

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2017)04-0221-06

土壤肥料

## 不同生物有机复合肥施肥量对半干旱区马铃薯水分利用、产量及经济收益的影响

张悦<sup>1</sup>, 马一凡<sup>2\*</sup>

(1. 甘肃省定西市安定区园艺工作站, 甘肃 定西 743000; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 生物有机复合肥是解决马铃薯连作障碍、提高产量品质和保护农田环境的有效措施。半干旱区大田条件下, 以传统肥料为对照, 于2015和2016年研究不同生物有机复合肥施肥量对半干旱区马铃薯水分利用、产量及经济收益的影响。结果表明, 与常规肥料相比, 2015~2016年当亚环生物多元有机复合肥施肥量达到1 800 kg/hm<sup>2</sup>时, 马铃薯总耗水量略有下降, 但促进了花后耗水, 导致花期地上地下生物量提高, 使收获期单株结薯数和大中薯率显著增加, 产量分别达到29 244和24 684 kg/hm<sup>2</sup>, 分别较对照增产1 775和6 115 kg/hm<sup>2</sup>, 水分利用效率提高8.6和20.2 kg/hm<sup>2</sup>·mm, 增收1 468和7 978元/hm<sup>2</sup>。因此, 在半干旱区的亚环生物多元有机复合肥施肥量为1 800 kg/hm<sup>2</sup>, 能够显著提高马铃薯产量和水分利用效率, 并获得最高的经济收益, 为该区域的适宜施肥量。

**关键词:** 半干旱区; 马铃薯; 生物有机复合肥; 产量; 水分利用效率; 经济收益

## Effects of Different Biological-organic Synthetic Fertilizer Application Rates on Water Use Efficiency, Yield, and Economic Benefits of Potato in Semi-arid Area

ZHANG Yue<sup>1</sup>, MA Yifan<sup>2\*</sup>

(1. Anding Horticultural Crop Station, Dingxi, Gansu 743000, China;

2. Institute of Dryland Farming, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** The application of biological organic synthetic fertilizer is an efficient method to solve the continuous cropping inhibition, improve yield and quality of potato and protect farmland environments. Compared with traditional fertilizer application, the effects of different biological organic synthetic fertilizer application rates on water use efficiency (WUE), yield and economic benefits of potato were studied under field conditions from 2015 to 2016. The results showed that when the application rate of Yahuan biological organic synthetic fertilizer reached to 1 800 kg/ha, the total evapotranspiration of potato decreased slightly, but the evapotranspiration after flowering was promoted, resulting in the increasing in biomass, tuber number and percentage of large- and medium-sized potato in both 2015 and 2016, compared with traditional fertilizer application. The yield reached to 29 244 and 24 684 kg/ha, increased by 1 775 and 6 115 kg/ha, respectively. Also, when the biological organic synthetic fertilizer was applied at the rate of 1 800 kg/ha, WUE was increased by 8.6 and 20.2 kg/ha·mm, and the economic benefit was increased by 1 468 and 7 978 Yuan/ha in 2015 and 2016, respectively, compared with traditional fertilizer application. So the suitable application rate of Yahuan biological organic synthetic fertilizer is 1 800 kg/ha in semi-arid area. At this application rate, yield, WUE and economic benefit of potato could be increased significantly.

**Key Words:** semi-arid area; potato; biological organic synthetic fertilizer; yield; water use efficiency; economic benefit

收稿日期: 2017-01-09

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2015BAD22B04); 甘肃省科技重大专项(1502NKDA003)。

作者简介: 张悦(1972-), 女, 农艺师, 从事农业技术推广工作。

\*通信作者(Corresponding author): 马一凡, 农艺师, 从事农业技术推广工作, E-mail: 954884956@qq.com。

马铃薯具有抗旱、高产、耐瘠薄等优势, 需水规律和西北半干旱区降水格局基本吻合, 是该区着力发展的特色优势作物之一<sup>[1]</sup>。近年来, 马铃薯的播种面积迅速增加, 以西北旱作马铃薯主产区—甘肃省定西市为例, 2012年超过21.3万hm<sup>2</sup>, 占总耕地面积的19%以上, 占粮食作物播种面积的47.2%<sup>[2]</sup>, 成为农业增产和农民增收的重点产业<sup>[2,3]</sup>。马铃薯播种面积的扩大导致连作面积和年限逐年增加, 使马铃薯病害大面积发生<sup>[4-6]</sup>, 加之大量施用化肥, 导致土壤性状恶化, 产品品质下降<sup>[7]</sup>。生物有机复合肥能够改善土壤微生物结构, 降低病害发生几率, 并能促进马铃薯对养分和水分的利用效率, 增强抗旱性和提高块茎品质<sup>[8,9]</sup>。亚环多元生物有机复合肥添加了生物保水保肥剂和活性腐植酸, 对于提高农作物产量、改良土壤理化性状、提高农产品的等级和质量、保护生态环境有显著效果<sup>[10]</sup>。为了进一步确定亚环多元生物有机复合肥的适宜施肥量及其对马铃薯产量和水分利用的影响, 于2015和2016年进行田间试验, 以传统施肥为对照, 设4个生物有机肥复合肥料施肥量, 测定马铃薯关键生育期土壤含水量、生物量、产量等指标, 计算水分利用效率、经济收益, 以明确资源和经济高效的施肥量, 为半干旱区马铃薯产业发展提供技术支撑。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验材料

供试品种: ‘新大坪’, 中晚熟品种, 由甘肃省定西市安定区农业技术推广服务中心选育。

供试肥料: 亚环生物多元有机复合肥(根茎类专用)(N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O ≥ 10%, 有机质 ≥ 30%), 安徽亚环生物科技有限公司。

### 1.2 试验地概况

试验地设于安定区青岚乡大坪村, 位于甘肃中部的低山丘陵区, 属中温带干旱半干旱气候, 雨养农业区, 年平均气温7.7℃, 无霜期约141d, 年平均降雨量400mm, 海拔1900m, 太阳辐射量141.4 kcal/cm<sup>2</sup>, 年平均日照2500h。试验田前茬作物玉米, 土壤为黄绵土, pH 6.8, 有机质含量

10.37 g/kg, 全氮0.78 g/kg, 全磷0.69 g/kg, 全钾22.40 g/kg, 水解氮48 mg/kg, 速效磷13.35 mg/kg, 速效钾204 mg/kg, 缓效钾1232 g/kg, 阳离子代换量5.14 cmol(+)/kg土, 铁4.68 mg/kg, 锰5.34 mg/kg, 铜1 mg/kg, 锌0.7 mg/kg, 硼0.51 mg/kg。

### 1.3 试验方法

试验于2015~2016年进行, 设5个处理: CK为常规肥料(CK), 尿素345 kg/hm<sup>2</sup>(N 46.00%)、过磷酸钙870 kg/hm<sup>2</sup>(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 18%)、硫酸钾255 kg/hm<sup>2</sup>(K<sub>2</sub>O 33%), 生物有机复合肥设4个水平, 即600 kg/hm<sup>2</sup>(Low rate, 处理代号为LR), 1200 kg/hm<sup>2</sup>(Middle rate, 处理代号为MR), 1800 kg/hm<sup>2</sup>(High rate, 处理代号为HR), 2400 kg/hm<sup>2</sup>(Over rate, 处理代号为OR), 3次重复, 随机区组排列。小区面积25.92 m<sup>2</sup>(3.6 m × 7.2 m), 区间距、走道均为40 cm, 试验地四周设2 m宽保护行。起垄覆膜前, 结合整地1次性作为基肥均匀施入。按大垄宽70 cm、高20 cm、小垄宽50 cm、高15 cm划行起垄, 用厚0.008 mm、宽140 cm的黑色膜全膜双垄面膜侧种植, 株距36 cm, 行距60 cm, 每小区播种6行, 每行20株, 小区保苗120株, 46296株/hm<sup>2</sup>。在播前、花期和收获期测定0~120 cm土层的土壤贮水量, 以及地上地下生物量。

土壤贮水量用土钻法, 每20 cm为一个层次, 土壤贮水量计算公式:  $SWS(mm) = WS \times \gamma_b \times d / 100$  式中, WS为土壤重量含水量(g/kg);  $\gamma_b$ 为土壤容重(g/cm<sup>3</sup>); d为土壤深度(cm)。收获后选择长势均一的20株进行考种; 将整个小区收获后称重计产, 并计算大中薯率。

耗水量和水分利用效率按以下公式计算:

阶段耗水量(ET<sub>i</sub>)  $ET_i = SWS_i - SWS_{i+1} + P$ , 式中, SWS<sub>i</sub>为某个生育时期初始时的土壤贮水量; SWS<sub>i+1</sub>为该生育时期结束时的土壤贮水量; P为生育期降雨量。

水分利用效率(WUE)  $WUE = Y_d / ET$ , Y<sub>d</sub>为马铃薯单位面积产量(kg/hm<sup>2</sup>);  $ET = SWS_{BF} - SWS_{HA} + P$ , 式中SWS<sub>BF</sub>为播种前土壤贮水量; SWS<sub>HA</sub>为收获后土壤贮水量; P为马铃薯全生育期降雨量。

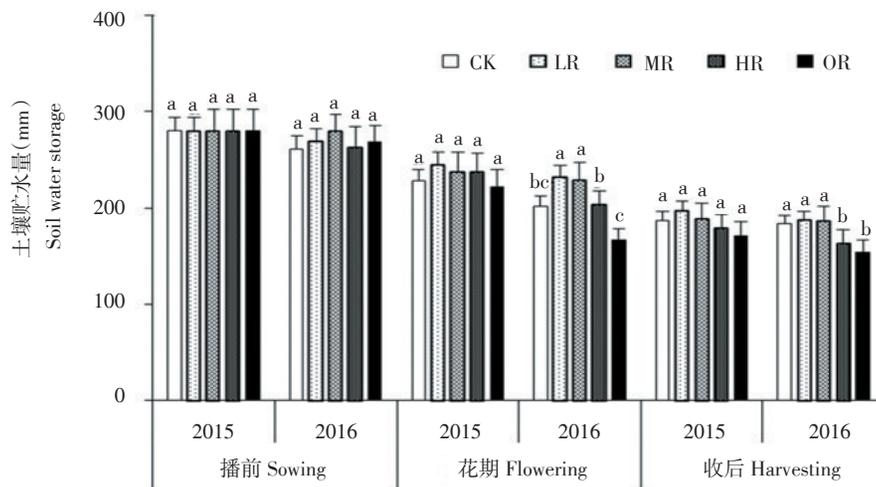
大中薯率(%) = 单薯重大于 100 g 的重量/总重量 × 100。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对马铃薯不同生育期土壤贮水量的影响

在降水较多的 2015 年, 不同施肥处理对土壤贮水量无显著影响, 但在干旱的 2016 年, 马铃薯花期生物有机肥施用量为 600 和 1 200 kg/hm<sup>2</sup> 的土壤贮水量显著高于传统化肥、HR 和 OR 处理,

而且 HR 处理的土壤贮水量显著高于 OR(图 1)。在收获期, 2015 年各处理间的土壤贮水量无显著差异, 但 2016 年 OR 处理的土壤贮水量最低, 其次为 HR 处理, 二者间差异不显著, 但均显著低于其余 3 个处理, 这主要是由于 OR 和 HR 处理马铃薯前期耗水较大, 并且在 2016 年遭遇严重伏旱, 导致收获期土壤贮水量降低。因此, 不同肥料类型和施用量对马铃薯不同生育期的土壤贮水量有较为明显的影响, 尤其在干旱年份达到显著差异。



图柱不同字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), LSD法比较。下同。

Bar with different letters mean significant difference at 0.05 level ( $P < 0.05$ ) as tested by LSD method. The same below.

图 1 不同施肥处理对土壤贮水量的影响

Figure 1 Effects of different fertilizer treatments on soil water storage

### 2.2 不同施肥处理对马铃薯花前花后耗水量的影响

不同施肥处理对马铃薯花前花后耗水量有明显影响(图 2)。OR 处理的花前耗水量最高, 2015 和 2016 年分别较 CK 和 HR 增加了 6.5、15.5 mm 和 42.0、42.5 mm, 其中 2016 年达到显著水平; 花后耗水量以 HR 最高, 2015 和 2016 年分别较 CK 和 OR 增加了 17.0、8.2 mm 和 21.5、27.0 mm。因此, 不同施肥量对马铃薯花前花后耗水量有显著影响, 这可能对块茎发育有一定影响。

### 2.3 不同施肥处理对马铃薯生物性状的影响

2015 年 HR 和 OR 的出苗率最高, 达到 96.8%, 但处理间无显著性差异(表 1); LR 和 MR

的株高较 CK 降低, HR 和 OR 较 CK 均有升高, OR 的株高最高, 2015 年达到 78.8 cm, 2016 年达到 76.9 cm, 但 2 年处理间差异均不显著。单株结薯数 2 年以 OR 最高, 但 OR 和 HR 在 2015 年的差异不显著, 显著高于 LR 和 MR。HR 和 OR 的大中薯率在 2 年间无显著差异, 其中 2015 年 OR 高于 HR, 2016 年 HR 高于 OR, 且高于 CK。由此可见, 施肥量对马铃薯的单株结薯数和大中薯率有显著的影响, 随生态有机复合肥施用量增加, 各产量构成因素均呈增加的趋势。2016 年由于遭遇特大伏旱, 6 月下旬至 8 月上旬无有效降雨, 使得块茎发育和膨大受到严重干旱胁迫, 所以大中薯率较 2015 年显著下降。

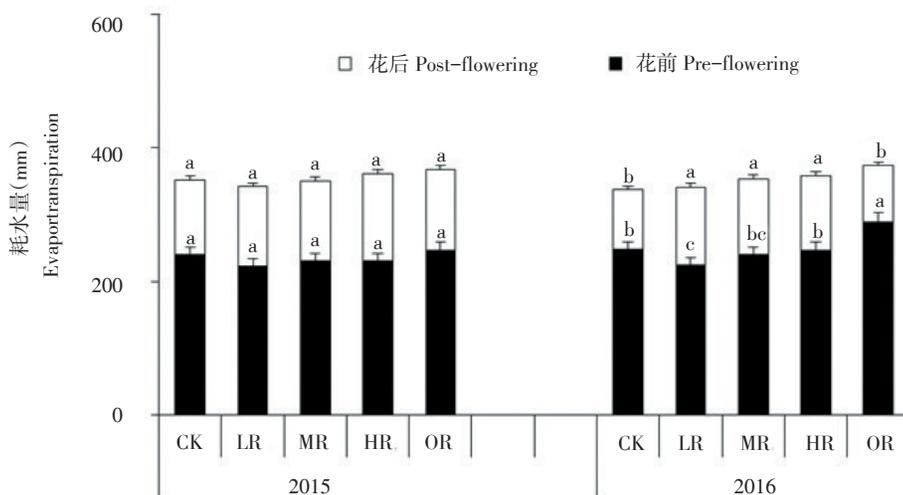


图2 不同施肥处理对马铃薯花前花后耗水量的影响

Figure 2 Effects of different fertilizer treatments on evapotranspiration of pre-flowering and post-flowering stage of potato

表1 不同施肥处理对马铃薯生物性状的影响

Table 1 Effects of different fertilizer treatments on biological traits of potato

| 处理<br>Treatment | 出苗率(%)<br>Emergence percentage |        | 株高(cm)<br>Plant height |        | 单株结薯数(No./plant)<br>Tuber number per plant |       | 大中薯率(%)<br>Large- and medium-sized tuber percentage |         |
|-----------------|--------------------------------|--------|------------------------|--------|--|-------|---|---------|
|                 | 2015                           | 2016   | 2015                   | 2016   | 2015                                       | 2016  | 2015  | 2016    |
|                 | LR                             | 95.6 a | 96.5 a                 | 73.8 a | 76.3 a                                     | 8.1 b | 5.2 c   | 60.5 b  |
| MR              | 96.3 a                         | 95.8 a | 75.2 a                 | 73.9 a | 6.6 c                                      | 4.6 d | 62.2 ab   | 21.3 d  |
| HR              | 96.8 a                         | 95.6 a | 78.2 a                 | 76.5 a | 9.5 a                                      | 7.9 b | 65.8 a  | 45.1 a  |
| OR              | 96.8 a                         | 97.1 a | 78.8 a                 | 76.9 a | 10.2 a                                     | 9.8 a | 66.5 a  | 43.8 ab |
| CK              | 95.2 a                         | 94.7 a | 75.5 a                 | 76.3 a | 8.4 ab                                     | 9.7 a | 64.3 ab   | 41.2 b  |

注: 大中薯指 100 g 以上的鲜薯。

Note: Large- and medium-sized tuber means weight of per tuber > 100 g.

### 2.4 不同施肥处理对马铃薯生物量的影响

不同施肥处理对马铃薯产量有显著影响(图3)。花期的地上生物量以OR处理最高, LR最低; OR和HR间差异不显著, 但显著高于其他处理。收获期地上生物量以OR和HR最高, 二者无显著差异, 但显著高于其他3个处理, 2015和2016年OR的单株生物量分别较CK、LR和MR增加了63.3、161.1、80.0 g和39.4、102.3、50.1 g。花期HR的地下生物量最高, 但与OR间无显著差异, 而高于其他3个处理, 2015和2016年HR的

单株生物量分别较CK、LR和MR增加了39.0、80.6、55.6 g和30.2、102.1、54.8 g; 收获期HR的地下生物量最高, 与OR间差异不显著, 但显著高于CK和LR, 2015和2016年分别增加了52.5、93.3 g和53.5、99.0 g。2015和2016年表现相同的变化趋势, 但各处理间的地下生物量变化幅度在2016年更大。

### 2.5 不同施肥处理对马铃薯产量和水分利用效率的影响

不同施肥处理对马铃薯块茎产量有显著影响

(表2)。HR和OR产量最高,且与其他3个处理差异达显著水平,2015和2016年HR较CK分别增产1 775和6 115 kg/hm<sup>2</sup>。2015年各处理之间的总耗水量无显著差异,但2016年CK显著高于LR和MR处

理,增加了36.4和32.9 mm。HR的水分利用效率最高,2015和2016年分别达到83.3和69.9 kg/hm<sup>2</sup>·mm,分别较CK增加了8.6和20.2 kg/hm<sup>2</sup>·mm,达显著差异。

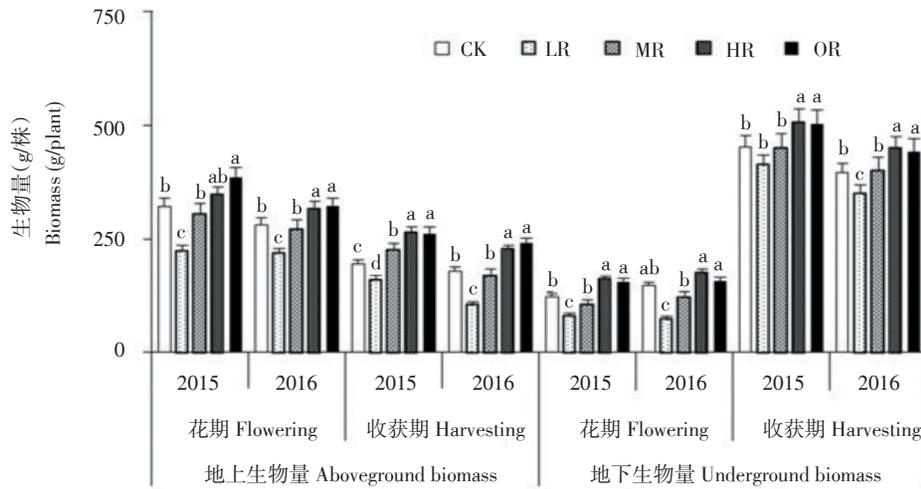


图3 不同施肥处理对马铃薯生物量的影响

Figure 3 Effects of different fertilizer treatments on biomass of potato

表2 不同施肥处理对马铃薯产量和水分利用效率的影响

Table 2 Influence of different fertilizer treatments on potato yield and water use efficiency

| 处理<br>Treatment | 产量(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Yield (kg/ha) |          | 耗水量(mm)<br>Evapotranspiration |          | 水分利用效率(kg/hm <sup>2</sup> ·mm)<br>Water use efficiency (kg/ha·mm) |        |
|-----------------|--|----------|-------------------------------|----------|---|--------|
|                 | 2015                                     | 2016     | 2015                          | 2016     | 2015  | 2016   |
| LR              | 25 116 c                                 | 15 662 c | 352.5 a                       | 337.3 b  | 71.3 b  | 46.4 c |
| MR              | 27 199 bc                                | 19 036 b | 341.9 a                       | 340.8 b  | 79.6 ab   | 55.9 b |
| HR              | 29 244 a                                 | 24 684 a | 350.9 a                       | 353.2 ab | 83.3 a  | 69.9 a |
| OR              | 29 360 a                                 | 24 052 a | 360.5 a                       | 358.3 ab | 81.4 a  | 67.1 a |
| CK              | 27 469 b                                 | 18 569 b | 367.9 a                       | 373.7 a  | 74.7 b  | 49.7 c |

### 2.6 不同施肥处理对马铃薯经济收益的影响

不同处理的产值与产量变化一致(表3)。HR在2年期间的纯收入最高,2015年高于OR,但无显著差异。HR的纯收益在2015年与CK无显著差异,2016年则增加了7 978元/hm<sup>2</sup>,达到显著差异。LR和MR在2015年均较CK减收,2016年MR较CK增收706元/hm<sup>2</sup>,但LR下降了3 155元/hm<sup>2</sup>,差异显著。

### 3 讨论

近年来,无公害蔬菜越来越受到消费者的重视。邓接楼等<sup>[10]</sup>研究结果表明,施用有机肥与单施化肥相比,小白菜的产量和品质有较大的提高和改善。徐文畅等<sup>[11]</sup>研究结果表明,施足量有机肥,马铃薯生育时间明显缩短、抗逆能力明显增强、产量极显著提高。调控作物花前花后耗水,

表3 不同施肥处理对马铃薯经济收益的影响

Table 3 Effects of different fertilizer treatments on economic benefit of potato

| 处理<br>Treatment | 投入(元/hm <sup>2</sup> )<br>Input (Yuan/ha) | 产值(元/hm <sup>2</sup> )<br>Output value (Yuan/ha) |          | 纯收入(元/hm <sup>2</sup> )<br>Pure income (Yuan/ha) |          | 增收(元/hm <sup>2</sup> )<br>Increase income (Yuan/ha) |          |
|-----------------|---|--|----------|--|----------|---|----------|
|                 |   | 2015   | 2016     | 2015   | 2016     | 2015  | 2016     |
|                 |   | LR   | 1 200    | 37 674 c   | 23 493 c | 36 474 b  | 22 293 d |
| MR              | 2 400                                     | 40 799 b   | 28 554 b | 38 399 b   | 26 154 c | -399  | 706      |
| HR              | 3 600                                     | 43 866 a   | 37 026 a | 40 266 a   | 33 426 a | 1 468   | 7 978    |
| OR              | 4 800                                     | 44 040 a   | 36 078 a | 39 240 a   | 31 278 b | 442   | 5 830    |
| CK              | 2 406                                     | 41 204 b   | 27 854 b | 38 798 ab  | 25 448 c | -   | -        |

注: 1. 农资投入概算只包括各处理间的差异部分; 2. 涉及的农资和农产品分别按照以下市场价格计算: 亚环生物多元有机复合肥 2.00 元/kg、尿素 2.00 元/kg、过磷酸钙 0.80 元/kg、硫酸钾 4 元/kg、马铃薯 1.5 元/kg。

Note: 1. Agricultural capital investment budget includes only the differences between the groups; 2. Agricultural materials and products are calculated according to the following market prices: Yahuan biological organic synthetic fertilizer is 2.00 Yuan/kg; urea is 2.00 Yuan/kg; calcium superphosphate is 0.80 Yuan/kg; potassium sulphate is 4 Yuan/kg, and potato is 1.5 Yuan/kg.

对于优化作物冠层和提高水分利用效率有重要作用, 张绪成等<sup>[3]</sup>研究表明, 适度减少花前耗水, 增加花后耗水, 对提高马铃薯产量有积极作用。本试验结果表明, 施用亚环生物多元有机复合肥施肥量达到 1 800 kg/hm<sup>2</sup>时, 促进马铃薯花后耗水量增加, 促进地上地下部分生长, 尤其是地下部分生物量较其他处理明显增加, 提高了单株结薯数和大中薯率, 在消耗较少水分的情况下获得较高的产量和水分利用效率。虽然生物有机复合肥施用量为 2 400 kg/hm<sup>2</sup>时, 产量同样较 CK 有显著增加, 但由于成本增加, 所以其经济收益较 1 800 kg/hm<sup>2</sup>呈下降趋势, 并在干旱的 2016 年达到显著差异。因此, 综合马铃薯产量, 水分利用效率和经济收益结果, 认为 1 800 kg/hm<sup>2</sup>是半干旱区生物有机复合肥在马铃薯生产中的适宜施肥量, 可用于指导具体生产实践。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 张世福. 定西市发展马铃薯产业的综合优势分析 [J]. 农学学报, 2011(7): 44-49.
- [ 2 ] 甘肃省统计局. 甘肃统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [ 3 ] 张绪成, 王红丽, 于显枫, 等. 半干旱区全膜覆盖垄沟间作种植马铃薯和豆科作物的水热及产量效应 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 468-481.
- [ 4 ] 姚玉璧, 张存杰, 万信, 等. 气候变化对马铃薯晚疫病发生发展的影响—以甘肃省定西市为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(1): 173-178.
- [ 5 ] 庄俊康. 今年甘肃省马铃薯晚疫病发生面积或超 800 万亩 [N]. 甘肃经济日报, 2013-07-17.
- [ 6 ] 汪春明, 马琨, 代晓华, 等. 间作栽培对连作马铃薯根际土壤微生物区系的影响 [J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(6): 711-716.
- [ 7 ] 崔世福, 何随成. 多元生物有机复合肥的推广应用 [J]. 环境保护科学, 1997, 23(2): 12-13, 17.
- [ 8 ] 胡征. 生物有机复合肥改良烟草品质的效果 [J]. 中国农学通报, 2004, 20(3): 157-158.
- [ 9 ] 杨波, 刘志刚, 胡家俊, 等. 生物有机复合肥对作物的增产效果及提高作物品质的研究 [J]. 耕作与栽培, 2009(4): 28-29.
- [ 10 ] 邓接楼, 王艾平, 涂晓红. 生物有机肥对小白菜产量和品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(17): 4359, 4363.
- [ 11 ] 徐文畅, 余贵先, 陈振华, 等. 不同施肥种类和水平对稻田免耕稻草全程覆盖秋马铃薯的效果 [J]. 湖北农业科学, 2011, 50(6): 1114-1116.