

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)01-0030-08

土壤肥料

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.01.005

减量配施腐植酸肥对连作马铃薯及土壤的影响

韩亚楠¹, 高中强^{1*}, 杨元军², 郭新送³, 郝国芳¹, 李炜蔷¹, 刘国琴¹, 丁习武¹

(1. 山东省农业技术推广总站, 山东 济南 250100; 2. 山东省农业科学院蔬菜花卉研究所, 山东 济南 250100;

3. 农业农村部腐植酸类肥料重点实验室/山东农大肥业科技有限公司, 山东 泰安 271000)

摘要:当前马铃薯生产中, 农民过量及盲目施肥现象严重, 造成生产成本增加、土壤理化性状恶化、环境污染加剧等问题, 为解决这类问题, 确定合理减量施肥量, 有效指导马铃薯科学种植, 特开展试验。选用常用复合肥、腐植酸复合肥及腐植酸控释氮肥3种不同类型肥料为基肥, 每种肥料分别设置常量施肥和减量30%施肥两个处理, 共6个处理。通过测定马铃薯产量、商品薯率、土壤理化性质指标, 确定减量配施腐植酸肥对马铃薯产量及土壤理化性质的影响。结果表明, 在马铃薯连作区, 3种肥料减施30%后, 马铃薯产量均较其常量施肥处理有所提高, 其中以腐植酸复合肥减量处理及腐植酸控释氮肥减量处理效果最好, 减施期2~3年效果较佳。同时, 腐植酸复合肥和腐植酸控释肥的处理较常用复合肥处理增产效果显著, 增产率达3.52%~13.27%; 土壤理化性质方面, 肥料减量30%及添加腐植酸成分后, 土壤EC值显著下降, 添加腐植酸施肥处理的土壤全氮、速效磷及速效钾含量明显升高, 从土壤理化性质层面进一步解释了马铃薯增产的原因。综合评价认为: 在马铃薯生产中, 可根据当地土壤情况适当降低化肥用量, 推荐减量施肥30%左右, 减施2~3年, 可使用腐植酸类肥料替代普通化肥。

关键词: 马铃薯; 减量施肥; 腐植酸; 产量; 土壤理化性质

Effects of Reducing Fertilizer Application Rate Combined with Humic Acid Fertilizer on Continuous Cropping Potato and Its Soil

HAN Yanan¹, GAO Zhongqiang^{1*}, YANG Yuanjun², GUO Xinsong³, HAO Guofang¹, LI Weiqiang¹, LIU Guoqin¹, DING Xiwu¹

(1. Shandong Agricultural Technology Extension Station, Jinan, Shandong 250100, China; 2. Vegetable and Flower Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250100, China; 3. Key Laboratory of Humic Acid Fertilizer, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Shandong Agricultural University Fertilizer Science Tech. Co., Ltd., Taian, Shandong 271000, China)

Abstract: In the current potato production, farmers' excessive and blind fertilization phenomenon is serious, resulting in increased production costs, deterioration of soil physical and chemical properties, environmental pollution and other problems. This experiment was carried out in order to solve these problems, determine the reasonable amount of fertilizer reduction, and effectively guide the scientific planting of potato. Three kinds of fertilizers were chosen, including compound fertilizer, humic acid compound fertilizer and humic acid controlled-release fertilizer, and two treatments were set up for each kind of fertilizer, regular fertilization and 30% reduction, respectively, resulting in six treatments in total. The effects of reduced fertilization on potato yield and soil fertility were determined by measuring potato yield, marketable potato percentage, and soil physical and chemical properties. After 30% reduction of fertilizer,

收稿日期: 2020-07-29

基金项目: 山东省农业良种工程项目(2016LZGC006)。

作者简介: 韩亚楠(1990-), 女, 硕士, 农艺师, 主要从事蔬菜栽培研究。

*通信作者(Corresponding author): 高中强, 研究员, 主要从事蔬菜栽培研究, E-mail: zhongqianggao@163.com。

potato yield on a continuous cropping land was improved compared with regular fertilization rate, with humic acid compound fertilizer and humic acid controlled-release fertilizer reduction performing better. Meanwhile, humic acid compound fertilizer and controlled-release fertilizer also had significant effect on yield, which could be increased by 3.52%-13.27% compared with the regular compound fertilizer. After 30% reduction of fertilization, the EC value of soil was decreased significantly, while the contents of total nitrogen, available phosphorus and available potassium in the treatment of humic acid fertilization increased, which further explains the reason of potato yield increase from the aspect of soil physical and chemical properties. The comprehensive evaluation showed that the amount of chemical fertilizer could be appropriately reduced, according to the local soil conditions. It is recommended to reduce the fertilizer application rate by about 30% for 2-3 years. Humic acid fertilizer could replace some regular chemical fertilizers.

Key Words: potato; fertilizer reduction; humic acid; yield; soil physical and chemical property

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)在保障粮食供给和经济发展中发挥着越来越重要的作用^[1],但在当前马铃薯生产中,农民过量及盲目施肥现象严重,不仅导致生产成本增加,而且造成土壤理化性状恶化、养分流失严重和环境污染加剧^[2]。2015年,农业部出台《到2020年化肥使用量零增长行动方案》,确立“到2020年,盲目施肥和过量施肥现象基本得到遏制,主要农作物化肥使用量实现零增长”的目标任务,2017、2018和2019年连续3年中央1号文件均明确深入推进化肥农药零增长行动,相继出台政策支持马铃薯化肥减施,可见,马铃薯化肥减施势在必行。

有机肥料和无机化学肥料配合施用能够改善作物生长状况,并降低化肥使用量^[3]。专用肥配施其他新型肥料可在减肥的基础上进一步增加马铃薯产量^[4]。由于腐植酸含有多种活性基团,如羧基、羟基、甲氧基等,其具有较强的离子交换能力和吸附能力^[5]。庄振东和李絮花^[6]研究表明,腐植酸氮肥能显著提高作物产量和氮肥利用率,促进作物对土壤氮素的吸收利用。门明新等^[7]试验得出,腐植酸复合肥较等养分无机肥可提高油菜鲜、干重和氮利用率。因此,配施一定量的腐植酸不仅可以提高肥效达到活化、改良土壤的作用,还能刺激作物生长、提高作物产量和品质,在农田生态上有巨大的应用潜力。

冯志文等^[8]以当地推荐施肥量为基准,认为内蒙古自治区滴灌施肥条件下,施肥比例在现有用量的70%左右时,即可满足马铃薯对养分的需求,产量较高。张学让^[9]研究结果发现,控释氮90%处理下的马铃薯产量较高,增产幅度较大。马铃薯施用缓控释肥、生物有机肥对改善马铃薯产量构成因素不明

显,但可以明显提高产量和经济效益^[10]。已有的减量施肥多集中于无机肥或控释肥研究,鲜有关于腐植酸复合肥在田间马铃薯减量施肥的报道。因此,本研究通过3年大田试验,以当地农户常用施肥量为基准,采用常用复合肥、腐植酸复合肥、腐植酸控释肥的常量及减量30%试验组合,分析在马铃薯连作区减量配施腐植酸肥对马铃薯产量及土壤养分的影响,以期为进一步确定合理减量施肥、有效指导马铃薯科学种植提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2017~2019年在山东省肥城市桃园镇屯头村进行。供试土壤pH 5.9,全氮1.37 g/kg,有效磷36.3 mg/kg,速效钾118.7 mg/kg,有机质25 g/kg。马铃薯品种为‘荷兰15号’。供试肥料有3种,分别为硫酸钾型复合肥(以下简称‘常用复合肥’)、硫酸钾型腐植酸复合肥(总养分≥45%、活性腐植酸≥3%,以下简称‘腐植酸复合肥’)、腐植酸控释氮肥(控氮为树脂包膜尿素,控释比例为50%,控释期为2个月,以下简称‘腐植酸控释氮肥’),以上肥料均由山东农大肥业科技有限公司提供。

1.2 试验方法

试验包括3种肥料,每种肥料设2个处理,分别为常量施肥(当地普通农户常用施肥量)和减量30%施肥,共6个处理(表1),每个小区面积为80 m²,重复3次,随机区组设计,所有处理肥料作为基肥一次性施入,另每个小区均施用生物有机肥10 kg。马铃薯采用露天起垄方式种植,垄

表1 马铃薯减量施肥试验处理
Table 1 Treatment of potato fertilization reduction

代号 Code	处理 Treatment	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	施入量(kg/667m ²) Applied amount
TF1	常用复合肥常量施肥	16:9:20	160
TF2	常用复合肥减量30%施肥	16:9:20	112
HF1	腐植酸复合肥常量施肥	HA16:9:20	160
HF2	腐植酸复合肥减量30%施肥	HA16:9:20	112
CF1	腐植酸控释氮肥常量施肥	HA16:9:20	160
CF2	腐植酸控释氮肥减量30%施肥	HA16:9:20	112

宽80 cm, 垄长20 m, 每小区5垄, 种植方向为南北走向, 3年试验所有处理为同一地块定位试验, 后茬无种植作物。

1.2.1 产量测定

测产小区面积24 m², 收获时每小区取中间三垄, 长度10 m对薯块称重, 得出小区产量并折合产量。杂质率按1.5%计。计算方法如下:

小区产量(kg/24m²) = [小区商品薯产量(kg) + 小区非商品薯产量(kg)] × (1 - 1.5%)

产量(kg/667m²) = 小区产量(kg)/小区面积 × 667

1.2.2 商品薯率

称量薯块划分商品薯和非商品薯, 非商品薯指重量小于50 g的小薯以及病薯、烂薯、绿皮薯等薯块。

商品薯率(%) = 小区商品薯产量(kg)/小区产量(kg) × 100

1.2.3 土壤指标测定

马铃薯收获后于各小区内“X”形取0~20 cm土层5个点的土样混匀后, 风干, 磨碎过筛后用于测定土壤化学指标。pH采用酸度计测定(m:v = 1:5土质量与水体积比), 电导率采用电导法测定, 全氮含量采用半微量凯氏定氮法, 有机质含量采用重铬酸钾-硫酸氧化法, 速效磷采用0.5 mol/L NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法测定, 速效钾含量采用1 mol/L NH₄AC浸提-火焰光度法测定^[11]。

1.3 数据分析

试验数据采用Microsoft Excel 2007软件进行处理, SPSS 22.0软件进行显著性检验和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 减量施肥对马铃薯产量的影响

2017~2019年测产结果表明(表2), 施入腐植酸复合肥和控释肥均可较常用复合肥明显提高马铃薯产量, 其中以HF1和HF2增产效果较好, HF1、HF2、CF1、CF2分别较TF1增产9.53%、13.27%、3.52%、6.23%; 从3年平均产量可以得出, 减量30%施肥处理后, 马铃薯产量均比其常量施肥处理有所提高, 其中以TF2和HF2表现较好, 分别较TF1和HF1增产3.88%和3.41%; 随减施年份增加, 增产效果呈先上升后下降趋势, 在2018年增产效果较好。综上得出, 在马铃薯连作地块中, 减量施肥可以降低生产成本, 提高马铃薯产量, 减施周期2~3年效果较好。

2.2 减量施肥对马铃薯商品薯率的影响

3种肥料减量施肥对马铃薯的商品薯率影响不显著, 而且腐植酸复合肥和控释肥的施入与常用复合肥处理相比, 其商品薯率变化也不显著(图1)。从3年统计数据得出, 2018年马铃薯商品薯率略低于2017和2019年, 与产量变化表现一致, 这是由于2018年强冷空气致部分马铃薯受灾所致。综上, 减量施肥和腐植酸类型肥料的施入对马铃薯商品薯率影响不显著。

2.3 减量施肥对土壤理化性质的影响

随着马铃薯连作年限的增加, 同一处理pH逐年降低, 施入腐植酸复合肥和控释肥及其减量处理的

表2 减量施肥对马铃薯产量的影响
Table 2 Effect of reduced fertilization on potato yield

年 Year	处理 Treatment	小区产量(kg/24m ²) Plot yield	折合产量(kg/667m ²) Equivalent yield	较TF1增产(%) Production increase compared with TF1	减量处理较对应常量处理增产(%) Production increase compared with 100% fertilization
2017	TF1	106.48 d	2 959	—	—
	TF2	111.25 c	3 092	4.49	4.49
	HF1	119.70 a	3 327	12.43	—
	HF2	119.00 a	3 307	11.76	-0.58
	CF1	114.17 b	3 173	7.23	—
	CF2	117.45 a	3 264	10.31	2.87
2018	TF1	84.35 d	2 344	—	—
	TF2	89.00 c	2 473	5.50	5.50
	HF1	96.10 b	2 671	13.95	—
	HF2	101.82 a	2 830	20.73	5.95
	CF1	84.54 d	2 350	0.26	—
	CF2	87.15 c	2 422	3.33	3.06
2019	TF1	107.01 d	2 974	—	—
	TF2	109.14 c	3 033	1.98	1.98
	HF1	110.43 c	3 069	3.19	—
	HF2	116.51 a	3 238	8.88	5.51
	CF1	109.59 c	3 046	2.42	—
	CF2	111.77 b	3 106	4.44	1.97
平均 Average	TF1	99.28 d	2 759	—	—
	TF2	103.13 c	2 866	3.88	3.88
	HF1	108.74 b	3 022	9.53	—
	HF2	112.44 a	3 125	13.27	3.41
	CF1	102.77 c	2 856	3.52	—
	CF2	105.46 bc	2 931	6.23	2.63

注：处理产量数据后不同字母表示差异达0.05显著水平。采用LSD法进行处理平均值多重比较。

Note: Treatment with different lowercase letter(s) indicates significant difference at 0.05 level as tested using LSD method.

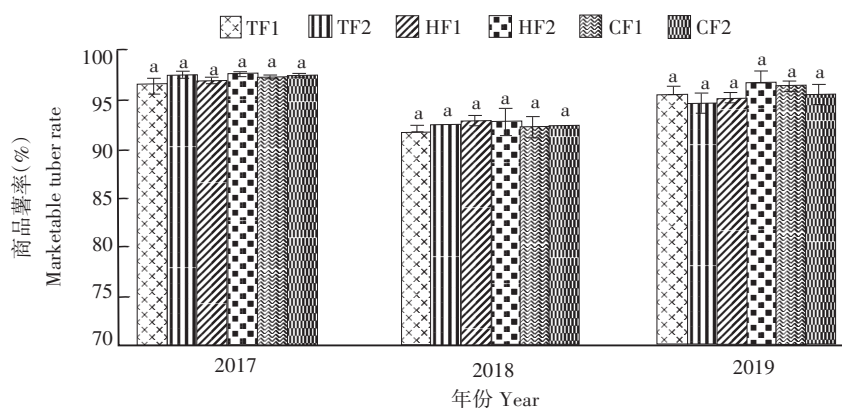
pH降低幅度均小于常用复合肥处理；同一年度中，施入腐植酸复合肥和控释氮肥及其减量处理的pH均高于常用复合肥处理，表明添加腐植酸成分的处理可有效降低土壤酸化程度(图2)。

随着马铃薯连作年限的增加，常用复合肥及常用复合肥减量处理EC值逐年升高，其他处理变化不明显；同一年度中，常用复合肥EC值显著高于常用

复合肥减量处理的EC值，且常用复合肥的EC值要显著高于其减量处理及其他处理的EC值(图3)。

3个年度中均以腐植酸复合肥常量施肥处理有机质含量最高，其次为腐植酸复合肥减量施肥处理、腐植酸控释氮肥常量及减量处理，常用复合肥及其减量处理的有机质含量最低(图4)。

随着马铃薯连作年限的增加，腐植酸控释氮肥



注: 具有不同小写字母的处理表示差异达 0.05 显著水平。采用 LSD 法进行处理平均值多重比较。下同。

Note: Treatment with different lowercase letter(s) indicates significant difference at 0.05 level as tested using LSD method. The same below.

图1 减量施肥对马铃薯商品薯率的影响

Figure 1 Effects of reduced fertilization on marketable tuber rate

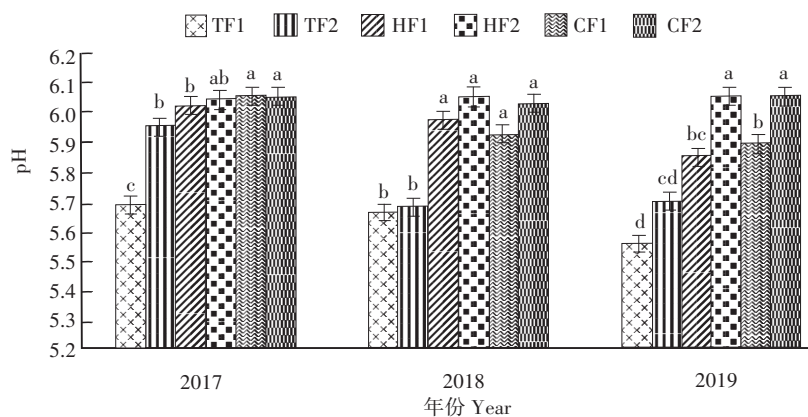


图2 不同处理对土壤pH的影响

Figure 2 Effects of different treatments on soil pH

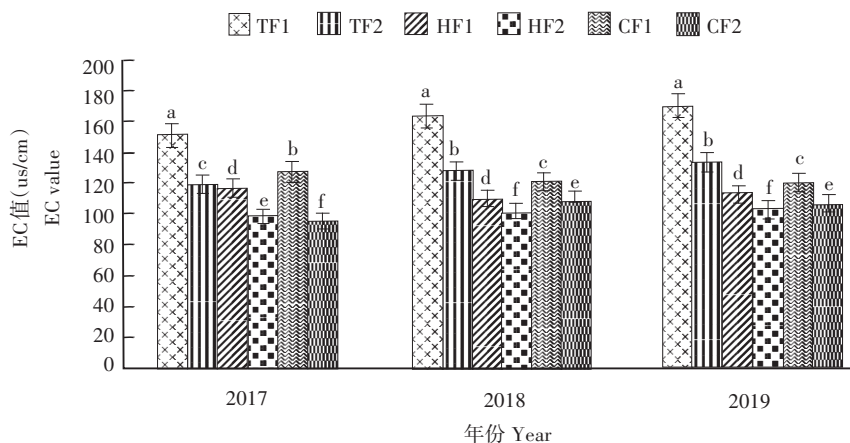


图3 不同处理对土壤EC值的影响

Figure 3 Effects of different treatments on EC value

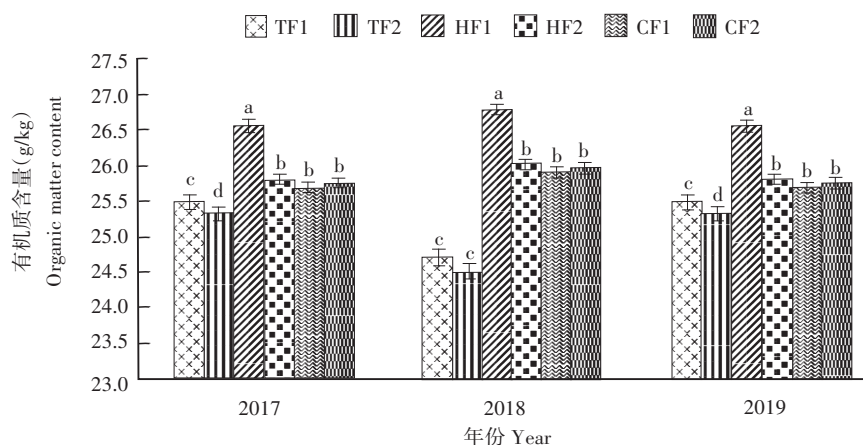


图4 不同处理对土壤有机质含量的的影响

Figure 4 Effects of different treatments on soil organic matter content

处理的土壤总氮含量逐年升高, 其他处理变化不明显; 同一年度中, 腐植酸控释氮肥常量处理的土壤总氮含量最高, 其他处理差异不大(图5)。

土壤速效磷和速效钾含量变化趋势较为一致, 随着马铃薯连作年限的增加, 速效磷和速效钾含量变化不大; 同一年度中, 土壤速效磷含量腐植酸复合肥常量施肥处理最高, 次之为腐植酸复合肥减量施肥处理、腐植酸控释氮肥常量处理; 土壤速效钾含量2018、2019年腐植酸复合肥常量施肥处理最高, 其次为腐植酸复合肥减量施肥处理、腐植酸控释氮肥常量处理, 2017年以腐植酸复合肥减量施肥

处理最高, 其次为腐植酸控释氮肥减量处理及腐植酸复合肥常量施肥处理(图6、7)。

2.4 相关性分析

对连续3年产量及土壤理化性质指标平均值做相关性分析, 表3数据显示, 马铃薯产量与速效钾含量呈显著正相关, 与土壤EC值呈显著负相关; 商品薯率与土壤养分相关性不显著。土壤指标之间的相关性分析显示, 速效钾与EC值呈极显著负相关, 有机质含量与速效磷含量呈显著正相关。综上, 马铃薯产量与土壤理化性质息息相关, 土壤指标之间相互影响。

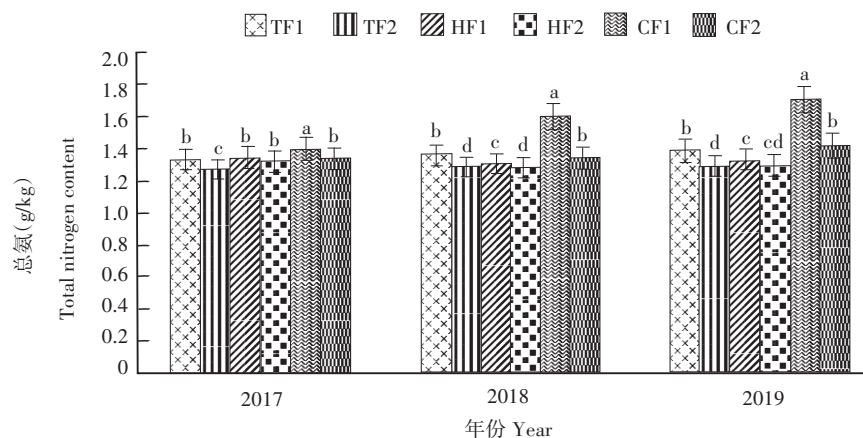


图5 不同处理对土壤总氮含量的影响

Figure 5 Effects of different treatments on soil total nitrogen content

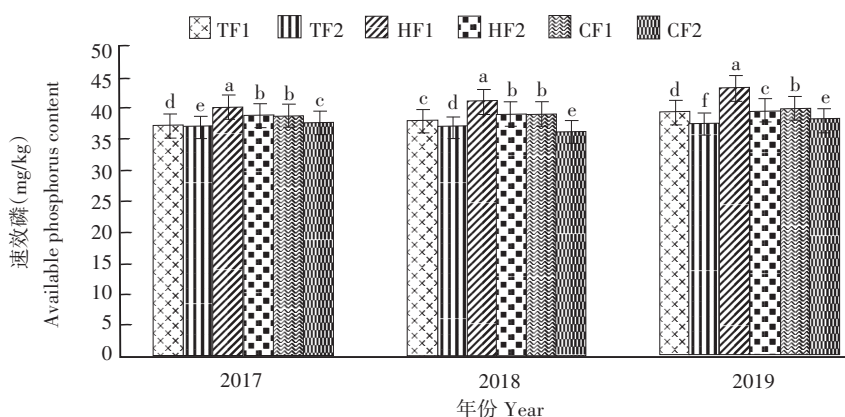


图6 不同处理对土壤速效磷含量的影响

Figure 6 Effects of different treatments on soil available phosphorus content

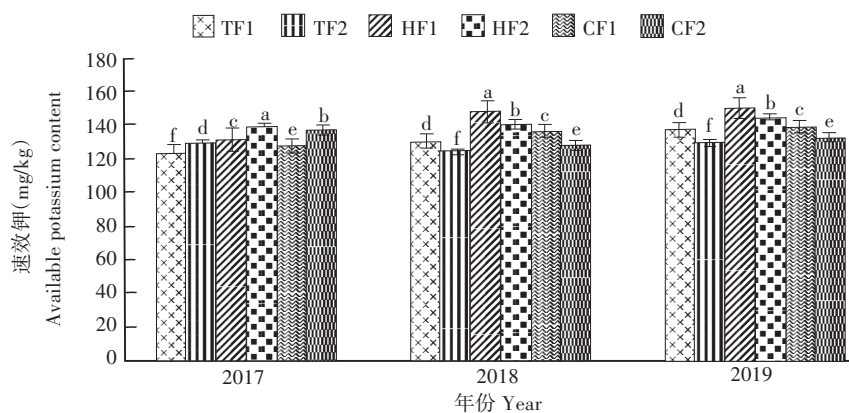


图7 不同处理对土壤速效钾含量的影响

Figure 7 Effects of different treatments on soil available potassium content

表3 产量及土壤理化性质相关性分析

Table 3 Correlation analysis of yields and soil physical and chemical properties

项目 Item	pH	EC	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	产量 Yield
EC	-0.531						
有机质 Organic matter	0.642	-0.263					
全氮 Total nitrogen	0.754	0.127	0.401				
速效磷 Available phosphorus	0.694	-0.252	0.904*	0.537			
速效钾 Available potassium	0.493	-0.967**	0.287	-0.142	0.283		
产量 Yield	0.782	-0.828*	0.725	0.236	0.748	0.818*	
商品薯率 Marketable tuber rate	0.291	-0.781	-0.164	-0.153	0.290	0.682	0.521

注: *表示相关在 0.05 水平显著, **表示相关在 0.01 水平显著。

Note: * indicates that correlation is significant at 0.05 level and ** indicates that correlation is significant at 0.01 level.

3 讨 论

本研究表明,在马铃薯连作地区,3种试验肥料减施30%未造成马铃薯减产,常用复合肥减量施肥处理、腐植酸复合肥减量施肥处理、腐植酸控释氮肥减量施肥处理分别比其对应常量施肥的处理增产3.88%、3.41%、2.63%,这与董亮等^[12]关于控释肥减量施用对马铃薯产量、品质及土壤硝态氮含量影响及冯志文等^[8]关于滴灌条件下马铃薯减量施肥的研究结果基本一致,表明在土壤养分过剩时,一定时间内减量施肥不会降低土壤后续生产力。

试验地块为多年种植马铃薯地块,根据土壤理化性质数据分析,减量施肥及添加腐植酸施肥处理可以有效改善土壤酸化程度,降低土壤EC值;添加腐植酸施肥处理可以有效增加土壤有机质、全氮、速效磷及速效钾的含量,但随着施用年限的增加,土壤全氮、速效磷及速效钾指标变化幅度趋于稳定,这也从土壤理化性质层面解释了减量施肥及添加腐植酸施肥的处理马铃薯增产的原因。与复合肥处理相比,腐植酸复合肥及腐植酸控释氮肥处理可增加马铃薯产量;分别增产9.53%、3.52%,这与腐植酸能够调整土壤微生物的群体结构^[13],或含有多种活性基团,有较强的离子交换能力和吸附能力^[14],或有机无机配施可促使土壤氮素矿化保持在稳定状态,有利于满足作物生长后期对氮素需求^[15],从而可以起到改良土壤,释放养分,增加土壤肥力的作用。据相关研究表明,腐植酸还可以在土壤中通过絮凝和溶胶作用,可形成土壤“有机-无机复合体”,进而形成较大粒径的土壤团聚体,降低土壤容重、增加土壤孔隙度、优化土壤液相及气相物质、土壤热状况,从而提高土壤保持水分和养分的能力^[16]。

综上,减量30%施肥2~3年可提高马铃薯产量,以常用复合肥和腐植酸复合肥的处理减施效果较好。减量施肥在保证马铃薯不减产的前提下,可实现节本增效,一方面降低了马铃薯生产成本,提高了经济效益,另一方面改善了土壤理化性质,减少了肥料污染,提高生态效益。腐植酸类肥料作为底肥对马铃薯的增产效果显著高于常用复合肥,并显著提高土壤综合肥力,改善土壤板结问题。因此,在生

产马铃薯过程中,可根据当地土壤情况适当降低化肥用量,连作地块施肥可减量30%并增施腐植酸类肥料,减施2~3年后,根据马铃薯生长情况、需肥规律及土壤供肥性能,应用测土配方施肥技术,及时恢复施用适量复合肥、增施有机肥及生物菌肥,保证马铃薯正常生长。

[参 考 文 献]

- [1] 杨帅, 闵凡祥, 高云飞, 等. 新世纪中国马铃薯产业发展现状及存在问题[J]. 中国马铃薯, 2014, 28(5): 311-316.
- [2] 仲乃琴, 刘宁, 赵盼, 等. 中国马铃薯化肥农药减施的现状与挑战[J]. 科学通报, 2018, 63(17): 1693-1702.
- [3] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146.
- [4] 梁玲玲, 周霞, 李志强, 等. 不同减肥技术对马铃薯养分高效利用的影响[J]. 中国马铃薯, 2020, 34(3): 150-157.
- [5] 孙克刚, 张梦, 李玉顺. 腐植酸尿素对冬小麦增产效果及氮肥利用率的影响[J]. 腐植酸, 2016(3): 18-21.
- [6] 庄振东, 李絮花. 腐植酸氮肥对玉米产量、氮肥利用及氮肥损失的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1232-1239.
- [7] 门明新, 薛世川, 孙旭霞, 等. 腐植酸复合肥对土壤养分转化和土壤酶活性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(4): 1-4.
- [8] 冯志文, 万书勤, 康跃虎, 等. 滴灌施肥条件下减量施肥对马铃薯田土壤养分积累及产量的影响[J]. 节水灌溉, 2019(8): 28-33.
- [9] 张学让. 马铃薯控释氮肥减量施肥效应试验[J]. 农业科技与信息, 2017(16): 57-59.
- [10] 岳超, 王怀义, 滕松, 等. 马铃薯施用缓控释肥、生物有机肥肥效试验[J]. 中国马铃薯, 2017, 31(6): 341-345.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 董亮, 张玉凤, 刘苹, 等. 控释肥减量施用对马铃薯产量、品质及土壤硝态氮含量的影响[J]. 江西农业学报, 2012(6): 86-89.
- [13] 何琳. 腐植酸肥在大田及园艺作物中的应用[J]. 新农业, 2019(13): 21-22.
- [14] 裴瑞杰, 袁天佑, 王俊忠, 等. 施用腐植酸对夏玉米产量和氮效率的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2189-2198.
- [15] 高菊生, 黄晶, 董春华, 等. 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分的影响[J]. 土壤学报, 2014(2): 314-324.
- [16] 王曰鑫, 李强. 论腐植酸及有关研究课题[J]. 腐植酸, 2020(3): 19-24.