭与有机肥施用对黄褐土土壤酶活性及微生物碳氮的影响[J].中国农学通报,2018,34(13):113-118.

[8] 鲁如坤.土壤农业化肥分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999:12-195.

[9] GU L M, LIU T N, ZHAO J, et al. Nitrate leaching of winter wheat grown in lysimeters as affected by fertilizers and irrigation on the North China Plain[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(2): 374-388.

[10] CAI Z C, QIN S W. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Geoderma, 2006, 136: 708-715.

[11] HUANG S, RUI W Y, PENG X X, et al. Organic carbon fraction

affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 86(1): 153-160.

[12] Singh A, Agrawal M, Marshall F M. The role of organic vs. inorganic fertilizers in reducing phytoavailability of heavy metals in a wastewater-irrigated area[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(12): 1733-1740.

[13] 张永春,汪吉东,沈明星,等.长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响[J].土壤学报,2010,47(3):465-471.

[14] Lazcano C. Gómez-Brandón M, Revilla P, et al. Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function[J]. Biology and Fertility of Soils, 2013, 49(6): 723-733.

[15] 吴长昊.化肥有机替代比例对皖北夏玉米生长、养分吸收及土壤肥力的影响[D].滁州:安徽科技学院,2017.

[16] 黄昌勇,徐建明.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2013:198.

[17] 温延臣,张曰东,袁亮,等.商品有机肥替代化肥对作物产量和土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2018,51(11):2136-2142.

[18] 马蓓.有机肥替代部分氮肥对亚热带稻田土壤肥力与产