

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.04.029

张亮, 孙磊, 苏航, 等. 有机肥和无机肥对马铃薯生长发育及块茎产量的影响. 土壤, 2020, 52(4): 862–866.

## 有机肥和无机肥对马铃薯生长发育及块茎产量的影响<sup>①</sup>

张亮<sup>1</sup>, 孙磊<sup>1\*</sup>, 苏航<sup>1</sup>, 于洪涛<sup>2</sup>, 符强<sup>2</sup>, 范书华<sup>3</sup>, 程瑶<sup>1</sup>

(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绥化分院, 黑龙江绥化 152000; 3 黑龙江省农业科学院牡丹江分院, 黑龙江牡丹江 150041)

**摘要:** 在田间条件下, 以‘尤金’和‘克新 23 号’为供试品种, 研究了单施无机肥或有机肥以及有机肥和无机肥配施对马铃薯生长发育及块茎产量的影响, 以对马铃薯生产中有机肥替代无机肥的可行性及替代效果进行验证和阐述。结果表明: 施用有机肥可显著提高两品种的株高、茎粗、叶面积指数及叶片 SPAD 值( $P<0.05$ ), 延长了‘尤金’地上茎叶的功能期, 提高‘尤金’的平均薯重( $P<0.05$ ); 单施无机肥可促进两个品种地上茎叶及根系的生长, 提高单株结薯数和块茎干物质积累量。两个马铃薯品种的最高产量均为单施无机肥处理, 其中‘尤金’施用  $P_2O_5$  90 kg/hm<sup>2</sup> 时达到最高产量 41.50 t/hm<sup>2</sup>, ‘克新 23 号’施用  $P_2O_5$  135 kg/hm<sup>2</sup> 时达到最高产量 41.26 t/hm<sup>2</sup>。在本试验条件下, 两个品种全部和部分有机替代的产量均为中等水平。

**关键词:** 马铃薯; 有机肥; 无机肥; 磷; 产量

**中图分类号:** S532      **文献标志码:** A

### Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth and Tuber Yield of Potato

ZHANG Liang<sup>1</sup>, SUN Lei<sup>1\*</sup>, SU Hang<sup>1</sup>, YU Hongtao<sup>2</sup>, FU Qiang<sup>2</sup>, FAN Shuhua<sup>3</sup>, CHENG Yao<sup>1</sup>

(1 College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2 Suihua Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Suihua, Heilongjiang 152000, China; 3 Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang, Heilongjiang 150041, China)

**Abstract:** In order to discover the feasibility and effects of organic fertilizer substituting inorganic fertilizer (‘organic substitution’) in potato production, the effects of single and combined application of inorganic and organic fertilizers on the growth and yield of potato were studied by a field experiment conducted with ‘Youjin’ and ‘Kexin 23’ varieties. Results showed that the application of organic fertilizer significantly increased the plant heights, stem diameters, leaf area indexes and leaf SPAD values of the two varieties ( $P<0.05$ ), and prolonged the functional period of the above-ground vines and leaves of ‘Youjin’, thereby increased the average tuber weight of ‘Youjin’ ( $P<0.05$ ). The single application of inorganic fertilizer promoted the growth of vines and roots, the tuber numbers per plant and the accumulation of dry matter in tubers of two varieties. The highest tuber yields of the two varieties were both obtained under the treatment with inorganic fertilizer, which were 41.50 t/hm<sup>2</sup> for ‘Youjin’ at  $P_2O_5$  90 kg/hm<sup>2</sup> application and 41.26 t/hm<sup>2</sup> for ‘Kexin 23’ at  $P_2O_5$  135 kg/hm<sup>2</sup> application. Under the conditions of this experiment, partial or complete ‘organic substitution’ obtained the medium yields of the two potato varieties.

**Key words:** Potato; Organic fertilizer; Inorganic fertilizer; Phosphorus; Yield

马铃薯富含碳水化合物、蛋白质、维生素和矿物质<sup>[1]</sup>, 是重要的食品和工业原料。黑龙江省是我国马铃薯的重要产地, 总产量约占全国马铃薯产量的 10%<sup>[2]</sup>。但由于长期的过度种植及土壤侵蚀, 黑土厚度已由开垦初期的 70 ~ 100 cm 下降至 16 ~ 70 cm,

有机质含量由 60 ~ 150 g/kg 降为 19.8 g/kg, 黑土厚度的减少导致土壤肥力明显下降<sup>[3-4]</sup>。为了维持土壤生产力, 保证粮食产量, 化肥的施用量逐年增加, 而化肥不合理施用带来的生态环境问题也受到越来越多的关注<sup>[5]</sup>。

①基金项目: 东北区马铃薯化学肥料和化学农药减施技术模式集成与示范项目(2018YFD0200807)和黑龙江省经济作物现代农业产业技术协同创新体系项目(HNWXJTX201701)资助。

\* 通讯作者(sunleilee@163.com)

作者简介: 张亮(1995—), 男, 河南原阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为马铃薯的养分管理。E-mail: 2316001442@qq.com

随着近年来对合理施肥宣传和培训力度的增加, 黑龙江省马铃薯生产中氮肥施用逐渐趋于合理, 但是随之而来的是磷钾肥过量施用的现象逐渐突出, 特别是磷肥过量施用现象较为明显。通过对黑龙江省马铃薯种植户的调查发现, 雨养条件下, 2/3 的种植户磷(以  $P_2O_5$  计)的用量超过  $150 \text{ kg/hm}^2$ , 部分种植户磷的用量甚至达到  $300 \sim 400 \text{ kg/hm}^2$ (数据待发表)。过量施用磷肥导致土壤磷大量富集的现象已在我国多地出现<sup>[6-8]</sup>。磷肥过量施用不仅增加了种植成本, 降低肥料利用率, 同时还会造成环境污染, 诱导微量元素缺乏等问题<sup>[9]</sup>。

在保障粮食产量的同时维持和提高土壤肥力, 是农业可持续发展的保障<sup>[10]</sup>。有机肥对改良土壤、培肥地力具有不可替代的重要作用<sup>[11]</sup>。长期施用无机肥会大幅度降低土壤有机碳含量, 而补充有机肥有助于维持土壤中原有的有机质状态<sup>[12-13]</sup>, 提高土壤微生物功能多样性<sup>[14]</sup>。有机肥和无机肥配合施用还能提高土壤养分的有效性, 从而提高马铃薯产量<sup>[15]</sup>。然而 Kumar 等<sup>[16]</sup>研究表明, 配施有机肥虽然提高了马铃薯茎叶的鲜重和干重以及植株总生物量, 但并不能有效地提高马铃薯产量。由此可见, 有机肥替代无机肥是否能提高马铃薯的产量因受多种因素的影响, 结果并不一致<sup>[17-19]</sup>。

因此, 针对研究区域磷肥过量施用以及土壤质量下降问题, 本试验通过研究无机磷肥用量及部分有机替代对马铃薯生长发育及块茎产量构成因子的影响, 以确定该地区马铃薯生产中无机磷肥的适宜用量及有机肥替代无机肥的可行性和替代效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2017 年在黑龙江省绥化市北林区郎家寨进行, 试验田土壤类型为黑土, 前茬为大豆, 0~30 cm 土壤基础肥力测定结果见表 1。

表 1 土壤基础肥力

pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
5.11	19.83	1.57	0.62	138.20	35.33	240.67

供试马铃薯品种为‘尤金’和‘克新 23 号’, 均属早熟品种, 生育期 65~70 d; 供试肥料为尿素(含 N 464 g/kg)、磷酸二铵(含 N 180 g/kg,  $P_2O_5$  460 g/kg)、硫酸钾(含  $K_2O$  500 g/kg)、生物有机肥(含有机质 403 g/kg, N 15.5 g/kg,  $P_2O_5$  9.3 g/kg,  $K_2O$  6.0 g/kg)。

### 1.2 试验设计

试验设置 5 个处理, 3 次重复, 采用随机区组设计, 不同处理无机养分及有机肥施用量见表 2, 其中有机肥施用量为常规有机肥用量<sup>[20]</sup>, P2 处理为推荐磷用量, OP1 处理的总养分施用量与 P2 处理相近。有机肥及磷、钾肥作为基肥一次性施用, 50% 的氮在播种时施入, 剩余 50% 的氮在块茎形成期追施在垄侧, 施肥后覆土。每个小区 7 垄, 垄长 12 m, 垄宽 0.8 m, 株距为 0.2 m, 小区面积  $67.2 \text{ m}^2$ 。各小区之间留有 1 m 过道, 每个小区的第 1、4 和 7 垄和每垄两端 1 m 不取样, 第 2、3 垄用于生育期取样, 第 5、6 垄用于测产。

表 2 试验各处理无机养分及有机肥施用量

处理	无机养分用量( $\text{kg/hm}^2$ )			有机肥用量 ( $\text{kg/hm}^2$ )
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	
O	-	-	-	6 000
OP1	75	45	105	6 000
P1	150	45	150	-
P2	150	90	150	-
P3	150	135	150	-

### 1.3 样品的采集与测定

分别在出苗后 13 d(块茎形成期)、30 d(块茎膨大初期)、46 d(块茎膨大末期)、60 d(成熟收获期)进行取样, 每小区取 3 株完整植株, 带回室内进行清洗, 分解各器官、称重。叶面积用 LI-3100 型叶面积仪测定; SPAD 值用 SPAD-502Plus 便携式叶绿素仪对马铃薯倒四叶的顶叶进行测定<sup>[21]</sup>; 干物质积累量用烘干称重法测定(105℃杀青 30 min, 75℃下烘至恒重)。

马铃薯在收获时每小区在第 5 垄和第 6 垄分别连续取 6 m(共 12 m)全部的块茎, 每小区单独进行分级、计数、称重, 并计算总产量和商品薯( $\geq 100 \text{ g}$ )产量。

### 1.4 数据处理与分析

叶面积指数=总叶面积/土地面积; 比叶重( $\text{g/m}^2$ )=叶片干重(g)/叶面积( $\text{m}^2$ ); 根冠比=根干重/地上茎叶干重。

使用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 22.0 进行数据处理与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 有机肥和无机肥对马铃薯株高和茎粗的影响

如表 3 所示, 块茎膨大初期两个品种施有机肥处理(O、OP1)的株高均大于单施无机肥处理(P1、P2、P3), 但仅与 P1 处理的差异达显著水平( $P < 0.05$ )。‘尤

金’单施无机肥处理的株高随着施磷量的增加先增加后稍有减小,其中 P2 处理最高,较 P1 处理增加 5.66%( $P<0.05$ );而‘克新 23 号’的株高则随着无机磷施用量的增加持续增加,其中 P3 处理最高,较 P1 处理增加 10.22%( $P<0.05$ )。

‘尤金’单施有机肥处理(O)的茎粗仅显著高于 P1 处理,而‘克新 23 号’单施有机肥处理(O)的茎粗均显著高于单施无机肥处理( $P<0.05$ )。‘尤金’单施无机肥处理的茎粗在 P2 处理达到最高,较 P1 处理增加 20.67%( $P<0.05$ );而‘克新 23 号’的茎粗随着无机磷用量的增加无显著变化。

表 3 有机肥和无机肥对马铃薯株高和茎粗的影响

处理	株高(cm)		茎粗(mm)	
	尤金	克新 23 号	尤金	克新 23 号
O	63.97 a	63.78 a	12.83 a	12.33 a
OP1	67.84 a	63.91 a	12.37 ab	11.81 ab
P1	56.94 b	57.95 b	11.03 b	11.43 b
P2	60.16 a	61.77 ab	13.31 a	11.02 b
P3	59.37 ab	63.87 a	12.80 a	11.35 b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异达  $P<0.05$  显著水平,下同。

## 2.2 有机肥和无机肥对马铃薯叶面积指数、比叶重及 SPAD 值的影响

表 4 数据显示,块茎膨大初期,两品种配施有机

表 4 有机肥和无机肥对马铃薯叶面积指数、比叶重及 SPAD 值的影响

处理	叶面积指数		比叶重( $\text{g}/\text{m}^2$ )		叶片 SPAD 值	
	尤金	克新 23 号	尤金	克新 23 号	尤金	克新 23 号
O	4.84 a	4.87 a	37.30 ab	38.13 ab	45.51 a	42.44 a
OP1	4.78 a	4.25 ab	36.51 b	38.14 ab	45.06 a	41.89 a
P1	3.21 b	3.67 b	39.46 a	41.35 a	41.14 b	40.60 a
P2	4.17 ab	4.07 ab	38.18 ab	40.80 a	41.93 b	40.68 a
P3	4.59 a	4.40 ab	37.94 ab	37.26 b	40.84 b	41.03 a

从图 1B 可以看到,两个品种单施无机肥处理(P1、P2、P3)的根冠比均高于单施有机肥处理(O),且随着施磷量的增加根冠比均先增加后降低,其中‘尤金’P2 处理的根冠比显著高于施用有机肥的 O 和 OP1 处理( $P<0.05$ ),而‘克新 23 号’所有处理的根冠比差异均不显著。

## 2.4 有机肥和无机肥对马铃薯干物质积累的影响

干物质积累量是评估植株生长发育状况的重要指标。如图 2A 所示,‘尤金’单施无机肥处理(P1、P2、P3)的全株干物质积累量曲线呈“S”型变化,而施有机肥处理(O、OP1)的全株干物质积累量曲线呈

肥处理的叶面积指数普遍高于单施无机肥处理,其中单施有机肥处理(O)的叶面积指数均显著高于磷用量相近的 P1 处理,‘尤金’和‘克新 23 号’分别提高 50.78% 和 32.70%( $P<0.05$ )。两个品种单施无机肥处理的叶面积指数则随着施磷量的增加而增加。而比叶重变化规律与叶面积指数相反,两个品种有机肥处理的比叶重均较低,而单施无机肥处理的比叶重随着施磷量的增加而下降。由此可见,施用有机肥或增施无机磷肥虽然提高了马铃薯叶面积指数,但却导致比叶重下降。

‘尤金’施有机肥处理(O、OP1)的叶片 SPAD 值显著高于单施无机肥处理(P1、P2、P3)( $P<0.05$ ),单施无机肥处理的叶片 SPAD 值之间差异均不显著。

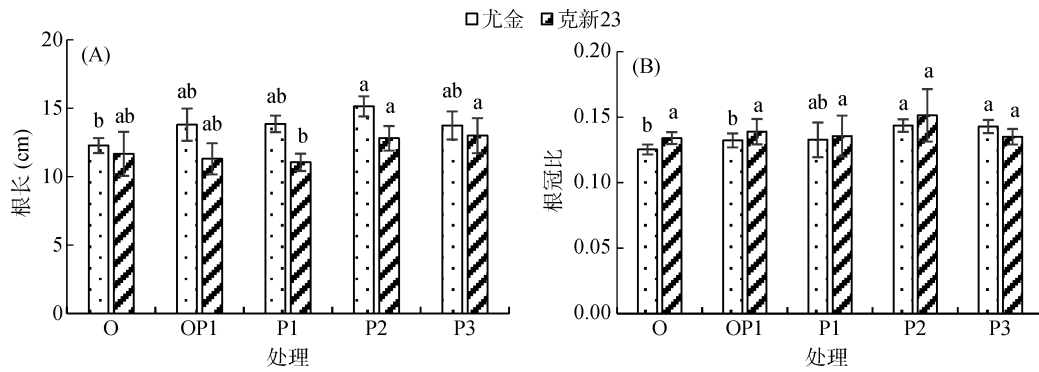
‘克新 23 号’施用有机肥处理的叶片 SPAD 值虽然也高于仅施用无机肥的处理,但差异不显著。

## 2.3 有机肥和无机肥对马铃薯根系发育的影响

如图 1A 所示,块茎形成期‘尤金’单施或配施无机磷肥处理的根长均高于单施有机肥处理(O),但仅 P2 处理与 O 处理差异显著( $P<0.05$ )。‘尤金’单施无机肥处理的根长则随着施磷量的增加先增加后减小,其中 P2 处理的根长较 P1 处理增加 9.24%;而‘克新 23 号’单施无机肥处理的根长随着施磷量的增加持续增加,其中 P3 处理较 P1 处理的根长增加 17.66%( $P<0.05$ )。

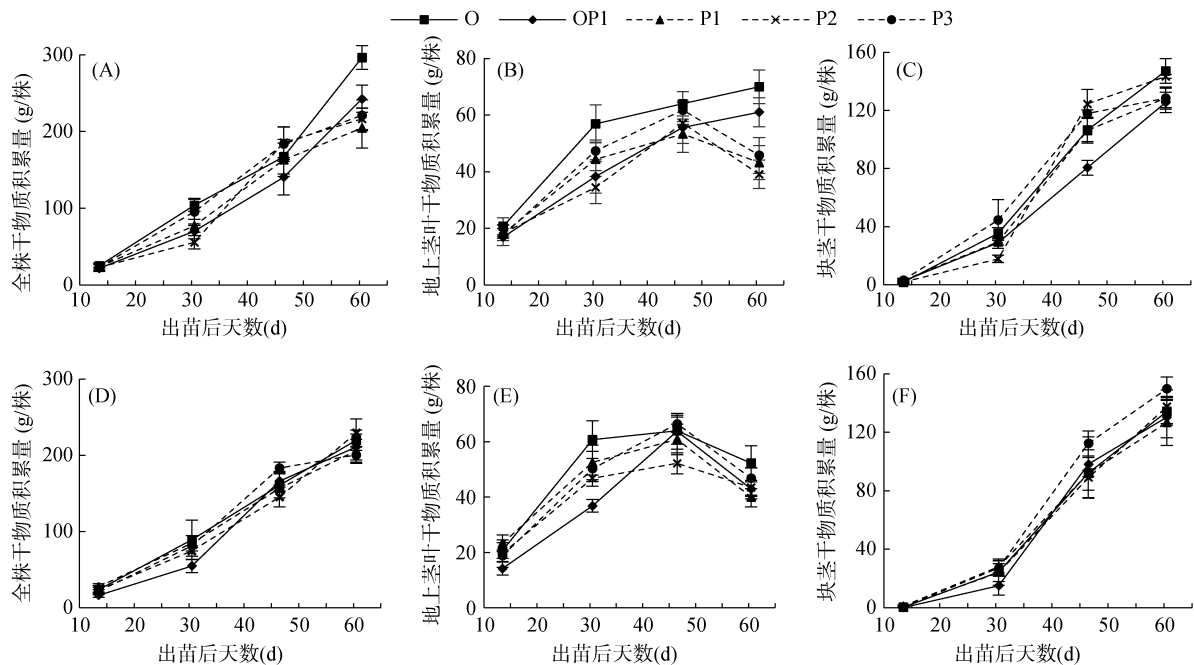
指数变化。而图 2D 显示,‘克新 23 号’所有处理中 OP1 和 P3 处理全株干物质积累量曲线明显呈“S”型变化,而其他处理的全株干物质积累量曲线呈线性变化。

从图 2B、2C 可见,‘尤金’单施无机肥处理(P1、P2、P3)的地上茎叶干物质积累量随出苗后天数的增加先增后减,在苗后 46 d 达到峰值,块茎干物质积累量在苗后 46 d 之前增加较快,之后增长速率则开始降低;施有机肥处理(O、OP1)的地上茎叶干物质积累量随出苗后天数的增加持续增加,块茎干物质积累量在苗后 30 d 至收获期始终维持稳定的增长速率,



(图中同系列柱状图不同小写字母表示处理间差异达  $P < 0.05$  显著水平, 下同)

图 1 有机肥和无机肥对马铃薯根长及根冠比的影响



(图 A、B、C 和图 D、E、F 分别为 ‘尤金’ 和 ‘克新 23 号’ 的全株、地上茎叶、块茎干物质积累量)

图 2 有机肥和无机肥对马铃薯干物质积累的影响

可能是施用有机肥延长了‘尤金’地上茎叶的功能期, 推迟了块茎膨大期块茎干物质的积累, 但促进了淀粉积累期块茎的干物质积累。从图 2E、2F 可见, ‘克新 23 号’ P3 处理的地上茎叶干物质积累量在各时期虽然不是最高, 但其块茎干物质积累量在各时期均最高, 而施用有机肥的两个处理与单独施用无机肥的 P1 和 P2 处理间没有显著差异。

2.5 有机肥和无机肥对马铃薯块茎产量的影响

如表 5 所示, ‘尤金’单施无机肥处理的单株结薯数均高于施有机肥处理, 但施有机肥处理的平均薯重更大。P2 处理的平均薯重处于较高水平, 且单株结薯数最多, 产量显著高于其他处理( $P < 0.05$ )。养分用量相近的 OP1 和 P2 处理, 虽然平均薯重相近, 但前者单株结薯数显著减少, 导致产量 OP1 较 P2 处理

降低 11.35% ( $P < 0.05$ ); 单施有机肥处理(O)的单株结薯数虽然较少, 但其平均薯重最高, 因而也获得了较高的产量。

与‘尤金’不同, ‘克新 23 号’除 P3 处理外, 其他处理的单株结薯数和平均薯重均差异不显著。P3 处理的平均薯重虽然与其他处理相近, 但是因单株结薯数显著高于其他处理( $P < 0.05$ ), 最终获得最高产量。养分用量相近的 OP1 和 P2 处理, 前者单株结薯数和平均薯重均低于后者, 导致 OP1 产量也低于 P2 处理, 但差异不显著。

两个品种 P1 处理的总产量及商品薯产量均为最低, 最高产量均为单施无机肥处理, ‘尤金’在施用  $P_2O_5$  90  $kg/hm^2$  时达到最高产量, 而 ‘克新 23 号’是在施用  $P_2O_5$  135  $kg/hm^2$  时达到最高产量。

表 5 有机肥和无机肥对马铃薯产量构成因子的影响

品种	处理	单株结薯数(个/株)	平均薯重(g/个)	总产量(t/hm <sup>2</sup> )	商品薯产量(t/hm <sup>2</sup> )
尤金	O	5.4 b	126.60 a	40.62 ab	30.21 ab
	OP1	5.4 b	114.85 ab	36.79 bc	28.97 bc
	P1	6.0 ab	99.44 b	35.93 c	26.24 c
	P2	6.2 a	111.43 ab	41.50 a	31.99 a
	P3	5.9 ab	106.25 b	37.55 b	27.10 b
克新 23 号	O	4.3 b	140.14 a	36.23 ab	31.42 a
	OP1	4.2 b	141.12 a	35.59 ab	30.60 a
	P1	4.1 b	137.82 a	34.15 b	29.27 a
	P2	4.4 b	144.50 a	37.62 a	31.81 a
	P3	4.8 a	143.10 a	41.26 a	35.21 a

### 3 结论

1)施有机肥和无机(磷)肥均能促进两个品种地上部茎叶的生长发育,有机肥还延长了‘尤金’茎叶的功能期而显著提高‘尤金’的平均薯重( $P<0.05$ )。而施无机(磷)肥能促进‘尤金’和‘克新 23 号’根系生长和块茎干物质积累,增加单株结薯数。

2)两个品种最高产量均为单施无机肥处理,但因为两个品种对磷的需求量不同,‘尤金’最高产量出现在  $P_2O_5$  用量  $90 \text{ kg/hm}^2$ , ‘克新 23 号’最高产量则出现在  $P_2O_5$  用量  $135 \text{ kg/hm}^2$ 。在本试验条件下,两品种全部和部分有机替代的产量均处于中等水平。

### 参考文献:

- [1] 曾凡逵, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述[J]. 中国马铃薯, 2015, 29(4): 233-243.
- [2] 吴国林. 黑龙江省马铃薯资源的开发与加工利用[J]. 黑龙江农业科学, 1996(5): 27-28.
- [3] 赵延凤, 王鹏, 孙振宇. 黑龙江垦区土壤肥力现状与大豆优化施肥研究[J]. 大豆科学, 2014, 33(2): 211-214.
- [4] 李平, 郎漫. 开垦年限对黑土氮初级转化速率和净转化速率的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(1): 165-173.
- [5] 刘钦普. 中国化肥投入区域差异及环境风险分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3596-3605.
- [6] 麻万诸, 章明奎, 吕晓男. 浙江省耕地土壤氮磷钾现状分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2012, 38(1): 71-80.
- [7] 金明清, 彭月月, 王佩, 等. 四川省盐源县植烟土壤氮磷钾空间变异特征及影响因素[J]. 土壤, 2016, 48(5): 984-991.
- [8] 陈玉东, 周健民, 邢璐, 等. 黑龙江海伦市农田土壤重金属与磷素含量的特征研究[J]. 土壤, 2015, 47(5): 965-972.
- [9] Ekelöf J E, Lundell J, Asp H, et al. Recovery of phosphorus fertilizer in potato as affected by application strategy and soil type[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2014, 177(3): 369-377.
- [10] 邹文秀, 梁尧, 郝翔翔, 等. 黑土颗粒有机碳和氮含量对有机肥剂量响应的定量关系[J]. 土壤, 2016, 48(3): 442-448.
- [11] 李娇, 信秀丽, 朱安宁, 等. 长期施用化肥和有机肥下潮土干团聚体有机氮组分特征[J]. 土壤学报, 2018, 55(6): 1494-1501.
- [12] Singh N P, Sachan R S, Pandey P C. Effect of a decade long fertilizer and manure application on soil fertility and productivity of rice-wheat system in a mollisol[J]. Journal of the Indian Society of Soil Science, 1999, 47(1): 72-80.
- [13] 柳玲玲, 苟久兰, 何佳芳, 等. 生物有机肥对连作马铃薯及土壤生化性状的影响[J]. 土壤, 2017, 49(4): 706-711.
- [14] 冶秀香, 刘亚军, 李越, 等. 不同培肥方式对马铃薯生长及土壤性状的影响[J]. 农业科学研究, 2016, 37(1): 25-30.
- [15] Islam M M, Akhter S, Majid N M N A, et al. Integrated nutrient management for potato (*Solanum tuberosum*) in grey terrace soil (Aric Albaquipt)[J]. Australian Journal of Crop Science, 2013, 7(9): 1235-1241.
- [16] Kumar A, Verma V S, Singh P, et al. Effect of organic and inorganic nutrient sources with varying row proportions on promising potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in western plains of Uttar Pradesh[J]. Annals of Agricultural Research, 2013, 34(3): 214-221.
- [17] 高怡安, 程万莉, 张文明, 等. 有机肥替代部分化肥对甘肃省中部沿黄灌区马铃薯产量、土壤矿质氮水平及氮肥效率的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(2): 54-60, 68.
- [18] Linus M M M, Irungu J W. Effect of integrated use of inorganic fertilizer and organic manures on bacterial wilt incidence (BWI) and tuber yield in potato production systems on hill slopes of central Kenya[J]. Journal of Mountain Science, 2004, 1(1): 81-88.
- [19] 谢永贤. 不同培肥措施对土壤养分及马铃薯产量的影响[J]. 中国马铃薯, 2017, 31(1): 25-29.
- [20] 程万莉, 刘星, 高怡安, 等. 有机肥替代部分化肥对马铃薯根际土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(6): 1459-1465.
- [21] 苏云松, 郭华春, 陈伊里. 马铃薯叶片 SPAD 值与叶绿素含量及产量的相关性研究[J]. 西南农业学报, 2007, 20(4): 690-693.