

孙勇,曲京博,初晓冬,等.不同施肥处理对黑土土壤肥力和作物产量的影响[J].江苏农业科学,2018,46(14):45-50.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.14.012

不同施肥处理对黑土土壤肥力和作物产量的影响

孙勇¹,曲京博¹,初晓冬¹,刘金明^{1,2},王延鹏¹,许相¹

(1.东北农业大学工程学院,黑龙江哈尔滨 150030; 2.黑龙江八一农垦大学信息技术学院,黑龙江大庆 163319)

摘要:针对东北黑土区土壤肥力下降,耕地土壤质量逐年退化的现状,在黑龙江黑土区进行田间试验,研究不同施肥处理(T₁(有机肥I,含氮1.29%,磷0.32%,钾0.74%,采用牛粪发酵高温堆肥制成)、T₂(有机肥II,含氮1.36%,磷0.31%,钾0.73%,鸡粪羊粪混合发酵堆肥制成)、T₃(微生物菌肥,含氮18.87%,有效菌数≥2 000万CFU/g)、T₄(叶面肥,由植物配方精萃而成,富含有益菌,需稀释200倍)、T₅(化肥,施入N 150 kg/hm²,P₂O₅ 70 kg/hm²,K₂O 75 kg/hm²;尿素266.54 kg/hm²,磷酸二氢152.17 kg/hm²,氯化钾187.50 kg/hm²)对黑土土壤肥力和作物产量的影响,旨在得到缓解东北黑土退化并提升土壤肥力的施肥模式。结果表明:与施肥前相比,施用有机肥I后玉米、大豆土壤容重均降低2.84%,土壤有机质含量分别增加0.79%、0.84%,土壤pH值分别升高0.14、0.06。施用化肥虽可显著提高土壤速效养分含量和产量,但玉米和大豆土壤pH值与施肥前相比分别降低了0.23、0.15。微生物肥和叶面肥在提高土壤全氮含量、缓解土壤酸化、改良土壤容重等方面表现较好。经相关性分析可知,玉米产量与土壤全氮、速效磷、速效钾含量均呈极显著正相关,大豆产量与土壤理化性质无显著的相关关系;经主成分分析得出,玉米土壤在不同施肥处理下土壤质量水平高低依次表现为有机肥I>微生物肥>化肥>有机肥II>叶面肥>CK,大豆土壤在不同施肥处理下土壤质量水平高低依次表现为有机肥I>有机肥II>微生物肥>叶面肥>化肥>CK。由结果可以得出,施用有机肥可明显改善黑土土壤肥力,在短期内施用有机肥并配施微生物肥可缓解东北黑土区退化情况,同时提高黑土土壤肥力。

关键词:东北黑土区;土壤肥力;主成分分析;有机肥;微生物肥;叶面肥;化肥

中图分类号: S156.92 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)14-0045-05

世界仅存的三大黑土之一的东北黑土是我国最肥沃的土壤之一^[1],是东北地区极其重要的农业土壤,黑土中耕地土壤面积约占总面积的65.6%^[2],种植作物主要为玉米、大豆和小麦^[3]。黑土质地较黏重,结构疏松,容重较小,松紧度较为适宜。耕层中容重在1.0 g/cm³左右,pH值为5.5~7.5,腐殖质含量较高,一般为30~60 g/kg^[4]。东北黑土区在长时间的开垦后,由于施肥不当、耕后管理不佳等原因,造成黑土区土壤肥力显著下降、水土流失加剧、黑土耕层变薄,土壤养分库容偏低、土壤酸化现象日益严重^[5]。合理施肥可以培肥土壤,补偿地力不足。然而,大量甚至过量施用化肥会使土壤颗粒分散,土壤的水稳性团粒结构被破坏^[6],造成土壤酸化、板结,同时严重影响农作物的产量及质量。

肥力是土壤所独有的性质,只养或不养或不合理地施肥必然会导致土壤肥力降低。土壤肥力指标包括物理指标和化学指标,如土壤质地、厚度、容重、孔隙度、有机质含量、土壤pH值、阳离子交换量(CEC)、氮(N)磷(P)钾(K)含量等。科学合理地施肥不仅有利于土壤肥力的恢复与提高,而且有助于当季作物高产。根据肥料的来源、性质及其作用机制可分为4类:有机肥、化肥、微生物肥^[7-8]、叶面肥^[7,9]。

收稿日期:2017-03-06

基金项目:国家科技支撑计划子课题(编号:2015BAD21B03-02);黑龙江省青年科学基金(编号:QC2016033);哈尔滨市应用技术与开发项目(编号:2016RAXXJ009)

作者简介:孙勇(1974—),男,黑龙江青冈人,博士,教授,博士生导师,从事生物物质转化与利用研究。E-mail: sunyong740731@163.com。

目前,针对过量施用化肥导致黑土土壤肥力不断下降的问题已有报道^[10-13],但研究多种施肥处理(有机肥、化肥、微生物肥、叶面肥)对黑土的影响很少,而且尚没有形成确定的黑土培肥模式。为此,本试验选择黑龙江省具有代表性的东北农业大学向阳试验基地,通过在黑土区施用不同肥料,种植玉米和大豆2种作物,来研究不同施肥处理对黑土土壤肥力及作物产量的影响,评价不同施肥处理的培肥效果,旨在找到缓解东北黑土退化并提升土壤肥力的施肥模式,为东北黑土培肥并提高作物生产的竞争力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验地位于东北农业大学向阳试验示范基地(地理位置45°46'20"N,126°55'34"E),土壤类型为黑土。试验地所在区域属中温带大陆性季风气候,年平均降水量569.1 mm,年有效积温2 700~3 000℃。供试土壤0~20 cm土层基本理化性质:容重1.305 g/cm³;有机质含量21.30 g/kg;全氮含量1.627 g/kg;速效磷含量25.30 mg/kg;速效钾含量261.80 mg/kg;pH值6.40。供试作物为玉米和大豆,玉米品种为强盛31,大豆品种为东农61。

1.2 试验设计

采取大田试验,试验田面积0.15 hm²,共设置6个处理,以等氮为原则,各处理施氮总量为150 kg/hm²,各处理设3次重复,共18个小区,每小区面积40 m²。各处理分别为对照(CK),不施肥;T₁,有机肥I(含氮1.29%,磷0.32%,钾0.74%),采用牛粪发酵高温堆肥制成;T₂,有机肥II(含氮

1.36%, 磷 0.31%, 钾 0.73%), 鸡粪羊粪混合发酵堆肥制成; T₃, 微生物菌肥(含氮 18.87%), 有效菌数 ≥ 2 000 万 CFU/g; T₄, 叶面肥, 由植物配方精萃而成, 富含有益菌, 需稀释 200 倍; T₅, 化肥, 施入 N 150 kg/hm², P₂O₅ 70 kg/hm², K₂O 75 kg/hm²; 尿素(46% N) 266.54 kg/hm², 磷酸氢二铵(18% N, 56% P₂O₅) 152.17 kg/hm², 氯化钾(60% K₂O) 187.50 kg/hm²。各处理操作根据肥料使用说明并参考玉米、大豆施肥技术(表 1)^[14]。

表 1 各肥料处理实际施用量

处理编号	施肥处理	施肥量(kg/hm ²)
CK	不施肥	0
T ₁	有机肥 I	11 640
T ₂	有机肥 II	10 995
T ₃	微生物肥	795
T ₄	叶面肥	990
T ₅	化肥	606.21

试验于 2016 年 4 月 25 日施肥, 各肥料均作为底肥, 人工一次性均匀撒入田中, 5 月 10 日播种。2 种作物均采用机播, 玉米每穴 1 粒种子, 播种深度为 6 cm, 株距为 28 cm, 行距为 73 cm; 大豆每穴 2 粒种子, 播种深度为 6 cm, 株距为 12 cm, 行距为 73 cm。后期不进行追肥, 不喷洒农药, 人工锄草进行 2 遍中耕。

1.3 测定项目及方法

分别于玉米拔节期、大口期、开花期、成熟期及大豆苗期、开花期、鼓粒期、成熟期进行取样。作物成熟后, 进行测产及室内考种。

1.3.1 土壤理化性质的测定 每个试验小区内按五点取样法采集 0~20 cm 深的土样, 将土样充分混匀, 按四分对角取舍的方法保留土壤样品^[15]。从田间采集的土壤样品及时风干以免因生物作用导致样品变质, 用圆木碾碾研并过 20 目筛保存待测。土壤理化性质的测定参考《土壤农化分析》^[16]。其中, 土壤容重采用环刀法测定; 土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加加热法测定; 土壤全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定; 土壤速效磷含量采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定; 土壤速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度计法测定; 土壤 pH 值采用电位计法测定。

1.3.2 产量的测定 每小区取 5 m², 收获成熟玉米、大豆,

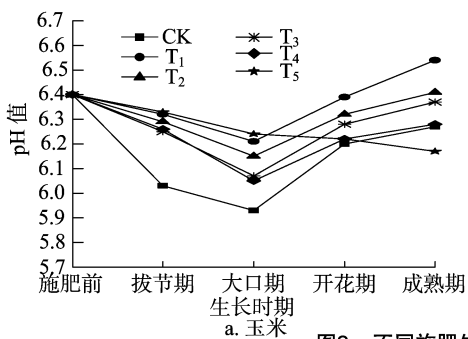


图 2 不同施肥处理对土壤 pH 值的影响

2.1.3 土壤有机质 从图 3 不同施肥处理对土壤有机质含量的影响可以看出, 与其他肥料相比, 施用有机肥能够显著提高土壤有机质含量。结果显示: (1) 在玉米生长过程中, 各处

待自然风干后, 称质量, 换算为单位面积产量。

1.4 数据分析方法

本试验所有数据均采用 Excel 2010 和 Origin 8.5 进行分析、绘图制作。同时, 利用 SPSS 22.0 软件进行方差分析和相关性分析, 并进行显著性比较。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤理化性质的影响

2.1.1 土壤容重 从图 1 不同施肥处理对土壤容重的影响可以看出, 各施肥处理与 CK 相比, 土壤容重发生了显著变化。基本规律如下: (1) 玉米各处理中, T₁ 处理对土壤容重的影响最明显, 较施肥前降低了 2.84%; T₃ 和 T₅ 处理对土壤容重影响不明显。(2) 大豆各处理中 CK 与各施肥处理间存在显著性差异, T₁ 和 T₂ 处理土壤容重降低得最多, 与施肥前相比分别降低了 2.84%、2.51%。总的看来, 有机肥能较好地改善土壤结构, 降低土壤容重。

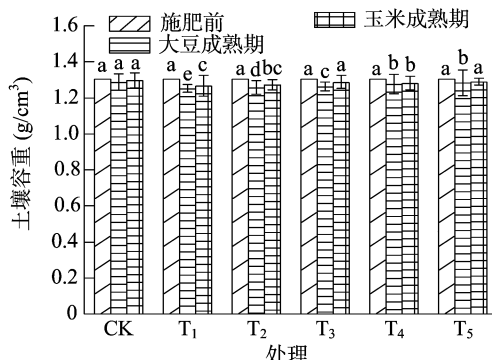
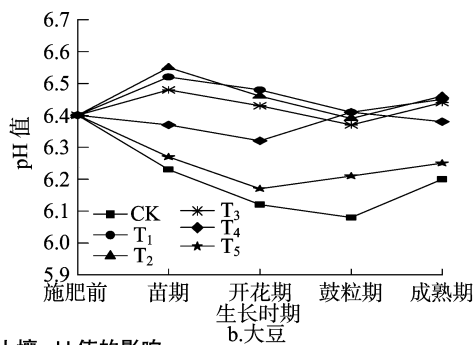


图 1 不同施肥处理对土壤容重的影响

2.1.2 土壤 pH 值 图 2 为不同施肥处理对土壤 pH 值的影响, 可见不同施肥处理下土壤对 pH 值变化的缓冲能力不同。具体表现在: (1) 玉米生长过程中, 各处理土壤 pH 值大致变化趋势为苗期至大口期逐渐下降, 大口期至成熟期逐渐上升; T₁ 处理土壤 pH 值显著高于其他处理, 与施肥前相比, 土壤 pH 值增加了 0.14; 而 T₅ 处理与施肥前相比, 土壤 pH 值降低了 0.15。(2) 大豆生长过程中, 各处理土壤 pH 值均在开花期或鼓粒期达到最低值, 之后缓慢上升; 与施肥前相比, T₁ 处理土壤 pH 值升高 0.06, 各处理土壤 pH 值均高于 CK 处理。



理在施肥后土壤有机质含量先迅速增加, 达到峰值后到成熟期整体呈下降趋势。在成熟期, T₁ 处理的土壤有机质含量为 21.54 g/kg; 各处理均与 CK 有明显差异; 与施肥前相比, T₁、

T₂ 处理土壤有机质含量分别增加了 0.79%、0.47%。(2) 在大豆生长过程中,各处理在施肥后至苗期土壤有机质含量均有一定增长但增长速率不及玉米;与施肥前相比,T₁、T₂ 处理

土壤有机质含量分别增加 0.84%、0.70%。因此,有机肥与其他肥料相比能够明显提高土壤有机质含量。

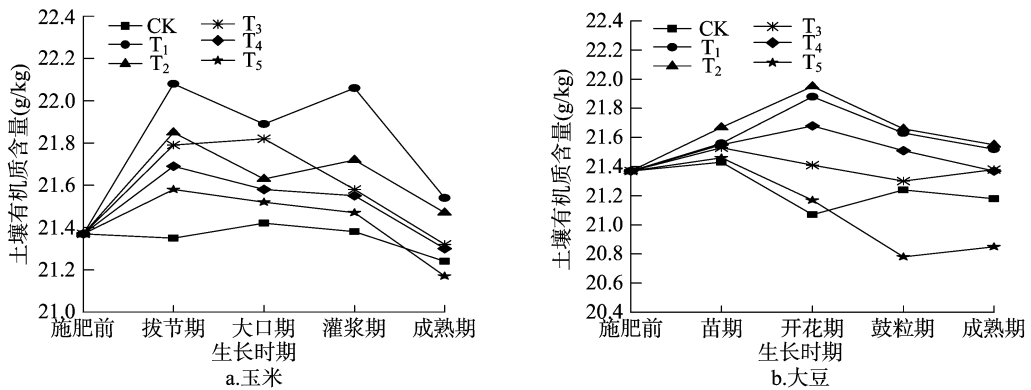


图3 不同施肥处理对土壤有机质含量的影响

2.1.4 土壤速效养分 土壤速效养分通常是指土壤中的离子态养分和交换态养分^[17],本试验选择土壤全氮、速效磷、速效钾含量这三个指标进行测定。由表2可见,玉米成熟期时,T₅和T₃处理土壤全氮含量显著高于其他处理,T₅处理与施肥前相比增幅最多,为12.23%;各处理土壤速效磷含量为T₅>T₁>T₃>T₂>T₄>CK,化肥处理与其他处理差异显著。各处理土壤速效钾含量依次为T₅>T₃>T₂>T₁>T₄>CK,化肥处理与其他处理差异显著,与施肥前土壤速效钾含量相比,化肥处理增加了5.88%。大豆成熟期时,各处理土壤全氮含

量均高于T₅处理,T₁处理全氮含量最高,为1.639 g/kg,除T₅处理外,各处理均与CK差异显著;各处理土壤速效磷含量排序与玉米土壤速效钾含量一致,与施肥前土壤速效磷含量相比,T₅和T₃处理增幅分别为12.17%、3.83%,各处理均与CK差异显著;各处理土壤速效钾含量依次为T₅>T₃>T₂>T₄>CK,T₅和T₃处理与施肥前土壤速效钾含量相比,增幅分别为13.56%、10.05%,叶面对土壤速效磷含量的作用不明显。

表2 不同施肥处理对土壤理化性质的影响

处理	全氮含量(g/kg)		速效磷含量(mg/kg)		速效钾含量(mg/kg)	
	玉米	大豆	玉米	大豆	玉米	大豆
CK	1.608 ± 0.022c	1.421 ± 0.040b	23.92 ± 0.321c	23.18 ± 0.458e	255.7 ± 1.316b	258.6 ± 2.310c
T ₁	1.637 ± 0.027c	1.639 ± 0.033a	24.87 ± 0.414ab	24.82 ± 0.361c	260.8 ± 2.827b	285.7 ± 2.918b
T ₂	1.745 ± 0.025b	1.628 ± 0.019a	24.55 ± 0.178ab	25.03 ± 0.357c	261.7 ± 2.491b	279.4 ± 5.772b
T ₃	1.813 ± 0.049a	1.583 ± 0.042a	24.63 ± 0.234ab	26.27 ± 0.362b	263.2 ± 2.266b	288.1 ± 4.351ab
T ₄	1.732 ± 0.023b	1.604 ± 0.024a	24.44 ± 0.139b	24.14 ± 0.462d	258.6 ± 8.195b	260.4 ± 4.177c
T ₅	1.826 ± 0.032a	1.382 ± 0.041b	24.98 ± 0.150a	28.38 ± 0.257a	277.2 ± 11.102a	297.3 ± 8.844a

注:同列数据后标有不同小写字母代表不同施肥处理在0.05水平上呈差异显著。

2.2 不同施肥处理对产量的影响

2.2.1 产量 如图4所示,各处理玉米产量依次为T₅>T₃>T₁>T₂>T₄>CK,化肥处理产量最高,为8834.4 kg/hm²,T₅与T₁、T₃之间的差异不显著。与CK相比,T₁、T₂、T₃、T₄、T₅处理的大豆产量分别提高30.73%、3.15%、24.87%、29.72%、30.35%。T₁、T₃、T₄、T₅处理间差异不显著。化肥在速效养分的供应能力上优于其他处理,作物可从土壤中吸收利用大量营养元素满足其生长需要,因此化肥处理的作物产量高于除T₁外的其他处理。

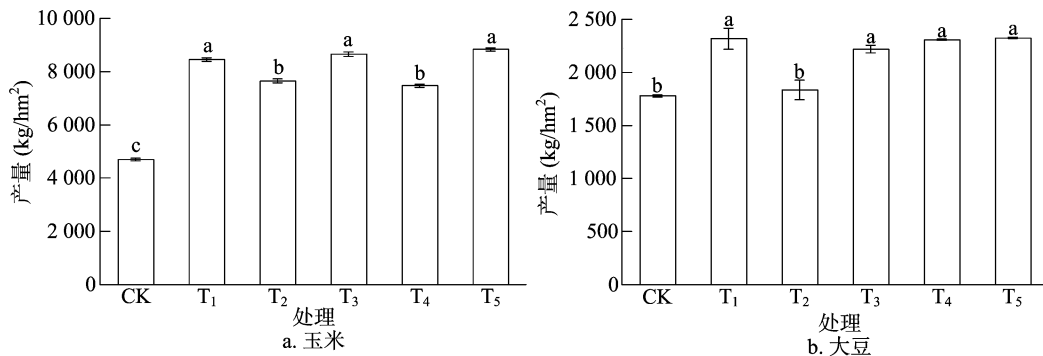
2.2.2 相关性分析 对不同施肥处理土壤理化性质与产量进行相关性分析,由表3可以看出,玉米土壤容重与土壤pH值、有机质含量呈显著负相关;土壤全氮含量与速效钾含量呈极显著正相关;玉米产量与土壤全氮、速效磷、速效钾含量均呈极显著正相关。由此可见,土壤理化性质极大地影响了玉米产量。大豆土壤容重与土壤pH值、有机质、全氮含量均呈显著或极显著负相关;土壤有机质含量与土壤全氮含量呈极

显著正相关;土壤速效磷含量与土壤速效钾含量呈极显著正相关;大豆产量与土壤理化性质并无显著相关关系。

2.3 土壤质量的主成分分析

2.3.1 特征根与方差贡献率 对土壤7个肥力指标进行主成分分析,评价不同施肥制度下土壤的培肥能力,为东北黑土培肥和提高作物生产的竞争力提供理论依据。各主成分的特征值和方差贡献率如表4所示。根据统计学原理,当各主成分的累计方差贡献率大于85%时,即可用来反映系统的变异信息,同时各主成分影响力度大小可用特征值表示^[18-20]。从表4可以看出,玉米和大豆的PC2累计贡献率分别达90.72%、87.11%,基本解释了数据的全部变异。

2.3.2 因子负荷及主成分表达式 通常情况下,因子负荷与变量在相应主成分中的权重成正比^[21]。由图5可知,pH值、产量、全氮含量、有机质含量、速效磷含量和速效钾含量这6个性质在PC1上有较高的因子负荷;速效磷含量、速效钾含量、全氮含量、产量在PC2上有较高的因子负荷。因此,对于



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)
图4 不同施肥处理对作物产量的影响

表3 不同施肥处理土壤理化性质与产量的相关性分析

指标	相关系数													
	BD		pH 值		OM 含量		TN 含量		AP 含量		AK 含量		YD	
	玉米	大豆	玉米	大豆	玉米	大豆	玉米	大豆	玉米	大豆	玉米	大豆	玉米	大豆
BD	1.000	1.000												
pH 值	-0.886*	-0.928**	1.000	1.000										
OM 含量	-0.886*	-0.882*	1.000**	0.928**	1.000	1.000								
TN 含量	0.086	-0.928**	-0.257	0.829*	-0.257	0.928**	1.000	1.000						
AP 含量	-0.257	-0.058	-0.086	0.257	-0.086	-0.058	0.657	-0.257	1.000	1.000				
AK 含量	-0.029	-0.116	-0.086	0.200	-0.086	-0.116	0.943**	-0.200	0.829*	0.943**	1.000	1.000		
YD	-0.086	-0.058	-0.029	0.029	-0.029	-0.058	0.829**	0.029	0.943**	0.543	0.943**	0.714	1.000	1.000

注：“*”代表在0.05水平上显著相关，“**”代表在0.01水平上显著相关；BD为土壤容重；OM为土壤有机质含量；TN为土壤全氮含量；AP为速效磷含量；AK为速效钾含量；YD为产量。下同。

表4 2种作物主成分分析的特征根与方差贡献率

项目	特征值	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)
PC1(玉米)	3.683	52.614	52.614
PC2(玉米)	2.668	38.109	90.724
PC1(大豆)	3.769	53.839	53.839
PC2(大豆)	2.329	33.274	87.114

注：PC1表示主成分1，PC2表示主成分2。下同。

2种作物的土壤质量来说，绝大多数变量在上述2个主成分上有较高的因子负荷，因此PC1和PC2这2个主成分可以反映由上述土壤指标代表的土壤质量水平。

根据SPSS软件分析所得的各变量在相应主成分上的因子负荷，分别获得玉米土壤主成分函数表达式：

$$PC1 = -0.384BD + 0.280pH + 0.315OM + 0.231TN + 0.471AP + 0.412AK + 0.480YD; PC2 = 0.364BD - 0.496pH - 0.470OM + 0.482TN + 0.206AP + 0.284AK + 0.211YD。$$

大豆土壤主成分函数表达式：

$$PC1 = -0.499BD + 0.501pH + 0.484OM + 0.495TN - 0.077AP + 0.092AK + 0.079YD; PC2 = -0.034BD + 0.076pH - 0.085OM - 0.118TN + 0.626AP + 0.603AK + 0.465YD。$$

2.4 不同施肥处理综合得分

综合主成分的函数模型^[18-19]：

$$F = \sum_{j=1}^m b_j Z_j \quad (1)$$

式中：F为综合主成分值；b为贡献率；m为主成分数量；Z为主分量；j=1,2,3,⋯,n。

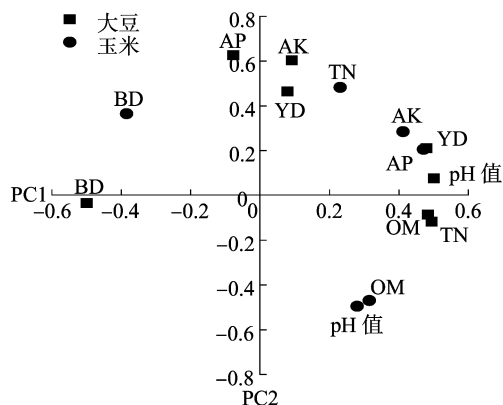


图5 土壤性质在PC1和PC2的因子负荷分布

根据公式(1)计算出综合主成分分值进行排序，并对不同施肥处理土壤肥力水平进行综合评分。如图6所示，玉米土壤中有肥I处理综合得分最高，为1.243，微生物肥、化肥、有机肥II、叶面肥处理综合得分依次递减，得分分别为0.612、0.573、0.519、-0.553，不施肥处理综合得分最低，为-2.393；大豆土壤中，有机肥I处理综合得分同样最高，为1.445，有机肥II、微生物肥、叶面肥、化肥处理综合得分依次递减，得分分别为0.911、0.707、-0.168、-0.654，不施肥处理综合得分最低，为-2.241。上述综合评分说明，施用有机肥优于其他施肥处理，微生物肥表现也较为优秀。

3 讨论

土壤容重可以判断土壤的松紧程度，同时可以表征土壤对作物的适宜度，种植禾谷类作物最适宜的土壤容重为1.1~

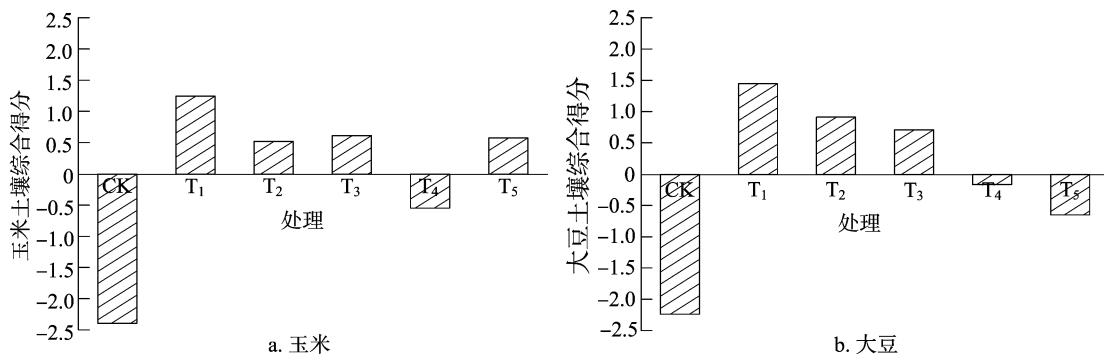


图6 2种作物不同施肥处理土壤肥力综合得分

1.3 g/cm³。温延臣等在长期不同施肥定位的试验中得出,施用有机肥与施用化肥相比可有效改善土壤容重^[18]。这与本研究有机肥处理相比于化肥处理土壤容重下降了0.022 g/cm³(玉米)、0.034 g/cm³(大豆)的结果一致,这是因为相比于硬块结构土壤,施用有机肥后与土壤结合形成碎散的团粒,在一定程度上改善了土壤耕性及蓄水、透水、通气等性能。

土壤 pH 值对作物从土壤获取养分的有效性存在显著的影响^[2],不同施肥处理对土壤 pH 值缓冲能力的影响不同,本试验中,成熟期玉米土壤 pH 值排序为有机肥 > 微生物肥、叶面肥 > CK > 化肥,由于化肥中的 NH₄⁺、H₂PO₄⁻等与土壤中 H⁺及其他阳离子反应生成酸性盐,引起土壤酸化。

相关研究表明,土壤有机质在保蓄土壤水分、增加土壤阳离子交换量、改善土壤结构、缓冲土壤 pH 值变化方面都起到极重要的作用^[22-24]。本试验发现,有机肥与其他肥料相比能够显著提高有机质含量,施用有机肥 I 后土壤有机质含量增加了0.79%(玉米)、0.84%(大豆);有机肥在土壤分解过程中形成高分子腐殖酸,对于提升土壤有机质含量及改良土壤结构起重要作用。在产量方面,玉米产量排序为 T₅ > T₃ > T₁ > T₂ > T₄ > CK,大豆产量排序为 T₃ > T₁ > T₄ > T₃ > T₂ > CK。化肥处理的产量高于除 T₁ 外的其他处理。

相关性分析得出,玉米产量与土壤速效养分含量均呈极显著正相关,因此增施氮磷钾养分可提升玉米产量;大豆产量与土壤速效养分含量无显著相关关系。近年来,研究者在进行土壤肥力综合评价时通常采用主成分分析和因子分析的方法,这类方法可以对土壤肥力分析中获得的大量数据进行评价,将数据充分利用,在复杂的土壤肥力因子中提炼出综合规律^[25-26]。本试验运用主成分分析法分析不同施肥处理的土壤肥力并进行主成分评价和综合得分,结果表明,2种作物施用有机肥和微生物菌肥的综合得分均明显高于不施肥处理,所以施用有机肥和微生物菌肥可以均衡改善土壤肥力,有利于黑土的可持续利用。

就黑土区现状来说,施用有机肥可缓解黑土退化并改良黑土土壤,提高土壤肥力。微生物菌肥和叶面肥在改良土壤某些单指标(土壤有机质含量、土壤全氮含量、土壤速效磷含量)方面可以选择性施用;化肥降低了土壤 pH 值,造成土壤酸化,同时对土壤容重、土壤有机质含量也无显著作用。在下一阶段的研究中,应将有机肥与微生物菌肥配施,并确定既可提升黑土区土壤肥力又可提高作物产量的配施最优比例。

4 结论

施用有机肥能够明显改良黑土土壤结构、提升土壤有机质含量、提高土壤对酸碱的缓冲性并改善土壤酸化,从而提升黑土土壤肥力,且牛粪发酵而成的有机肥总体表现比鸡粪、羊粪发酵的有机肥好。

化肥虽可提高土壤速效养分含量和产量,但加剧了土壤酸化;微生物菌肥和叶面肥在提高土壤全氮含量、缓解土壤酸化、改良土壤容重等方面表现较好。

施用有机肥并配施微生物肥是缓解东北黑土退化并提升土壤肥力的施肥模式,研究结论为东北黑土培肥并提高作物生产的竞争力提供理论依据。

参考文献:

- [1] 宋福强,程蛟,常伟,等. 黑土农田施加 AM 菌剂对大豆根际菌群结构的影响[J]. 土壤学报,2015,52(2):390-398.
- [2] 雷国平,代路,宋戈. 黑龙江省典型黑土区土壤生态环境质量评价[J]. 农业工程学报,2009,25(7):243-248.
- [3] 林大仪. 土壤学[M]. 2版. 北京:中国林业出版社,2013:170.
- [4] 耿增超,戴伟. 土壤学[M]. 北京:科学出版社,2011:220-221.
- [5] 王文娟,张树文,邓荣鑫. 东北黑土区沟蚀现状及其与景观格局的关系[J]. 农业工程学报,2011,27(10):192-198.
- [6] 赵秉强. 传统化肥增效改性提升产品性能与功能[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(1):1-7.
- [7] 王迪轩. 新编肥料使用技术手册[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
- [8] 陈惠哲,朱德峰,林贤青,等. 微生物肥对水稻产量及氮肥利用的影响[J]. 核农学报,2010,24(5):1051-1055.
- [9] 李燕婷,李秀英,肖艳,等. 叶面肥的营养机理及应用研究进展[J]. 中国农业科学,2009,42(1):162-172.
- [10] 韩晓增,王凤仙,王凤菊,等. 长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(1):66-71.
- [11] 张喜林,周宝库,孙磊,等. 长期施用化肥和有机肥料对黑土酸度的影响[J]. 土壤通报,2008,39(5):1221-1223.
- [12] Mastro R E, Chhonkar P K, Singh D, et al. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils in India [J]. Environment Monitoring and Assessment,2008,136(1/2/3):419-435.
- [13] Blair N, Faulkner R D, Till A R, et al. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility part I: broadbalk experiment [J]. Soil & Tillage Research,2006,91(1/2):30-38.
- [14] 黄元仿. 平衡施肥技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002.

李茂芬,邓吉良,邓春梅,等. 海口晚稻生育期气象因子变化特征及其对晚稻产量的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(14):50-57.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.14.013

海口晚稻生育期气象因子变化特征及其对晚稻产量的影响

李茂芬^{1,2}, 邓吉良^{2,3}, 邓春梅¹, 李玉萍¹, 郭澎湃³

(1. 海南大学热带农林学院,海南海口 570228; 2. 中国热带农业科学院科技信息研究所,海南儋州 571737;
3. 中国热带农业科学院橡胶研究所,海南儋州 571737)

摘要:为探究海口晚稻生育期气象因子变化规律,提供晚稻生产理论指导,以海口市1988—2012年晚稻单产和生育期降水量、平均风速、最大风速、平均气温、日最高气温、日最低气温、平均相对湿度、日照时数为研究对象,应用Morlet小波分析、Mann-Kendall突变检验、线性趋势分析、相关性分析探讨逐日气象因子变化特征及其对晚稻产量的影响。结果表明,最大风速和平均风速呈显著上升趋势,日照时数、平均相对湿度呈显著下降趋势,其他气象因子均无明显变化趋势。降水量、平均风速、最大风速、平均气温、日最高气温、日最低气温、平均相对湿度、日照时数突变点分别出现在2007年、2011年、2009年、2008年、2009年、2009年、2001年、1993年。小波分析结果表明,在较小时时间尺度上周期振荡剧烈,时间尺度越大,周期振荡越平稳,规律越明显。

关键词:气象因子;晚稻;小波分析;Mann-Kendall突变检验;生育期

中图分类号: S162 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)14-0050-08

水稻为一年生禾本科植物,其产量在我国主要粮食作物中位列首位。近几十年来,全球气候变化明显,农业生产受其影响日趋严重^[1-9]。海南省作为我国最具代表性的热带省份,其水稻受热带季风、热带气旋等热带气候的影响尤为敏感。海南省省会海口市位于海南岛北部,毗邻琼州海峡,属于热带海洋性季风气候。海口市年平均气温较高,相对湿度较大,日照时间长,适宜水稻种植。在此背景下,众多学者开展了海口气象变化分析以及气象因子对水稻产量影响的研究^[10-18]。许格希等研究认为,海口市近50年来气温升高趋

势明显,降水波动较大^[10]。李福胜等研究发现,海口市冬季降水呈下降趋势,而夏季和秋季呈上升趋势^[11]。侯伟等研究表明,海口市平均气温呈显著上升趋势,日照时数呈显著下降趋势,降水变化不明显,且在2000年以后的气候变化波动较为强烈^[12]。吴文娟等认为,海口市近50年来降水量有增加趋势^[13];吴名杰等统计分析结果表明,海口市四季的相对湿度和日照时数都呈下降趋势^[14];刘胜利等研究表明,晚稻产量变化与生育期内气温相关性显著^[15]。张育慧等研究认为,晚稻产量与7月中旬降水量、9月上旬日照时数呈正相关,与7月中旬、8月中旬的平均温度呈负相关^[16]。曾海云认为,晚稻易受到寒露风、气温、日照等气象条件影响^[17]。以上主要是针对在全年时间尺度上或各个季节气象因子的研究,以及气象因子对全国水稻产量的普遍影响。而海口市作为省会城市,水稻是其主要农作物,晚稻生育期气象因子的变化特征及其对晚稻产量的影响尚未有研究报道。

由于我国幅员辽阔,纬度跨度较大,因此气候类型多样,气候变化背景下各个地区的气候响应不尽相同,在不同地区

收稿日期:2017-10-09

基金项目:中国热带农业科学院基本科研业务费专项(编号:1630072017004);海南省自然科学基金(编号:20154184)。

作者简介:李茂芬(1984—),女,四川内江人,博士,副研究员,主要从事农业资源信息化研究。E-mail:maofen.li@gmail.com。

通信作者:邓吉良,硕士研究生,主要从事植物生理研究。E-mail:dddjiliang@163.com。

[15] 张行峰. 实用农化分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005:99.

[16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版;北京:中国农业出版社,2000.

[17] 焦晓光,隋跃宇,魏丹. 长期施肥对薄层黑土酶活性及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料,2011(1):6-9.

[18] 温延臣,李燕青,袁亮,等. 长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法[J]. 农业工程学报,2015,31(7):91-99.

[19] 陈吉,赵炳梓,张佳宝,等. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. 土壤,2010,42(3):415-420.

[20] 王娟,谷雪景,赵吉,等. 羊草草原土壤酶活性对土壤肥力的指示作用[J]. 农业环境科学学报,2006,25(4):934-938.

[21] 邱莉萍,刘军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研

究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):277-280.

[22] 王利辉. 不同来源有机肥及其配合施用对土壤性质的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2007.

[23] 柳影,彭畅,张会民,等. 长期不同施肥条件下黑土的有机质含量变化特征[J]. 中国土壤与肥料,2011(5):7-11.

[24] 谷思玉,耿泽铭,汪睿,等. 不同配比生物有机肥对盐渍土改良效果的分析[J]. 东北农业大学学报,2014,45(7):26-30.

[25] 公丽艳,孟宪国,刘乃侨,等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报,2014,30(13):276-285.

[26] Yemefack M, Jetten V G, Rossiter D G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 86(1): 84-98.