

引用格式:

杨雪, 高倩, 蔡林志, 董文, 叶亦心, 秦玉芝, 周华兰, 熊兴耀, 胡新喜. 新型肥料施用对马铃薯生长和产量及品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(5): 550–555.

YANG X, GAO Q, CAI L Z, DONG W, YE Y X, QIN Y Z, ZHOU H L, XIONG X Y, HU X X. Effects of new fertilizers and their combined application on the growth, yield and tuber quality of spring potato[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(5): 550–555.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



新型肥料施用对马铃薯生长和产量及品质的影响

杨雪¹, 高倩¹, 蔡林志¹, 董文¹, 叶亦心¹, 秦玉芝¹, 周华兰¹, 熊兴耀⁴, 胡新喜^{1,2,3*}

(1.湖南农业大学园艺学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省马铃薯工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128; 3.蔬菜生物学湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128; 4.中国农业科学院深圳农业基因组研究所, 广东 深圳 518120)

摘 要:以‘兴佳2号’马铃薯为材料,在减施化肥22.22%~50.00%的基础上,研究有机肥与化肥配施(T1,生物有机肥600 kg/hm²+复合肥1125 kg/hm²)、微肥与化肥配施(T2,微肥60 kg/hm²+复合肥1125 kg/hm²)、有机无机混肥(T3,1500 kg/hm²)、复合微生物肥(T4,1500 kg/hm²)和螯合腐植酸复合肥(T5,937.5 kg/hm²)等施肥方式及常规施肥对照(CK1,复合肥1500 kg/hm²)、减量施肥对照(CK2,复合肥1125 kg/hm²)、不施肥对照(CK3)对马铃薯生长、产量和品质的影响。结果表明:与CK1相比,T5、T1和T2可促进马铃薯植株的生长;T5、T2和T1产量分别比CK1增产19.82%、11.65%和8.2%,养分利用效率分别比CK2提高74.87%、57.75%和50.52%;CK2比CK1减施化肥25%,产量仅降低3.21%,养分利用效率提高了26.61%;各处理间干物质、淀粉、V-C、蛋白质、钾、还原糖含量等差异显著。在减施化肥25%的基础上,螯合腐植酸复合肥及生物有机肥或微肥与复合肥配施促进了马铃薯植株的生长,较大幅度提高了产量、品质和养分利用效率。

关 键 词:马铃薯;新型肥料;产量;品质

中图分类号: S632.06+2

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)05-0550-06

Effects of new fertilizers and their combined application on the growth, yield and tuber quality of spring potato

YANG Xue¹, GAO Qian¹, CAI Linzhi¹, DONG Wen¹, YE Yixin¹, QIN Yuzhi¹,
ZHOU Hualan¹, XIONG Xingyao⁴, HU Xinxi^{1,2,3*}

(1.College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Hunan Provincial Engineering Research Center for Potatoes, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Key Laboratory of Vegetable Biology of Hunan Province, Changsha, Hunan 410128, China; 4.Agricultural Genomics Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shenzhen, Guangdong 518120, China)

Abstract: Based on reducing chemical fertilizer by 22.22% to 50.00%, Xingjia No.2 potato was used as material to study the effects of combined application of biological organic fertilizer and chemical fertilizer(T1, biological organic fertilizer 600 kg/hm² and compound fertilizer 1125 kg/hm²), combined application of micronutrient fertilizer and chemical fertilizer (T2, micronutrient fertilizer 60 kg/hm² and compound fertilizer 1125 kg/hm²), organic-inorganic mixed fertilizer(T3, 1500 kg/hm²), compound microbial fertilizer(T4, 1500 kg/hm²), chelated humic acid compound fertilizer (T5, 937.5 kg/hm²), conventional fertilization control(CK1, compound fertilizer 1500 kg/hm²), reduced fertilization control(CK2, compound fertilizer 1125 kg/hm²) and no fertilization control(CK3) on the growth, yield and quality of the potato. The results showed that T5, T1 and T2 could promote the growth of potato plants compared with CK1. Compared

收稿日期: 2021-07-05

修回日期: 2022-03-28

基金项目: 现代农业产业技术体系(CARS-09-ES16)

作者简介: 杨雪(1996—),女,彝族,贵州省黔西南州人,硕士研究生,主要从事马铃薯栽培生理研究,1573689509@qq.com; *通信作者,胡新喜,博士,教授,主要从事马铃薯栽培生理生态研究, huxinxi163@163.com

with CK1, the yield with T5, T2 and T1 increased by 19.82%, 11.65% and 8.2% respectively, and nutrient use efficiency increased by 74.87%, 57.75% and 50.52% respectively. Compared with CK1, fertilizer application in CK2 reduced by 25%, but the yield in CK2 reduced only by 3.21% while the nutrient use efficiency increased by 74.87%. There were significant differences in tuber qualities including contents of dry matter, starch, V-C, protein, potassium, reducing sugar contents among different treatments. Hence, under the condition of 25% reduction of chemical fertilizer, the application of chelated humic acid compound fertilizer and biological organic fertilizer or micronutrient fertilizer combined with compound fertilizer promoted the growth of potato plants, significantly increased the tuber yield, tuber quality, and the nutrient utilization efficiency.

Keywords: potato; new fertilizer; yield; quality

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是仅次于水稻、小麦和玉米的第四大粮食作物^[1],栽培适应性强,产量高,营养丰富。根据联合国粮农组织统计数据,2019 年中国马铃薯种植面积为 491.5 万 hm^2 ,鲜薯产量为 9188.1 万 t,均居全球首位。

马铃薯产量和品质受其品种特性制约,同时也受外部环境、栽培措施的影响,其中以养分的影响最大^[1-2]。马铃薯喜肥,营养物质的合理供应对马铃薯块茎的形成与膨大、产量与品质的形成至关重要^[3-7]。自 20 世纪 80 年代起,中国的化学肥料施用量逐年递增,中国可用耕地面积占全世界总耕地面积的 9%,但化肥用量却达到了全球总施用量的 32%^[8]。随着单位面积化肥施用量的增加,粮食单产的增长率逐渐下降^[9],氮肥当季利用率为 30%~35%,磷肥的为 10%~25%,钾肥的为 35%~50%^[10]。中国马铃薯平均产量略低于世界平均水平,远低于许多发达国家^[11],但部分马铃薯主产区产量远高于全国平均单产,达到甚至超过发达国家水平。为追求高产和高效益,存在过量施肥、不当施肥等现象^[12-15],对土壤、地表水、地下水等环境因子造成了较严重的面源污染,导致土壤退化^[16-18],同时也阻碍了产品品质的改善和种植效益的提升;因此,加快新型肥料的研究应用,可以保证农业生产沿着高产高效的方向发展^[19-23]。有研究表明,化肥配施腐植酸、生物有机肥、微肥等新型肥料具有提高马铃薯产量、块茎品质、改良土壤和化肥减施的效果。王薇等^[24]研究表明,与施用普通化肥相比,施用腐植酸肥料能显著增加马铃薯的株高、茎粗,提高马铃薯叶片 SPAD 值、马铃薯产量、淀粉和 V-C 含量,降低还原性糖含量。桑卫民等^[25]研究表明,与常规复混肥相比,腐植酸和海藻酸增效复混肥均能显著提高马铃薯产量,改善薯块品质,促进氮素的吸收利用,氮肥利用率显著提高,增效复混肥减量 20%

时马铃薯产量不降低,但常规复混肥减量 20%时马铃薯产量明显降低,氮肥农学效率明显降低。沈宝云等^[26]研究表明,有机肥、腐植酸铵、微生物肥配施能显著提高甘肃干旱地区马铃薯产量,有效克服其连作障碍。张绪成等^[27]研究表明,减氮 50%与有机肥替代并花期追施,能增加生物量和提高生长速率,马铃薯块茎产量、水分利用效率和养分利用效率增加,是资源更加高效和作物增产的养分管理模式。BARI 等^[28]研究表明,与对对照常规施肥相比,单独增施 S 肥能显著提高马铃薯的产量,同时施 Zn、B、S 和 Mg 肥的产量最高。笔者根据南方早春马铃薯生长特性及养分需求特点,在减施化肥 22%~50%的基础上,研究不同新型肥料及配施对马铃薯生长、产量及品质的影响,旨在筛选出可提高马铃薯产量和品质的新型肥料,为南方冬闲田马铃薯施肥和养分高效管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

‘兴佳 2 号’马铃薯,由内蒙古兴佳薯业有限公司提供。

供试肥料:硫酸钾型复合肥,湖北三宁化工股份有限公司产品;生物有机肥,湖南华田盛德生物科技有限公司产品;镁硼锌铁微肥,长沙立盛化工产品;有机无机复混肥,湖北澳特尔化工有限公司产品;复合微生物肥,湖北正佳生物工程有限公司产品;螯合腐植酸复合肥,湖北临沮化工有限公司产品。

1.2 试验设计

试验于 2019 年 12 月至 2020 年 5 月在湖南省炎陵县水口镇进行。前作为水稻。土壤为沙壤土,土壤有机质含量 31.5 g/kg,碱解氮 198.3 mg/kg,有

效磷 47.9 mg/kg, 速效钾 203.3 mg/kg, 全氮 2.04 g/kg, 全磷 0.71 g/kg, 全钾 33 g/kg, pH 5.05。试验处理列于表 1。每个处理 3 次重复, 随机区组排列。播种前机械深翻、起垄。小区面积 20 m²。单垄双行种植, 6 行区, 株距 0.20 m, 宽行 0.8 m, 窄行

0.4 cm, 种植密度为 82 500 株/hm²。所有肥料均作基肥一次性施入, 施于 2 行种薯之间。播种后覆盖黑色地膜, 膜上覆土 3~4 cm。田间管理按照 DB43/T 502—2009《春马铃薯地膜覆盖栽培技术规程》进行。

表 1 马铃薯施肥试验设计

Table 1 Experimental design of different fertilizer treatments

处理	施肥方式	单位面积施入的 N、P、K 总养分/(kg·hm ⁻²)	单位面积施入的 N、P、K 比例	总养分减施比例/%
CK1	复合肥 1500 kg/hm ²	675.00	15 : 15 : 15	0.00
CK2	复合肥 1125 kg/hm ²	506.25	11.25 : 11.25 : 11.25	25.00
T1	生物有机肥 600 kg/hm ² +复合肥 1125 kg/hm ²	506.25	11.25 : 11.25 : 11.25	25.00
T2	微肥 60 kg/hm ² +复合肥 1125 kg/hm ²	506.25	11.25 : 11.25 : 11.25	25.00
T3	有机无机复混肥 1500 kg/hm ²	450.00	15 : 6 : 9	50.00
T4	复合微生物肥 1500 kg/hm ²	525.00	20 : 6 : 9	22.22
T5	螯合腐植酸复合肥 937.5 kg/hm ²	506.25	11.25 : 11.25 : 11.25	25.00
CK3	不施肥	0.00		100.00

1.3 测定项目与方法

于块茎膨大期每小区取 10 株植株测定株高、主茎数、茎粗及第 4 片完全展开叶顶小叶的 SPAD 值。收获时按小区收获, 称重, 并折合成每 hm² 的产量。每小区调查 10 株植株的单株块茎数、单株块茎重、单薯重。块茎按大小分级, 单薯 ≥ 50 g 的为商品薯, 否则为非商品薯, 计算商品薯率。依据 NY/T 1489—2007《马铃薯品种试验调查记载项目及依据》测定块茎干物质、淀粉含量; 参照 GB/T 5513—2008 测定还原糖含量。

1.4 统计分析

试验数据均采用 Excel 2010 进行处理; 采用

SPSS 23.0 进行方差分析与回归分析。

2 结果与分析

2.1 施肥方式对马铃薯植株性状的影响

从表 2 可以看出, 各处理间马铃薯出苗率差异不显著; T5 的主茎数最多, 其次为 T3 的, 但是处理间差异不显著; T5 的株高最高, 其次为 T1; T5 的茎粗最大, 其次为 T1 的; CK1 叶片的 SPAD 值最大, 显著高于 CK2、T1 和 CK3 的; CK3 的株高、茎粗、SPAD 值最低, 显著低于其他处理。说明螯合腐植酸复合肥、复合肥+生物有机肥、复合肥+微肥处理都可促进马铃薯植株的生长。

表 2 不同施肥方式马铃薯植株性状

Table 2 Plant botanical characters under different fertilizer treatments

处理	出苗率/%	主茎数/个	株高/cm	茎粗/mm	SPAD 值
CK1	94.25±1.78	1.17±0.23	(40.70±1.99)b	(10.85±0.42)ab	(44.09±0.95)a
CK2	96.83±1.91	1.27±0.07	(40.80±1.02)b	(9.86±0.07)bc	(42.04±0.88)b
T1	95.04±2.20	1.33±0.10	(43.40±1.16)ab	(11.03±0.57)ab	(42.91±1.18)b
T2	96.43±1.95	1.30±0.09	(41.87±2.28)b	(10.43±0.15)abc	(43.55±0.52)ab
T3	95.83±0.71	1.20±0.09	(41.70±4.31)b	(10.18±0.46)bc	(43.53±1.50)ab
T4	93.25±2.41	1.43±0.21	(35.90±3.10)b	(9.42±0.44)c	(44.06±1.43)ab
T5	96.43±0.20	1.53±0.09	(50.53±2.43)a	(11.70±0.09)a	(42.78±0.46)ab
CK3	93.06±2.75	1.20±0.12	(15.40±3.29)c	(7.16±0.18)d	(33.94±0.75)c

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.2 施肥方式对马铃薯产量及其构成的影响

从表 3 可以看出, T5 产量最高, 其次为 T4 的,

T5、T4、T3 的产量分别比 CK2 增产 19.82%、11.65% 和 8.2%, 其他处理的产量比 CK2 的低, 但是 CK2

与 CK1 相比, 减施化肥 25%, 产量仅比 CK1 低 3.21%。CK3 的产量最低, 显著低于其他处理。

T5 的单株结薯个数最多, T3 的最少; CK3 的单株块茎质量和单薯质量最小, T2 的单株块茎质量和单薯质量最大; 各处理间商品薯率差异不显著。

表 3 不同施肥方式的马铃薯块茎产量及其构成

Table 3 Yield and its components in potatoes under different fertilizer treatments						
处理	产量/(t·hm ⁻²)	比 CK1 增产/%	单株块茎数/个	单株块茎质量/g	单薯质量/g	商品薯率/%
CK1	(26.96±3.15)ab		(3.67±0.58)ab	(435.83±70.55)ab	(114.39±23.13)a	92.11±1.86
CK2	(26.09±6.41)bc	-3.21	(4.67±1.15)a	(386.39±35.96)b	(95.10±28.64)ab	89.54±7.48
T1	(29.17±2.90)ab	8.20	(3.33±0.58)ab	(353.33±8.78)b	(105.65±13.14)ab	91.03±2.32
T2	(30.10±3.51)ab	11.65	(4.33±0.58)ab	(638.33±63.78)a	(140.27±49.23)a	77.13±5.72
T3	(20.50±1.06)c	-23.96	(2.67±0.58)b	(305.00±44.26)b	(115.88±11.18)a	95.37±1.27
T4	(20.34±1.42)c	-24.56	(4.00±1.00)ab	(370.28±61.19)b	(92.29±11.47)ab	90.52±4.31
T5	(32.75±2.89)a	19.82	(5.00±1.00)a	(439.17±59.62)ab	(94.63±29.76)ab	87.47±8.44
CK3	(9.80±0.91)d		(3.67±1.15)ab	(197.78±60.18)b	(57.41±17.67)b	85.24±7.82

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

2.3 施肥方式对马铃薯的养分利用效率的影响

从表 4 中可以看出, T5、T2 和 T1 的氮素农学利用效率显著高于 CK1 的, 分别比 CK1 的高 74.87%、57.75%和 50.52%; T5、T2 的养分农学利用效率显著高于 CK1 的, T5、T2、T1 的养分农学利

用率分别比 CK1 提高 74.87%、57.75%和 50.52%。CK2 的氮素农学效率和养分农学利用效率均比 CK1 高 26.61%, T3、T4 的氮素农学效率和养分农学利用效率均低于 CK1 的。

表 4 不同施肥方式的马铃薯的养分利用效率

Table 4 The nutrient use efficiency of potato under different fertilizer treatments				
处理	氮素农学利用效率/(kg·kg ⁻¹)	比 CK1 提高/%	养分农学利用效率/(kg·kg ⁻¹)	比 CK1 提高/%
CK1	(76.25±4.05)bc		(25.42±1.35)bc	
CK2	(96.54±5.40)ab	26.61	(32.18±1.80)abc	26.61
T1	(114.77±5.40)a	50.52	(38.26±1.80)ab	50.52
T2	(120.28±5.40)a	57.75	(40.09±1.80)a	57.73
T3	(47.54±4.05)cd	-37.65	(23.77±2.03)c	-6.48
T4	(35.12±3.04)d	-53.95	(20.07±1.74)c	-20.06
T5	(133.33±5.40)a	74.87	(44.45±1.80)a	74.87

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

2.4 不同施肥方式对马铃薯块茎品质的影响

表5结果表明, CK3的干物质量和淀粉含量最高, 显著高于其他处理的, 其次为T2, 高于CK1的, T3的干物质量和淀粉含量最低。CK3的蛋白质含量

最低, T1、T2的较高; CK3的还原糖最高, 其他各处理间差异不显著; CK3的K含量最高, 显著高于其他处理的, T4的含量最低。CK1的V-C含量最高, 其次为CK2的, T4的V-C含量最低。

表 5 不同施肥方式的马铃薯块茎的主要品质性状

Table 5 Tuber quality of potato under different fertilizer treatments						
处理	干物质量/%	淀粉含量/%	蛋白质含量/%	钾含量/(mg·(100 g) ⁻¹)	还原糖含量/(mg·g ⁻¹)	V-C 含量/(mg·(100 g) ⁻¹)
CK1	(16.96±1.46)cde	(11.17±1.49)cde	(1.73±0.31)ab	(361.47±24.51)c	(7.92±2.56)b	(31.36±1.94)a
CK2	(17.72±2.11)bcd	(11.93±2.14)bcd	(1.90±0.29)ab	(380.24±51.10)bc	(10.08±2.67)b	(30.24±3.88)ab
T1	(18.59±0.37)bc	(12.83±0.37)bc	(2.06±0.12)a	(422.81±18.95)b	(7.97±2.93)b	(28.75±0.65)abc
T2	(19.59±1.26)b	(13.79±1.27)b	(1.94±0.21)a	(401.70±3.40)bc	(10.83±1.97)ab	(25.39±1.71)bc
T3	(15.10±0.69)e	(9.32±0.64)e	(1.75±0.13)ab	(366.14±41.46)bc	(6.79±1.26)b	(26.51±3.60)abc
T4	(15.98±0.84)de	(10.18±0.86)de	(1.80±0.08)ab	(358.41±13.19)c	(7.89±0.89)b	(24.27±4.24)c
T5	(16.80±0.37)cde	(11.03±0.37)cde	(1.73±0.24)ab	(359.85±5.81)c	(9.94±2.28)b	(25.39±2.82)bc
CK3	(24.52±2.14)a	(18.76±2.14)a	(1.51±0.13)b	(584.93±46.57)a	(14.46±2.79)a	(25.39±2.33)bc

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

3 讨论

化肥的施用显著提高了作物的产量,但是过量施用易导致土壤退化、环境污染等问题^[29]。长期定位施肥试验的研究结果表明,试验早期施用化肥,作物产量高于施用厩肥,但后期有机肥处理的产量会达到或超过施用化肥水平的,化肥施用有利于速效养分的供应,而厩肥施用更有利于土壤物理、化学和生物学特性的改善^[30];有机肥和化肥的合理配施结合了二者的优点,对提高土地生产力和改善土壤性状有明显的作用^[31-32],是获得持续高产、提高土壤肥力的有效措施^[33-35]。现代农业集约化生产及肥料的不平衡施用,造成土壤特别是有机质含量低的土壤营养元素的缺乏,影响作物的生长,而施用 B、Cu 和 Mo 肥可以促进小麦和水稻的生长,提高产量^[36-37]; Zn、B、S 和 Mg 肥的施用能促进马铃薯生长初期地上部的生长和后期光合产物的运输,获得更高的产量^[38]。

本研究结果表明,在减施化肥 25% 的基础上,施用螯合腐植酸复合肥 937.5 kg/hm²、生物有机肥+复合肥 1125 kg/hm²、微肥+复合肥 1125 kg/hm²,可促进马铃薯植株的生长,比常规施肥(CK2)的增产 19.82%、11.65% 和 8.2%,养分利用效率提高 74.84%、57.53% 和 50.5%,块茎淀粉、蛋白质和 K 含量有较大的提高,与前人^[24-28]的研究结果一致,但与桑卫民等^[25]研究不同的是,本试验常规复合肥减量 25%,产量仅减少 3.21%,养分利用效率提高 26.61%。与对照相比,复合微生物肥处理的马铃薯植株生长受到抑制,复合微生物肥处理和有机无机复混肥处理的产量显著降低,这可能与肥料中氮、磷、钾的配比和土壤、生态等条件有关。有研究表明,有机肥和化肥配施降低了肥效,可能是由于土壤、生态条件的差异造成的^[38]。本试验研究结果还表明,不施肥对照 CK1 的干物质质量、淀粉含量和钾含量最高,这与胡新喜等^[39]的研究结果一致。

综上,在减施化肥 25% 的基础上,螯合腐植酸复合肥及生物有机肥或微肥与复合肥配施促进了马铃薯植株的生长,较大幅度提高了块茎产量和块茎品质,提高了养分利用效率。有关这些施肥方式促进马铃薯生长、提高产量和品质的生理生态机制还有待深入研究。

参考文献:

- [1] KOLBE H, STEPHAN-BECKMANN S. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.) I. leaf and stem[J]. Potato Research, 1997, 40: 111-129.
- [2] SPARKS D L, HUANG P M, MUNSON R. Potassium in Agriculture[M]. Madison: American Society of Agronomy, 1985: 799-818.
- [3] 董文, 范祺祺, 叶亦心, 等. 施氮和施钾水平对冬播马铃薯生长及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(4): 392-398.
- [4] 张皓, 周丽敏, 申双和, 等. 不同钾肥施用量对马铃薯产量、品质及土壤质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(11): 116-119.
- [5] 王东方, 李海涛, 宋兴旺, 等. 多元微肥浸种对马铃薯增产效应的试验[J]. 中国马铃薯, 2000, 14(4): 227-228.
- [6] ALLISON M F, FOWLER J H, ALLEN E J. Responses of potato(*Solanum tuberosum* L.) to potassium fertilizers[J]. Journal of Agricultural Science, 2001, 136(4): 407-426.
- [7] PANIQUE E, KELLANG K A, SCHULTE E E, et al. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction[J]. American Journal of Potato Research, 1997, 74(6): 379-398.
- [8] 李庆逵. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998.
- [9] 曹志洪, 俞金洲, 魏正仓. 复混肥与推荐施肥[J]. 化肥工业, 1996, 23(1): 12-14.
- [10] 张琴. 提高化肥利用率——全球关注的问题[J]. 中国农资, 2005(4): 47.
- [11] 屈冬玉, 谢开云, 金黎平, 等. 中国马铃薯产业发展与食物安全[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 358-362.
- [12] 于静, 熊兴耀, 高玉林, 等. 中国马铃薯不同产区氮肥利用率的比较分析[J]. 中国蔬菜, 2019(7): 43-50.
- [13] 李成晨, 安康, 索海翠, 等. 广东省冬种马铃薯施肥现状调查与施肥对策[J]. 热带作物学报, 2019, 40(10): 2054-2060.
- [14] 秦永林, 于静, 陈杨, 等. 内蒙古灌溉马铃薯施肥现状及肥料利用效率[J]. 中国蔬菜, 2019(11): 75-79.
- [15] 今芝, 胡卫静, 梁宏, 等. 乌兰察布市马铃薯施肥现状研究[J]. 北方农业学报, 2019, 47(1): 57-62.
- [16] 张维理, 徐爱国, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 III. 中国农业面源污染控制中存在问题分析[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1026-1033.
- [17] 朱兆良, 孙波, 杨林章, 等. 我国农业面源污染的控制政策和措施[J]. 科技导报, 2005, 23(4): 47-51.
- [18] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(19): 1008-1010.

- [19] 冯尚善, 崔荣政, 王臣. 我国新型肥料产业发展现状及展望[J]. 磷肥与复肥, 2020, 35(10): 1–3.
- [20] 古丽皮叶·艾乃吐拉. 我国肥料的使用现状及新型肥料的发展[J]. 农业与技术, 2016, 36(10): 14.
- [21] 李香逸. 不同新型氮肥对春玉米产质量及肥料利用效率的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [22] 郭家萌, 何灵芝, 闫东良, 等. 控释氮肥和尿素配比对不同品种夏玉米氮素累积、转移及其利用效率的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(1): 81–95.
- [23] 王建国, 尹金, 郭峰, 等. 新型缓释掺混肥对花生产量和肥料利用的影响[J]. 花生学报, 2020, 49(3): 64–67.
- [24] 王薇, 李子双, 穆吉珍. 腐植酸复合肥在马铃薯上的应用效果研究[J]. 山东农业科学, 2016, 48(6): 81–83.
- [25] 桑卫民, 李絮花. 增效复混肥在马铃薯上的应用效果[J]. 山东农业科学, 2020, 52(12): 75–78.
- [26] 沈宝云, 余斌, 王文, 等. 腐植酸铵、有机肥、微生物肥配施在克服甘肃干旱地区马铃薯连作障碍上的应用研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011(2): 68–70.
- [27] 张绪成, 于显枫, 王红丽, 等. 半干旱区减氮增钾、有机肥替代对全膜覆盖垄沟种植马铃薯水肥利用和生物量积累的调控[J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 852–864.
- [28] BARI M S, RABBANI M G, RAHMAN M S, et al. Effect of zinc, boron, sulphur and magnesium on the growth and yield of potato[J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2001, 4(9): 1090–1093.
- [29] DRAKOPOULOS D, SCHOLBERG J M S, LANTINGA E A, et al. Influence of reduced tillage and fertilization regime on crop performance and nitrogen utilization of organic potato[J]. Organic Agriculture, 2016, 6(2): 75–87.
- [30] 林葆, 林继雄, 艾卫, 等. 有机肥与化肥配合施用的定位试验研究[J]. 土壤肥料, 1985(5): 22–27.
- [31] 李娟, 赵秉强, 李秀英. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144–152.
- [32] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 等. 有机–无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 138–147.
- [33] 刘守龙, 童成立, 吴金水, 等. 等氮条件下有机无机肥配比对水稻产量的影响探讨[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 106–112.
- [34] 田昌, 彭建伟, 宋海星, 等. 不同有机无机肥配施比例对湘杂油 763 生长和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2011, 20(5): 94–98.
- [35] 张兰松, 马永安, 李保军, 等. 有机无机肥配合施用对小麦的增产作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 503–505.
- [36] JAHIRUDDIN M, HOQUE M S, ROY P K. Influence of copper, boron, and molybdenum on grain formation in wheat[J]. Crop Research, 1992(5): 35–42.
- [37] MONDAL M H R, JAHIRUDDIN M, RAHMAN M M, et al. An investigation of nutrient requirements for BR11 rice in old Brahmaputra flood plain soil[J]. Bangladeshi Journal of Crop Science, 1991(2): 23–30.
- [38] TREHAN S P, GREWAL J S. Comparative efficiency of methods of application of zinc to potato[J]. Indian Journal of Agricultural Science, 1981, 51: 240–243.
- [39] 胡新喜, 冯艳青, 雷艳, 等. 不同施氮水平下秋马铃薯的生长以及 *StNR* 和 *StAT* 的表达[J]. 园艺学报, 2015, 42(10): 1974–1982.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗 维