

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2024)04-0331-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2024.04.006

土壤肥料

腐植酸肥对化肥减施条件下马铃薯生长、 产量及品质的影响

蒋顺顺¹, 温海霞¹, 朱 杰¹, 张 杰¹, 宿秀丽¹, 谭顺林¹, 王维佳², 方治国^{1*}

(1. 襄阳市农业科学院, 湖北 襄阳 441057; 2. 湖北中烟工业有限责任公司襄阳卷烟厂, 湖北 襄阳 441000)

摘 要: 为改善农户在马铃薯生产过程中不合理施肥方式, 选用‘中薯5号’为试验材料, 设计化肥减施15%和25%两个梯度, 并设置腐植酸复合肥基施与腐植酸叶面肥喷施(黄腐酸钾)两种施肥方式, 通过测量马铃薯的农艺性状、产量和品质, 分析不同处理对马铃薯生长、产量及品质的影响。T7处理(减施化肥25%的腐植酸复合肥)可以提高株高; T8处理(减施化肥25%+喷施黄腐酸钾)和T5处理(减施化肥15%+喷施黄腐酸钾)可显著增加茎粗; T5处理的叶片SPAD值相对较高, 产量最高, 相较于T1处理(不施肥)增产72.79%、相较于T2处理(常规施肥)增产11.53%; T5处理的马铃薯块茎在干物质、淀粉、粗蛋白、维生素C以及花青素含量上表现较好, 综合品质最优; T8处理和T5处理氨基酸总含量最高。综上, 减施化肥15%+喷施黄腐酸钾效果最佳, 可以促进马铃薯的生长, 显著提高马铃薯块茎的产量和品质。

关键词: 马铃薯; 腐植酸; 产量; 品质

Effects of Humic Acid Fertilizer on Growth, Yield and Quality of Potato under Reduced Application of Chemical Fertilizer

JIANG Shunshun¹, WEN Haixia¹, ZHU Jie¹, ZHANG Jie¹, SU Xiuli¹, TAN Shunlin¹, WANG Weijia², FANG Zhiguo^{1*}

(1. Xiangyang Academy of Agricultural Sciences, Xiangyang, Hubei 441057, China;

2. Xiangyang Cigarette Factory, Hubei Tobacco Industry Limited Company, Xiangyang, Hubei 441000, China)

Abstract: Two gradients of 15% and 25% reduction of chemical fertilizer were designed using variety 'Zhongshu 5' as the experimental material in order to improve farmers' unreasonable fertilization methods in the process of potato production. Two application methods, humic acid compound fertilizer used as base fertilizer and humic acid foliar fertilizer (potassium fulvic acid) used as folia fertilizer were set up. By measuring the agronomic characters, yield and quality of potato, the effects of different treatments on potato growth, yield and quality were analyzed. Treatment T7 (25% reduction of humic acid compound fertilizer) increased plant height, and treatment T8 (25% reduction of chemical fertilizer + potassium fulvic acid) and treatment T5 (15% reduction of chemical fertilizer + potassium fulvic acid) significantly increased stem diameter. The leaf SPAD value of treatment T5 was relatively high and the yield was the highest, which increased by 72.79% and 11.53% compared with treatment T1 (no fertilization) and treatment T2 (conventional fertilization). Tubers of potato with treatment T5 had the best comprehensive quality in terms of dry matter, starch, crude protein, vitamin C and anthocyanin content, and treatments T8 and T5 had the highest total amino acid content. In summary, 15% reduction of

收稿日期: 2024-07-07

基金项目: 国家马铃薯产业技术体系专项(CARS-09-ES14)。

作者简介: 蒋顺顺(1997-), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事蔬菜育种栽培技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 方治国, 副研究员, 主要从事蔬菜育种栽培技术研究, E-mail: 553564346@qq.com。

chemical fertilizer + potassium fulvic acid had the best effect, which could promote the growth of potato and significantly improve the yield and quality of potato tubers.

Key Words: potato; humic acid; yield; quality

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)属于茄科茄属一年生草本块茎植物，能够兼做粮食、蔬菜以及饲料^[1]。根据联合国粮农组织(FAO)统计，马铃薯现已超越玉米，成为全球第三大粮食作物，仅次于水稻和小麦^[2]。2021年，中国马铃薯种植面积达到476.62万hm²，鲜薯产量为9 635万t，均位居全球第一^[3]。

湖北省是马铃薯的重要产区之一。2018年，全省马铃薯种植面积为21.7万hm²，总产量达64.5万t，分别位居全国第九和第十位^[4]。然而，随着马铃薯产业的迅速发展，种植者为了追求高产，大量施用化肥。尤其是许多农户未能根据马铃薯的需肥特性及土壤养分状况进行合理施肥，导致马铃薯产量和品质的提升受到严重制约^[5]。因此，调整化肥施用比例并配施新型肥料，对于保证马铃薯高产高效和可持续发展至关重要。

腐植酸是由动植物残体经微生物分解分化的一系列地球物理、化学作用形成的一种复杂的天然有机高分子物质^[6]。大量研究表明，腐植酸可改善土壤理化性质，提高肥料利用效率，促进植株生长，增加作物产量，并增强植株的抗逆性、改善营养器官的品质^[7-9]。王薇等^[10]研究发现，与施用普通化肥相比，施用腐植酸肥料可显著增加马铃薯的株高、茎粗，提高叶片SPAD值，增加商品薯率，提升马铃薯产量和品质。沈宝云等^[11]针对甘肃省传统马铃薯种植方式导致的减产问题，通过施用腐植酸肥，成功提高了马铃薯产量，并有效克服了连作障碍。杨雪等^[12]研究表明，在减施化肥25%的基础上增施腐植酸肥，促进了马铃薯的生长，提高了养分利用率，显著提升了马铃薯块茎的产量和品质。

目前，关于马铃薯化肥减施增效的研究主要集中在无机肥和缓释肥上，而涉及腐植酸对马铃薯产量及品质的影响研究则相对较少。因此，本研究通过减少化肥施用量，并结合腐植酸复合肥基施与腐植酸叶面肥喷施两种施肥方式，探讨不同施肥策略

对马铃薯生长、产量及品质的影响，旨在为马铃薯绿色生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在湖北省襄阳市农业科学院试验基地(N 32°09′, E 112°14′, 海拔71 m)进行，供试土壤为沙壤土，前茬作物为萝卜，土壤基本理化性质见表1。

表1 试验土壤基本理化性质
Table 1 Basic physical and chemical properties of experimental soil

项目 Item	沙壤土 Sandy loam
pH	5.90
有机质(g/kg) Organic matter	12.90
全氮(g/kg) Total nitrogen	1.56
全磷(g/kg) Total phosphorus	0.84
全钾(g/kg) Total potassium	1.58
碱解氮(mg/kg) Alkaline hydrolyzed nitrogen	67.00
有效磷(mg/kg) Available phosphorus	43.80
速效钾(mg/kg) Available K	91.70

1.2 试验材料

参试马铃薯品种为‘中薯5号’一级种。

供试肥料：常规复合肥(N:P:K=15:15:15，总养分≥45%)由中国—阿拉伯化肥有限公司提供，腐植酸复合肥(N:P:K=18:18:18，总养分≥54%；活性腐植酸≥3%)由安徽辉隆集团五禾生态肥业有限公司提供，矿源黄腐酸钾(矿源黄腐酸≥50%)由史丹利农业集团股份有限公司提供。

1.3 试验设计

试验设6个处理(表2)。采用随机区组排列，每个处理3次重复；小区长5.56 m，宽3.6 m，小区面积20.02 m²，行距45 cm，株距25 cm，采用双行种植，每个小区8行，种植密度为5 864株/667m²。

常规复合肥和腐植酸复合肥作基肥于播种时一次性施入土壤；腐植酸叶面肥(黄腐酸钾)于马铃薯苗期、块茎形成期、块茎膨大期用背负式电动喷雾器均匀喷施在马铃薯叶片上。机械起垄，穴播种植，地膜覆盖，管理措施同大田。2024年1月9日播种，5月24日收获。

表 2 马铃薯施肥试验设计
Table 2 Design of potato fertilization experiment

处理 Treatment	施肥类型 Fertilization type	基肥(kg/hm ²) Base fertilizer	减施化肥比例(%) Percentage of reduced fertilizer application	叶面肥(kg/hm ²) Foliar fertilizer
T1	不施肥	0	100	
T2	常规复合肥	1 500.00	0	
T3	常规复合肥	1 275.00	15.00	
T4	腐植酸复合肥	1 062.50	15.00	
T5	常规复合肥+黄腐酸钾	1 275.00	15.00	7.50
T6	常规复合肥	1 125.00	25.00	
T7	腐植酸复合肥	937.50	25.00	
T8	常规复合肥+黄腐酸钾	1 125.00	25.00	7.50

注：常规复合肥(N:P:K=15:15:15)；腐植酸复合肥(N:P:K=18:18:18)。
Note: Conventional compound fertilizer (N:P:K=15:15:15); humic acid compound fertilizer (N:P:K=18:18:18).

1.4 测定项目与方法

1.4.1 农艺性状测定

分别于马铃薯块茎形成期、块茎膨大期和成熟期，每小区随机选取10株植株测定株高、主茎粗和SPAD值。

株高：用尺子测量，从土壤表面到主茎顶端的高度。

主茎粗：用游标卡尺测量，近植株基部茎的最粗处直径。

SPAD值：于晴朗天气，利用SPAD测定仪(SPAD-502Plus—Konica Minolta)测定植株倒4和倒8叶顶小叶叶脉两侧顶端的SPAD值。

1.4.2 产量测定

在马铃薯收获期，每个小区选取10株植株进行调查，记录单株块茎数和单株块茎重。块茎分为商品薯和非商品薯，小于50g的为非商品薯，50g(含)以上为商品薯，并计算商品薯率。

商品薯率=小区商品薯产量(kg)/小区产量(kg)×100%。

1.4.3 品质测定

马铃薯块茎的干物质含量通过烘干称重法测

定，淀粉含量使用水比重法测定，蛋白质含量采用凯氏定氮法测定，花青素含量通过消光系数法测定，维生素C含量采用钼蓝比色法测定^[13]。氨基酸含量的测定参照国家标准GB 5009.124—2016。

1.4.4 数据处理方法

试验数据使用Excel 2010软件处理，利用SPSS 23.0软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对马铃薯农艺性状的影响

2.1.1 不同处理对马铃薯株高的影响

在马铃薯块茎形成期，与T1处理相比，其他处理对马铃薯株高的影响不显著；在马铃薯块茎膨大期和成熟期，不同处理对马铃薯株高具有显著差异(表3)。在马铃薯块茎形成期、块茎膨大期和成熟期，T1处理株高均最低；在块茎膨大期，T7处理株高最高，为67.68 cm，其次是T2、T8处理；在成熟期，T7和T2处理株高最高，为80.13 cm，其次是T4、T3处理。总体看，相较于T1处理，所有施肥处理均促进马铃薯植株的增长，其中以T7处理效果最显著。

表3 不同处理对马铃薯株高的影响

Table 3 Effects of different treatments on potato plant height

处理 Treatment	块茎形成期(cm) Tuber formation	块茎膨大期(cm) Tuber bulking	成熟期(cm) Maturation
T1	33.75a	52.62b	63.70b
T2	41.75a	63.63ab	80.13a
T3	41.35a	57.55ab	75.33a
T4	38.56a	57.80ab	75.88a
T5	40.61a	57.28ab	72.27ab
T6	38.57a	60.73ab	77.88a
T7	43.74a	67.68a	80.13a
T8	40.07a	62.97ab	73.37ab

注：不同小写字母表示同一时期不同处理间差异显著($P<0.05$)，采用LSD法进行处理平均值多重比较。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments in the same stage ($P<0.05$), and LSD method is used to compare the average values of treatments. The same below.

2.1.2 不同处理对马铃薯主茎粗的影响

不同施肥处理对马铃薯主茎粗影响显著(表4)。在马铃薯块茎形成期、块茎膨大期以及成熟期，T1处理主茎粗均最小；在块茎形成期，T8处理主茎粗最大，为10.81 mm，其次是T5、T6处理；在块茎膨大期，T3处理主茎粗最大，为11.45 mm，其次是T5、T6处理；在成熟期，T8处理主茎粗最大，为11.94 mm，其次是T4、T5处理。整体看，T1处理主茎粗最小，T8处理和T5处理主茎粗最大，表明适当减少化肥并结合喷施腐植酸肥可促进马铃薯主茎粗的增长。

表4 不同处理对马铃薯主茎粗的影响

Table 4 Effects of different treatments on diameter of potato main stem

处理 Treatment	块茎形成期(mm) Tuber formation	块茎膨大期(mm) Tuber bulking	成熟期(mm) Maturation
T1	8.49b	7.53c	8.04b
T2	10.17a	10.79ab	11.27a
T3	10.30a	11.45a	11.26a
T4	10.71a	10.97ab	11.79a
T5	10.80a	11.25a	11.73a
T6	10.72a	11.01ab	11.41a
T7	10.01a	9.80b	11.19a
T8	10.81a	11.00ab	11.94a

2.1.3 不同处理对马铃薯SPAD值的影响

SPAD值用于反映叶片中当前叶绿素的相对含量，其与叶绿素含量呈正相关。在马铃薯块茎形成期，不同处理间差异不显著；在马铃薯块茎膨大期和成熟期，不同处理间具有显著差异(表5)。在马铃薯块茎形成期、块茎膨大期和成熟期，T1处理的SPAD值均最低，表明其叶绿素含量相对较低；在块茎膨大期，T5、T8处理SPAD值最高，分别为42.80、42.35；在成熟期，T5处理SPAD值最高，为42.89，其次是T8处理，为40.94。整体看，相较于T1处理，所有施肥处理均有效提升马铃薯SPAD值，其中T5处理最明显，表明T5处理促进马铃薯光合作用效率方面具有积极作用。

表 5 不同处理对马铃薯 SPAD 值的影响

Table 5 Effects of different treatments on SPAD values of potatoes

处理 Treatment	块茎形成期 Tuber formation	块茎膨大期 Tuber bulking	成熟期 Maturation
T1	44.24a	36.88b	33.60c
T2	45.73a	42.08a	40.30ab
T3	45.68a	41.92a	39.75b
T4	46.28a	42.23a	40.08ab
T5	46.16a	42.80a	42.89a
T6	45.77a	41.85a	40.12ab
T7	45.94a	42.05a	39.55b
T8	45.81a	42.35a	40.94ab

2.2 不同处理对马铃薯产量的影响

相较于 T1 处理, 所有施肥处理在单株块茎重、商品薯率及产量上均表现更好(表 6)。不同施肥处理对马铃薯块茎产量具有显著差异, 其中 T5 处理产量最高, 为 56 445 kg/hm², 比 T1 处理增产 72.79%, 比 T2 处理增产 11.53%。其次是 T4、T8 和 T7 处理产量较高, 产量分别为 53 068、52 485 和

52 343 kg/hm²。T6 处理产量较低, 为 46 081 kg/hm²。在单株块茎重方面, T5 和 T8 处理表现最好, 单株块茎重均为 0.88 kg。在商品薯率方面, T3、T6、T8 和 T5 处理表现较好, 分别为 96.01%、95.91%、95.56%和 94.62%。总体看, T5 处理的马铃薯块茎产量最高, 在单株块茎数、单株块茎重及商品薯率等指标上表现较好。

表 6 不同处理对马铃薯块茎产量的影响

Table 6 Effects of different treatments on potato tuber yield

处理 Treatment	单株块茎数(个) Number of tubers per plant (No.)	单株块茎重(kg) Tuber yield per plant	商品薯率(%) Marketable tuber percentage	小区产量 (kg/20 m ²) Plot yield	折合产量 (kg/hm ²) Equivalent yield	比 T1 增产(%) Yield increase compared to T1	比 T2 增产(%) Yield increase compared to T2
T1	4.80a	0.52b	83.94c	65.30d	32 665		
T2	6.73a	0.76ab	94.00ab	101.17bc	50 609	54.93	
T3	7.93a	0.80ab	96.01a	103.68ab	51 868	58.77	2.48
T4	7.87a	0.85a	90.37b	106.08ab	53 068	62.42	4.85
T5	7.50a	0.88a	94.62ab	112.83a	56 445	72.79	11.53
T6	7.13a	0.75ab	95.91a	92.12c	46 081	41.07	-8.95
T7	7.43a	0.84a	93.15ab	104.63ab	52 343	60.23	3.42
T8	7.37a	0.88a	95.56ab	104.92ab	52 485	60.67	3.71

2.3 不同处理对马铃薯品质的影响

2.3.1 不同处理对马铃薯主要品质的影响

T1 处理的马铃薯块茎综合品质最差, 表现为粗蛋白、维生素 C 及花青素的含量较低(表 7)。在干物质和淀粉含量方面, 除 T1 处理外, T5 和 T2 处理含量最高。在粗蛋白含量方面, T5 和 T4 处理含

量最高, 分别达到 26.34、22.81 mg/g。就维生素 C 含量而言, T2 和 T5 处理含量最高, 分别为 11.53、9.21 mg/100 g。T4 和 T5 处理花青素含量最高, 分别为 5.24、4.96 nmol/g。综上, T5 处理的马铃薯块茎在干物质、淀粉、粗蛋白、维生素 C 以及花青素多项指标上表现最好。可见, T5 处理对于提升马

铃薯块茎的整体品质具有显著效果。

2.3.2 不同处理对马铃薯氨基酸含量的影响

通过对不同处理条件下马铃薯块茎中氨基酸含量进行测定,共检测到17种氨基酸,其中包括7种必需氨基酸和10种非必需氨基酸(表8)。不同处理马铃薯块茎中,每100 g蛋白质中的总氨基酸含量范围为973.55~1 321.96 mg。其中,天冬氨酸的含

量最高,其次是谷氨酸;而胱氨酸、苯丙氨酸以及甲硫氨酸含量最低。就氨基酸总量而言,T1与T6处理表现最低,分别为973.55和991.85 mg/100 g;相比之下,T5与T8处理表现出较高的氨基酸总量,达到1 321.96和1 316.84 mg/100 g,这一结果明显高于T1处理和T2处理,表明喷施腐植酸肥能够有效提高马铃薯块茎中氨基酸的总含量。

表7 不同处理下马铃薯块茎的主要品质性状
Table 7 Main quality traits of potato tuber under different treatments

处理 Treatment	干物质含量(%) Dry matter	淀粉含量(%) Starch	粗蛋白含量(mg/g) Crude protein	维生素C含量(mg/100 g) Vitamin C	花青素含量(nmol/g) Anthocyanin
T1	18.68	12.91	16.41	7.21	2.36
T2	16.06	10.30	20.18	11.53	4.32
T3	14.87	9.02	19.07	9.20	3.44
T4	15.95	10.22	22.81	8.06	5.24
T5	16.55	10.79	26.34	9.21	4.96
T6	15.81	10.06	21.24	6.92	4.49
T7	14.93	9.15	21.48	5.76	3.69
T8	15.88	10.14	18.24	5.76	3.65

表8 不同处理下马铃薯块茎的氨基酸含量
Table 8 Amino acid content of potato tuber under different treatments

项目 Item	处理 Treatment	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
必需氨基酸(mg/100 g) Essential amino acid	异亮氨酸	39.43	42.45	27.38	28.82	46.28	26.42	28.04	43.61
	赖氨酸	47.32	50.94	32.86	34.58	55.54	31.70	33.65	52.33
	甲硫氨酸	9.39	11.12	10.14	9.92	11.57	10.21	9.98	11.64
	缬氨酸	24.86	28.82	29.97	27.36	35.75	25.02	26.23	34.12
	亮氨酸	23.87	35.31	21.30	36.16	50.60	24.95	32.33	51.95
	苏氨酸	34.63	43.40	41.35	42.29	28.87	42.84	46.87	53.15
	苯丙氨酸	3.46	4.33	4.13	4.33	2.89	4.28	4.69	5.32
非必需氨基酸(mg/100 g) Non essential amino acid	天冬氨酸	271.36	330.40	343.25	283.47	375.16	334.68	350.83	348.36
	丝氨酸	90.15	107.42	89.57	90.98	104.78	84.22	87.21	128.54
	脯氨酸	92.49	85.43	74.06	62.41	86.09	59.67	53.10	63.23
	丙氨酸	30.82	34.15	28.87	30.78	53.04	25.67	34.46	46.86
	谷氨酸	159.07	196.40	173.47	180.39	281.89	166.28	174.09	280.46
	甘氨酸	36.15	41.00	33.91	36.04	45.47	36.23	41.01	48.95
	精氨酸	70.79	83.91	74.20	78.89	80.99	72.84	74.89	78.11
	酪氨酸	16.55	25.17	23.05	30.59	37.12	25.09	27.00	42.73
	组氨酸	19.41	20.68	18.49	18.21	21.52	18.61	17.65	20.80
	胱氨酸	3.80	5.26	3.31	4.61	4.42	3.13	3.80	6.68
	氨基酸总量	973.55	1 146.18	1 029.30	999.72	1 321.96	991.85	1 045.83	1 316.84

3 讨 论

化肥在农业生产中发挥着至关重要的作用,特别是在提升马铃薯产量方面效果尤为显著。然而,化肥的过量和不合理使用不仅破坏了土壤结构、降低了土壤肥力、导致马铃薯产量和品质下降,还带来环境污染等一系列问题^[14]。Suntari等^[15]研究表明,腐植酸肥对于促进作物生长及提高产量具有显著效果。通过施用腐植酸肥,可以刺激植物根系的生长以及增强其对养分的吸收能力,从而有效促进植物生长^[16]。本研究表明,减少25%养分的腐植酸复合肥(T7)可以促进植株株高增加;同时,减施化肥25%(T8)、15%(T5),并配合喷施黄腐酸钾叶面肥,可以有效增大植株茎粗。这与刘铭铭等^[17]研究结果一致,通过喷施腐植酸水溶肥能提高幼苗的株高、茎粗和干鲜质量等指标。此外,本研究还发现,在马铃薯块茎膨大期和块茎成熟期,减施化肥15%+喷施黄腐酸钾(T5)的马铃薯植株SPAD值较高,这可能与腐植酸增强了参与光合作用、蔗糖生物合成和淀粉积累的质体酶活性有关,从而改善了植物的整体性能^[18]。本研究表明,减施化肥15%+喷施黄腐酸钾(T5)能够显著提升马铃薯产量,其增产效果分别比不施肥处理和常规施肥处理提高72.79%和11.53%。此外,马铃薯块茎在单株块茎数、单株块茎重以及商品薯率方面的表现也相对较好。汤云川等^[19]研究结果也表明,通过施用腐植酸肥料,可以显著提高马铃薯的产量、单株结薯数、单株块茎重以及商品薯率,这些指标随着腐植酸肥料用量的增加呈现出上升趋势。

腐植酸不仅能够显著提高作物产量,还能有效改善作物品质。目前,关于腐植酸对马铃薯品质改善的研究相对较少,但已有研究表明其在马铃薯品质提升方面具有积极作用。白雪^[20]研究表明,腐植酸肥料可以改善马铃薯块茎的营养品质,提高其蛋白质、蔗糖、还原糖和淀粉含量,特别是在干旱条件下喷洒腐植酸效果更好。张成龙等^[21]研究表明,追施腐植酸肥可以改善马铃薯块茎中的干物质、淀粉、维生素C、还原糖和蛋白质

含量,从而提高马铃薯的整体品质。本研究发现,不施肥处理的马铃薯块茎表现出较高的干物质和淀粉含量,这与胡新喜等^[22]的研究结果一致。然而,不施肥处理的马铃薯块茎综合品质最差。相比之下,减施化肥15%并喷施黄腐酸钾处理(T5)显著改善了马铃薯块茎中的干物质、淀粉、粗蛋白、维生素C和花青素含量,显著提高了马铃薯块茎的综合品质。此外,本研究发现各处理马铃薯每100 g蛋白质中,氨基酸总量为973.55~1 321.96 mg。其中,减施化肥25%+喷施黄腐酸钾和减施化肥15%+喷施黄腐酸钾两种处理的氨基酸总含量最高,这表明喷施腐植酸叶面肥可以显著提升马铃薯块茎中氨基酸的总含量,对提升马铃薯块茎的营养价值具有重要意义。

综上所述,减施化肥15%并结合喷施黄腐酸钾的施肥方式效果最佳,不仅能促进马铃薯的生长,还能显著提高马铃薯块茎的产量和品质。通过减少化肥的使用并配合施用腐植酸肥,这一施肥策略不仅有利于马铃薯的生产,还能降低对环境的负面影响,为马铃薯绿色生产提供了有力的理论支持和参考依据。

[参 考 文 献]

- [1] Nayak B, Berrios J D, Tang J. Impact of food processing on the glycemic index (GI) of potato products [J]. Food Research International, 2014, 56: 35-46.
- [2] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议 [J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2015(3): 1-7.
- [3] 郝若诗, 吕健菲, 王澳雪, 等. 高质量发展背景下中国马铃薯产业新特点与发展趋势 [J]. 农业展望, 2024, 20(1): 7-12.
- [4] 雷昌云, 羿国香. 2018年湖北省马铃薯市场综述和2019年市场走势情况分析 [J]. 湖北农业科学, 2019, 58(4): 150-151.
- [5] 宿秀丽, 方治国, 张杰, 等. 不同肥料对马铃薯产量及品质的影响 [J]. 湖北农业科学, 2019, 58(23): 60-62.
- [6] Stevenson F J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions [J]. Journal of Chemical Education, 1995, 72(4): A93.
- [7] Selladurai R, Purakayastha T J. Effect of humic acid multinutrient fertilizers on yield and nutrient use efficiency of potato [J]. Journal of

- Plant Nutrition, 2016, 39(7): 949–956.
- [8] Chen X G, Kou M, Tang Z H, *et al.* Responses of root physiological characteristics and yield of sweet potato to humic acid urea fertilizer [J]. Plos One, 2017, 12(12): 1–11.
- [9] Scheuerell S J, Mahaffee W F. Compost tea as a container medium drench for suppressing seedling damping-off caused by *Pythium ultimum* [J]. Phytopathology, 2004, 94(11): 1156–1163.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 杨雪, 高倩, 蔡林志, 等. 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.
- [13] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [14] 陈杨, 樊明寿, 康文钦, 等. 内蒙古阴山丘陵地区马铃薯施肥现状与评价 [J]. 中国土壤与肥料, 2012(2): 104–108.
- [15] Suntari R, Retnowati R, Soemarno S, *et al.* Determination of urea humic acid dosage of vertisols on the growth and production of rice [J]. AGRIVITA, Journal of Agricultural Science, 2015, 37(2): 185–192.
- [16] Calvo P, Nelson L, Kloepper J W. Agricultural uses of plant biostimulants [J]. Plant and Soil, 2014, 383: 3–41.
- [17] 刘铭铭, 熊乐歌, 李衍素, 等. 腐植酸水溶肥对黄瓜幼苗生长和产量的影响 [J]. 腐植酸, 2019(4): 46.
- [18] El-Shabrawi H M, Barkry B A, Ahmed M A, *et al.* Humic and oxalic acid stimulates grain yield and induces accumulation of plastidial carbohydrate metabolism enzymes in wheat grown under sandy soil conditions [J]. Agricultural Sciences, 2015(6): 175–185.
- [19] 汤云川, 陈涛, 桑有顺, 等. 叶面喷施水溶性生物腐植酸有机肥对马铃薯产量的影响 [J]. 腐植酸, 2014(5): 10–14.
- [20] 白雪. 腐殖酸对不同水分条件下马铃薯光合、养分及产质量的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [21] 张成龙, 谢雪莹, 张丽莉, 等. 追肥对马铃薯农艺性状、产量及品质的影响 [J]. 中国马铃薯, 2023, 37(4): 320–328.
- [22] 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.